

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

С. А. Чудинов
А. Ю. Шаров

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ
И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ
СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Учебник

Екатеринбург
2023

УДК 528.48 (075.8)

ББК 26.1я73

Ч84

Рецензенты:

кафедра проектирования и эксплуатации автомобилей ФГБОУ ВО Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), канд. техн. наук *А. А. Цариков*;

В. Н. Дмитриев, генеральный директор ООО «Уральский дорожный научно-исследовательский центр», д-р техн. наук, профессор

Чудинов, Сергей Александрович.

Ч84 Инженерная геодезия и инженерно-геодезическое сопровождение строительства автомобильных дорог : учебник / С. А. Чудинов, А. Ю. Шаров ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2023. – 211 с.

ISBN 978-5-94984-875-3

Учебник освещает вопросы применения современного геодезического оборудования и технологий для инженерно-геодезических изысканий и инженерно-геодезического сопровождения строительства автомобильных дорог. Основной целью данного учебника является формирование у обучающихся знаний и навыков выполнения геодезических работ с использованием современного геодезического оборудования и технологий.

Материалы настоящего учебника могут использоваться обучающимися и преподавателями на практических занятиях и при организации самостоятельной работы в виде дополнительных заданий.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

Предназначено для обучающихся, осваивающих образовательные программы по направлению «Строительство».

УДК 528.48 (075.8)

ББК 26.1я73

ISBN 978-5-94984-875-3

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2023

© Чудинов С. А., Шаров А. Ю., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i>	5
<i>Термины и определения</i>	6
<i>Глава 1. Геоинформационные системы автомобильных дорог</i>	
дорожно-транспортного комплекса	14
1.1. Из истории геоинформационных систем	14
1.2. Область применения	17
1.3. Требования к формированию пространственной базы данных автомобильных дорог	19
1.3.1. Требования по актуализации пространственной базы данных автомобильных дорог	19
1.3.2. Требования по оперативному ведению пространственной базы данных автомобильных дорог	21
1.3.3. Хранение и техническое сопровождение пространственной базы данных автомобильных дорог	22
1.4. Геоинформационные системы автомобильных дорог: настоящее и будущее	23
<i>Глава 2. Основные понятия и положения геодезии геодезического сопровождения строительных процессов</i>	41
2.1. Изыскания автомобильных дорог	41
2.1.1. Размеры Земли и системы высот	42
2.1.2. Условные знаки и масштабы	46
2.1.3. Прямая и обратная геодезические задачи	56
2.1.4. Изображение рельефа на топографических картах	62
2.1.5. Состав и содержание изысканий	68
2.1.6. Проложение и закрепление на местности оси трассы	70
2.2. Работы подготовительного периода	74
2.2.1. Восстановление и закрепление трассы	74
2.2.2. Подготовка трассы для нивелирования	77
2.2.3. Геометрическое нивелирование трассы	78
2.2.4. Подготовка к проектированию продольного профиля	87
2.2.5. Разбивка земляного полотна	93
2.3. Криволинейные сопряжения	102
2.3.1. Измерение горизонтальных и вертикальных углов	102
2.3.2. Круговые кривые	107
2.3.3. Переходные кривые	111
2.3.4. Вертикальные кривые	117

<i>Глава 3. Геодезическое сопровождение устройства земляного полотна и верхнего строения автомобильной дороги</i>	120
3.1. Устройство земляного полотна и дорожной одежды	120
3.2. Разбивка верхнего строения автомобильной дороги и автоматизация управления строительными процессами	127
<i>Глава 4. Геодезические работы и сопровождение строительных процессов на мостовых переходах</i>	134
4.1. Основы геодезических изысканий мостовых переходов и путепроводов	134
4.1.1. Состав геодезических работ на мостовых переходах и путепроводах	140
4.1.2. Разбивка и закрепление мостовых переходов и путепроводов	144
4.2. Съёмка мостового перехода	151
4.2.1. Определение длины мостовых переходов и путепроводов	155
4.2.2. Высотная основа мостовых переходов и путепроводов	158
4.2.3. Передача высот через водотоки	163
4.3. Разбивочная основа мостов и путепроводов	166
4.3.1. Разбивка фундаментов опор мостов и путепроводов	166
4.3.2. Разбивка центров мостовых опор и путепроводов	171
<i>Глава 5. Геодезический контроль и поверки геодезических приборов</i>	178
5.1. Разбивочные, строительные допуски и разбивочно-контрольные приспособления	178
5.2. Выверка и наблюдение за деформациями пролетного строения мостов и путепроводов	187
5.3. Поверки и юстировка нивелира 3Н-5Л	191
5.4. Основные поверки теодолита	193
<i>Заключение</i>	198
<i>Библиографический список</i>	199
<i>Приложение 1</i>	201
<i>Приложение 2</i>	202
<i>Приложение 3</i>	203
<i>Приложение 4</i>	204
<i>Приложение 5</i>	205
<i>Приложение 6</i>	206
<i>Приложение 7</i>	207
<i>Приложение 8</i>	209

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия является одной из древнейших наук, возникших в ответ на потребности производственной деятельности человека. В настоящее время инженерная геодезия, топография, инженерно-геодезическое сопровождение строительства играют огромную экономическую роль в самых разных отраслях экономики, в том числе при проектировании и строительстве автомобильных дорог.

Геодезическое обеспечение проектирования и производства работ по строительству автомобильных дорог дает основу для успешного решения поставленных задач, обеспечивая качество и высокую скорость выполнения работ.

На современном этапе научно-технического прогресса инженерная геодезия и геодезическое сопровождение строительных процессов опираются на достижения электроники, приборостроения, космической отрасли, что позволяет использовать для выполнения инженерно-геодезических работ материалы космических съемок, аэрофототопографические материалы, спутниковую навигацию, фототеодолитные комплексы, электронные полуавтоматические и автоматические тахеометры, лазерные приборы, регистрирующие нивелиры, свето- и радиодальномеры, стереофотограмметрическое оборудование, компьютеры, графопостроители и другие средства автоматизации проектирования (САПР), автоматизированные системы управления строительством (АСУС) различных объектов с использованием GPS-технологий.

Основной целью данного учебника является формирование у обучающихся знаний и навыков выполнения геодезических работ с использованием современного геодезического оборудования и технологий при выполнении инженерно-геодезических изысканий, геодезического сопровождения строительных процессов, строительного контроля и авторского надзора строительства автомобильных дорог и искусственных сооружений.

Наряду с традиционными геодезическими методами разбивочных работ также рассматриваются новые методы с применением точных светодальномеров и лазерных приборов. Уделено внимание вопросам расчета точности инженерно-геодезических сетей и автоматизации разбивочных работ.

Материалы настоящего учебника могут использоваться обучающимися и преподавателями на практических занятиях и при организации самостоятельной работы в виде дополнительных заданий.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Абсолютная (ортометрическая) высота – расстояние (обычно в метрах) по вертикали от точки земной поверхности до среднего уровня поверхности океана. В России исчисляется от нуля футштока в Кронштадте.

Автоматизированная система управления отвалом – комплекс технических средств и программного обеспечения для управления процессами ведения отвалов при добыче полезных ископаемых.

Автомобильная дорога – объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения транспортных средств и включающий в себя земельные участки в границах полосы отвода автомобильной дороги и расположенные на них или под ними конструктивные элементы (дорожное полотно, дорожное покрытие и подобные элементы) и дорожные сооружения, являющиеся ее технологической частью, – защитные дорожные сооружения, искусственные дорожные сооружения, производственные объекты, элементы обустройства автомобильных дорог.

Азимут линии – горизонтальный угол между направлением линии и северным направлением.

Барометрическое нивелирование – метод вычисления высот на основе изменения атмосферного давления.

Ватерпасовка – проверка горизонтальности поверхности с помощью ватерпаса.

Величина уширения – возможная погрешность определения координат точки в силу неточности измерительных инструментов и методов.

Вертикальная кривая параболического очертания – график, показывающий изменение высоты на определенном участке дороги.

Вертикальный масштаб – отношение изменения высоты к изменению длины на карте или плане.

Вертикальный угол – угол между вертикальной линией и направлением на точку.

Вершина (центр) кривой – точка пересечения касательных к кривой в данной точке.

Вешка-визирка – измерительный инструмент для определения высоты и расстояния до точки.

Визирная ось – линия, соединяющая фокус прибора и зрительную щелевую решетку.

Визирная ось зрительной трубы – линия, проходящая через фокус зрительной трубы и точку наблюдения.

Внутренний угол – угол между входящим и выходящим лучами сигнала в приемоизлучающем устройстве.

Выверка строительного подъема – измерение высоты и углов наклона строительного подъема для проверки соответствия проектным параметрам.

Выемка – углубление в земной поверхности с целью создания канала или водоема.

Высота над уровнем моря – расстояние от точки до уровня морской поверхности.

Геодезические работы – комплекс работ по изучению и определению формы Земли, ее размеров и свойств.

Геодезический контроль – проверка соответствия геометрических параметров объектов проекту.

Геодезия – наука о земном пространстве и методах его измерения.

Геоинформационная система – комплекс программных средств для работы с геоданными.

Геоинформация – информация о географических объектах и их свойствах.

Геообъекты – объекты, описываемые географическими координатами.

Геопространство – пространство, описываемое географическими координатами.

Гидрологические обследования – пространство, описываемое географическими координатами.

Гидромеханизированный способ возведения земляного полотна – способ уплотнения грунта с помощью воды.

Гидростатическое нивелирование – метод измерения разности высот между точками на земной поверхности с помощью водяного столба.

ГИС-технологии – технологии работы с геоинформационными системами.

Глобализация – процесс глобальной интеграции экономики, политики и культуры.

Горизонталь – плоскость, проходящая через точку и касающаяся земной поверхности в этой точке.

Горизонтальный масштаб – отношение изменения расстояния между точками на карте или плане к соответствующему изменению расстояния на земле.

Горизонтальный угол – угол, образованный между направлением на точку и меридианом.

Государственная геодезическая сеть – система общегосударственных геодезических пунктов, обеспечивающая высокую точность определения координат и высот.

Графическая точность масштаба – минимальный размер объекта на карте или плане, который еще может быть различим человеческим глазом.

Детальные технические изыскания – комплекс работ по изучению грунтов и геологического строения для определения параметров фундамента и других конструкций.

Деформации мостов – изменение геометрических параметров мостовых конструкций под воздействием внешних нагрузок и эксплуатационных факторов.

Деформации путепроводов – изменение геометрических параметров путепроводов под воздействием внешних нагрузок и эксплуатационных факторов.

Диагональный теодолитный ход – это измерение диагонали (противоположных углов) квадрата или прямоугольника при помощи теодолита. Этот ход используется для контроля геометрической формы и размеров зданий, дорог, мостов и других инженерных сооружений. Диагональный теодолитный ход позволяет измерить расстояние между двумя точками с высокой точностью.

Дирекционный угол – угол между направлением на объект и некоторым постоянным направлением.

Дорожная одежда – это многослойная конструкция в пределах проезжей части автомобильной дороги, воспринимающая нагрузку от автотранспортного средства и передающая ее на грунт.

Закрепление земляного полотна в плане – комплекс работ по фиксации положения земляного полотна по оси дороги.

Закрепление земляного полотна по высоте – комплекс работ по фиксации высоты земляного полотна относительно уровня моря.

Закрепление искусственных сооружений – комплекс работ по фиксации положения и высоты мостов, туннелей, подземных сооружений и т. д.

Закрепление трассы – комплекс работ по фиксации положения прокладываемой трассы.

Засечки при закреплении моста – точки, на которых производится засечка при определении координат и высот мостовых опор.

Звено параллактической полигонометрии – отрезок линии полигона, на котором осуществляется наблюдение и измерение углов.

Земляное полотно – сооружение, предназначенное для размещения конструктивных слоев дорожной одежды и других элементов дороги.

Изыскания – комплекс работ по изучению и определению физических, геологических и других параметров грунта и геологического строения на участке будущего объекта.

Инженерная (прикладная) геодезия – ветвь геодезии, занимающаяся измерением параметров земной поверхности для промышленных и коммерческих целей.

Инженерно-геодезические работы – комплекс инженерных и геодезических работ, необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации различных объектов.

Инженерно-геологическая съемка – комплекс работ, направленных на получение информации об условиях грунтового основания будущего

объекта, а также об иных природных и техногенных факторах, которые могут повлиять на проектирование и строительство объекта.

Инженерно-геологические работы – комплекс геологических, гидрогеологических и геофизических работ, проводимых для изучения природных условий на определенном участке земной поверхности.

Инженерно-геологическое дешифрирование – анализ данных, полученных в процессе инженерно-геологических работ, с целью определения грунтовых условий на участке строительства объекта.

Инженерные изыскания – комплекс геологических, гидрогеологических и геофизических работ, а также инженерно-геодезических и других измерительных работ, необходимых для получения информации о природных условиях на участке строительства объекта.

Исполнительная съемка мостового перехода – комплекс работ, включающий выполнение геодезических и инженерно-геодезических работ на участке строительства мостового перехода.

Исходная уровенная поверхность – искусственно созданная уровенная поверхность, по которой производится отсчет определенных высотных параметров.

Картографические условные знаки – символы на картах, обозначающие объекты и явления, имеющиеся на местности.

Контрольный шаблон – специальный инструмент, предназначенный для определения точности геодезических работ и проверки соответствия расстояний и углов между точками требуемым параметрам.

Короткобазисный способ – метод геодезических измерений, основанный на использовании базовых линий, имеющих длину до 100 м.

Косинус угла – тригонометрическая функция, определяющая отношение длины прилежащего катета прямоугольного треугольника к длине гипотенузы.

Косогор – уступ на склоне горы или холма.

Круговая кривая – гладкая кривая, составляющая дугу окружности и используемая при проектировании автодорог для сглаживания углов и повышения комфорта движения.

Лазерное нивелирование – метод определения отметок точек на земной поверхности с помощью лазерного луча.

Линейная засечка – линия, соединяющая две геодезические точки в прямой линии.

Линейно-протяженные сооружения – объекты инфраструктуры, имеющие линейную форму и протяженность, например дороги, железные дороги, мосты и т. д.

Линейно-угловые сети – сеть геодезических точек, выполняющая функцию опорной сети для проведения геодезических работ.

Линейный масштаб – соотношение расстояний на карте и на местности.

Магнитный азимут линии – угол между магнитным севером и направлением линии.

Масштаб – соотношение между размерами объектов на карте и на местности.

Меандрирование реки – извилистость русла реки вследствие ее естественного изгиба и поворотов.

Мензуральная съемка – определение углов между геодезическими точками с помощью мензурального круга.

Метод горизонталей – метод геодезических измерений, основанный на измерении горизонтальных углов между геодезическими точками.

Метод интерполяции – метод определения значений функций в промежуточных точках путем вычисления значения в заданных точках.

Метод полигонометрии – метод геодезических измерений, основанный на измерении углов и линейных размеров между геодезическими точками.

Метод проекций – метод геодезических измерений, основанный на использовании проекций на плоскость главной точки.

Метод триангуляции – метод геодезических измерений, основанный на измерении углов между геодезическими точками и на создании треугольной сетки.

Метод трилатерации – метод геодезических измерений, основанный на измерении расстояний между геодезическими точками.

Метод экстраполяции – метод оценки значения функции за пределами заданного диапазона значений.

Мостовая триангуляция – метод геодезических измерений, основанный на создании треугольной сетки над мостовым сооружением.

Мостовой переход – сооружение, предназначенное для переправы через препятствия (реки, овраги, долины и т. п.).

Наземная лазерная локация – метод определения координат точек на земной поверхности с помощью специального лазерного сканирующего устройства.

Насыпь – часть земляного полотна дороги, поднятая над окружающей местностью.

Нивелир – геодезический прибор, предназначенный для измерения высотных отметок горизонтальных углов точек и горизонтальных углов на земной поверхности.

Нивелирование – процесс определения отметок точек на земной поверхности с помощью нивелира.

Оперативный контроль возведения земляного полотна – контроль за ходом процесса возведения земляного полотна на месте строительства.

Опознаки – объекты на местности, служащие для ориентирования в пространстве, например, маяки, вышки, башни и т. п.

Ориентирование линии местности – определение направления и положения линии местности с помощью ориентировочных точек.

Осадка опор – прогиб несущих конструкций по вертикали под действием веса.

Откосники – элементы земляных работ, выполняющие функцию укрепления откосов.

Относительная высота – разность высот двух точек на местности.

Параллактический способ – метод геодезических измерений, основанный на измерении углов между геодезическими точками и звездами на небосводе.

Переходная кривая – специальный элемент трассы, позволяющий осуществить плавный переход от прямолинейного участка дороги к повороту.

Планировочные работы – комплекс геодезических, инженерно-геодезических и кадастровых работ, выполняемых перед началом строительства объекта.

Плановая выверка пролетного строения – контроль и проверка заявленных размеров элементов пролетного строения при помощи средств точного измерения.

Полевое трассирование – процесс определения положения линии местности на местности при помощи геодезических и инженерно-геодезических работ.

Полигонометрия – метод геодезических измерений, основанный на измерении углов между геодезическими точками и на создании треугольной сетки.

Поперечный масштаб – соотношение расстояний на поперечном профиле объекта на карте и на местности.

Поперечный наклон (уклон) местности – угол, образованный поперечным профилем участка местности и горизонтом.

Поперечный профиль – угол, образованный поперечным профилем участка местности и горизонтом.

Предпостроечные изыскания – комплекс геодезических, инженерно-геодезических и геологических работ, проводимых перед началом строительства объекта.

Природное препятствие – географический объект, препятствующий прохождению (проезду) людей или транспортных средств, например реки, озера, горы, леса и т. д.

Продольный профиль – схематическое изображение продольного разреза объекта на карте или чертеже.

Проектные отметки – отметки, которые предполагается установить на объекте после его строительства или реконструкции.

Промежуточный контроль возведения земляного полотна – контроль за ходом процесса возведения земляного полотна на промежуточных этапах строительства.

Промерные поперечники – контроль за ходом процесса возведения земляного полотна на промежуточных этапах строительства.

Пространственные (географические) данные – контроль за ходом процесса возведения земляного полотна на промежуточных этапах строительства.

Прямая угловая засечка – метод определения направления линий на местности при помощи измерения углов между ними.

Разбивка трассы – процесс определения точек по заданной трассе на местности.

Рекогносцировочные изыскания – это полевые исследования свойств пород, включающие анализ геологической обстановки на земельном участке.

Рельеф местности – совокупность всех неровностей земной поверхности, различных по своей форме и размерам.

Румб – угол ориентирования, отсчитываемый от ближайшего направления – северного или южного меридиана – до заданной линии. Является разновидностью азимута.

Сближение меридианов – угол между истинным меридианом и вертикальной линией километровой сетки или линией, параллельной ей. Сближение меридианов, указываемое на топографических картах, относится к средней (центральной) точке листа.

Серпантина – извилистая дорога (или ее участки с крутыми витками и петлями), как лента серпантина.

Синус угла – отношение длины противолежащего катета к гипотенузе.

Ситуационный план мостовых переходов – план, на который должны быть нанесены: варианты трассы мостового перехода, существующие дороги, причалы, гидротехнические и другие сооружения, водомерные посты, коммуникации, строения, границы разлива при РУВВ, морфостворы и гидростворы, места зафиксированных точек УВВ, места размывов и намывов берегов, направления спрямляющих течений на пойме, заторов льда и карча, роза ветров, контур съемки детального плана.

Смещения опор – изменение первоначального положения опор, происходящее при неправильной их конструкции, вследствие плохого производства работ или под влиянием неблагоприятных геологических воздействий.

Современная геодезия – многогранная наука, решающая сложные научные и практические задачи. Это наука об определении формы и размеров Земли, об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах.

Средняя квадратическая ошибка – величина σ характеризует отклонение отдельного единичного измерения от истинного значения.

Съемка по поперечникам – съемка, которую производят для правильного (уточненного) подсчета объемов земляных работ, проектирования земляного полотна и системы поверхностного дорожного водоотвода, а также для подготовки проектной документации для строительства. Съемку производят методами геометрического либо тригонометрического нивелирования.

Съемочное обоснование – это сеть пунктов обоснования, представляющих собой специально установленные геодезические знаки, от которых специалисты проводят детальное измерение для получения координат необходимых точек границ строений, дорог, земельных участков и других объектов.

Тахеометрическая съемка – вид геодезических изысканий, при котором специалисты измеряют положение точек объекта по горизонтали (в плане) и вертикали (по высоте) с помощью специального прибора – тахеометра.

Теодолит – измерительный прибор для определения горизонтальных и вертикальных углов при топографических съемках, геодезических и маркшейдерских работах, в строительстве и т. п.

Точка нулевых работ – точка пересечения проектной линии профиля с фактической, т. е. с земной поверхностью.

Трасса автомобильной дороги – воображаемая линия в пространстве, отвечающая проектному положению оси дороги по отношению к земной поверхности.

Трассирование – совокупность различных инженерно-геодезических работ, с помощью которых определяется наиболее оптимальный профиль, направление линейного сооружения на территории и на топографической карте.

Тригонометрическое нивелирование – метод определения разностей высот точек (превышений) на какой-либо поверхности, основанный на простой связи угла наклона визирного луча и расстояния между точками.

Улично-дорожная сеть – совокупность городских магистралей, дорог, улиц, проездов, включая основную проезжую часть, газоны, тротуары, наружное освещение и другие элементы благоустройства, а также дорожные покрытия инженерных сооружений (мостов, путепроводов, эстакад, тоннелей).

Цифровая модель местности – картографическая модель, включающая логико-математическое описание в цифровой форме объектов местности и содержащая данные об их характеристиках.

Глава 1

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА**

1.1. Из истории геоинформационных систем

Радикальные изменения технологий (рис. 1.1) принято называть промышленными революциями [1]. В отношении геоинформационных технологий (систем), которые, безусловно, относятся к классу прорывных технологий современности, можно сказать, что зародились они в начальный период третьей промышленной революции (век цифровых технологий) и получают свое полноценное развитие уже в рамках четвертой промышленной революции (кибернетические системы), на пороге которой мы сегодня стоим.



Рис. 1.1. Промышленные революции

С середины 50-х годов прошлого столетия в сфере информационных технологий выполнялось множество исследований по поиску новых возможностей геодезии и картографии. В первую очередь исследовались пространственные взаимосвязи между геообъектами.

Геообъекты представляют собой метки, круги, ломаные, прямоугольники, многоугольники, а также их сочетания. Каждый геообъект, как правило, описывается той геометрией, которая задается геометрическим типом и координатами.

На основе пространственной взаимосвязи между геообъектами были разработаны геоинформационные модели и методы пространственного анализа данных. Примером практической реализации этих исследований, понятным любому современному водителю, могут служить транспортные модели сети дорог и методы сетевого анализа, реализованные в автомобильных навигаторах.

Геоинформационные системы (ГИС) можно охарактеризовать как аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координатных данных, интеграцию информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач. ГИС в настоящее время находят применение практически во всех сферах человеческой деятельности, в том числе связанных с дорожно-строительным комплексом, имеющих отношение к пространственным объектам, местоположение которых на Земле может быть описано посредством какой-либо системы координат.

Процессы глобализации, свойственные современному обществу, приводят к тому, что формирование единого социально-экономического пространства все больше становится связанным с реальным пространственным положением. В сложившейся ситуации возникает потребность в создании и использовании геоинформационных систем в различных сферах деятельности. Примером в дорожной сфере является проектирование автомобильных дорог.

Для зоны возможных проектных решений требуются сведения об подземных коммуникациях, застройке, геологии, гидрологии, рельефе местности. Если предположить, что эти данные уже хранятся в цифровом виде (соответствующие ведомства), организованные по заранее определенным правилам, то вопрос передачи таких данных в единое геоинформационное пространство становится относительно простой процедурой [2].

Интерес к ГИС-технологиям для управления процессами проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог начался в 90-х годах прошлого века. Одной из главных проблем внедрения ГИС в практическую дорожно-строительную деятельность явилось полное отсутствие нормативно-технического регулирования работ по созданию ГИС и поддержание актуального состояния системы. В этот период были широко апробированы технологии цифровой аэрофото съемки автомобильных дорог, мобильного лазерного сканирования. Для планово-высотного обоснования ГИС-работ активно внедрялись технологии спутниковых измерений на основе системы ГЛОНАСС.

Одной из основных особенностей автомобильных дорог как линейно-протяженного объекта по сравнению с промышленно-гражданским строительством является более сложный жизненный цикл, подразумевающий разнородность моделей (САПР- и ГИС-моделей) всей дороги и ее отдельных элементов, что позволяет говорить о более сложных концепциях управления дорогами [3].

Возвращаясь к рассуждениям о промышленных революциях, их значении в развитии промышленного производства и заглядывая в будущее, можно отметить тот факт, что четвертая промышленная революция характеризуется высокой взаимной интеграцией информационных технологий (рис. 1.2), затрагивающих не в последнюю очередь дорожную отрасль.



Рис. 1.2. Ключевые информационные технологии четвертой промышленной революции

Особенность развертывания ГИС в дорожной отрасли на федеральном уровне состоит в том, что оно осуществлялось (и осуществляется) исключительно на программном обеспечении отечественного производства. Это является основным, можно сказать, кардинальным отличием от практически любого зарубежного рынка дорожного программного обеспечения, где наблюдается тотальное засилье американского софта.

1.2. Область применения

Основной задачей и практической необходимостью геоинформационных систем является сбор, хранение и обновление данных о существующих, вновь строящихся и реконструируемых автомобильных дорогах, улично-дорожной сети (УДС) в городах и других населенных пунктах, что позволяет обеспечить [4]:

- единство принципов хранения, доступа и обработки данных, паспортизации и инвентаризации автомобильных дорог, искусственных сооружений и прочего имущества;
- диагностику автомобильных дорог и искусственных сооружений;
- хранение и обработку данных о дорожно-транспортных происшествиях;
- учет интенсивности и состава дорожного движения;
- оценку уровня содержания дорог;
- технический учет дорожных работ;
- обследования, выполненные для разработки проектов организации дорожного движения;
- изыскания и проекты ремонтов, строительства, реконструкции автомобильных дорог;
- земельно-имущественный учет.

Основная особенность и сложность работы с ГИС заключается в необходимости владения терминами с соответствующими определениями [4]:

- информационная система: система, предназначенная для хранения, обработки, поиска, распространения, передачи и представления информации;
- данные: информация, представленная в виде, пригодном для обработки автоматическими средствами при возможном участии человека;
- пространственные дорожные данные: информация о расположении, размерах, конструкции и технических характеристиках автомобильных дорог, их конструктивных частей, элементах инженерного обустройства и искусственных сооружений;
- географическая информационная система (геоинформационная система): информационная система, оперирующая пространственными данными;
- модель данных: совокупность правил порождения структур данных в базе данных, операций над ними, а также ограничений

целостности, определяющих допустимые связи и значения данных, последовательность их изменения;

– модель дорожных данных: модель данных для описания расположения, размеров, конструкции и технических характеристик автомобильных дорог, их конструктивных частей, элементов инженерного обустройства и искусственных сооружений, а также их изменения в течение жизненного цикла автомобильной дороги;

– пространственная (геопространственная) база данных автомобильных дорог: совокупность пространственных дорожных данных по автомобильным дорогам, организованная в соответствии с моделью дорожных данных;

– классификатор элементов автомобильных дорог: перечень видов логических и конструктивных элементов автомобильных дорог, элементов инженерного обустройства, искусственных сооружений;

– дорожная адресация: способ идентификации автомобильных дорог, их элементов, объектов обустройства, искусственных сооружений и других объектов, событий и явлений на автомобильной дороге однозначным способом, позволяющим человеку или информационной системе однозначно определить расположение идентифицируемого объекта;

– собственник: тот, в чьей собственности находится автомобильная дорога (примечание: собственником автомобильной дороги может быть Российская Федерация, субъект Федерации, муниципалитет, физическое или юридическое лицо);

– владелец: организация, имеющая на своем балансе автомобильную дорогу или ее участок и (или) осуществляющая управление процессами проектирования, эксплуатации, строительства (реконструкции) и ремонтов (примечание: владелец является основным пользователем пространственной базы данных автомобильных дорог в процессах принятия технических и управленческих решений);

– подрядчик: организация, выполняющая дорожные работы по заказу владельца (примечание: подрядчик в процессе выполнения работ предоставляет владельцу сведения о выполненных работах по определенным нормативам);

– оператор: организация, выполняющая процессы внесения данных в геоинформационную модель автомобильных дорог.

Знание области применения, терминов и определений, позволяет вносить изменения и обновления в пространственную базу данных автомобильных дорог.

1.3. Требования к формированию пространственной базы данных автомобильных дорог

Необходимость формирования пространственной базы данных автомобильной дороги возникает, как правило, на стадиях проектирования, строительства, реконструкции и ремонта, в том числе при содержании дорог, не имеющих пространственной базы данных.

Порядок внесения изменений и обновлений в пространственную базу данных автомобильных дорог предназначен для упорядочения процессов формирования, актуализации и сопровождения пространственной базы данных автомобильной дороги как основного хранилища технической и технологической информации об автомобильной дороге в течение ее жизненного цикла [4].

Актуализацию можно представить как обновление информации для современного положения вещей в чем-либо.

Суть формирования пространственной базы данных автомобильной дороги (первичный ввод данных) – создание новой пространственной базы данных автомобильной дороги для объектов, на которых она еще не создавалась или не проходила актуализацию и сопровождение в течение последних пяти лет, а также для вновь проектируемых объектов [4].

1.3.1. Требования по актуализации пространственной базы данных автомобильных дорог

Актуализацией пространственной базы данных автомобильной дороги является ввод данных по результатам периодических мероприятий на автомобильной дороге.

Актуализация (обновление) пространственной базы данных автомобильной дороги необходима для объектов (дорог, участков дорог), на которых производились [4]:

- реконструкция, капитальный ремонт и исполнительная съемка (по результатам реконструкции и капитального ремонта);
- изменения инженерного обустройства и организации дорожного движения;
- измерения эксплуатационных показателей автомобильной дороги;
- землеустроительные работы;
- значительные изменения рельефа местности и объектов придорожной полосы.

Обновление (актуализация) пространственной базы данных автомобильных дорог происходит на следующих этапах [4]:

– стадия «Проектирование». Данный процесс возникает, если на предыдущем этапе уже была сформирована пространственная база данных автомобильной дороги с вариантами для проектирования. В данном процессе подрядчик работ по проектированию выступает в роли оператора и формирует пространственную базу данных автомобильной дороги, включающую в себя модель рельефа, кадастровый план и проектное решение в виде пространственной базы данных, что необходимо заблаговременно предусмотреть в техническом задании на проектирование;

– стадия «Строительство, реконструкция». Данный процесс возникает, если на предыдущем этапе уже была сформирована пространственная база данных автомобильной дороги с проектом строительства (реконструкции). В данном процессе подрядчик работ по исполнительной съемке выступает в роли оператора и актуализирует пространственную базу данных автомобильной дороги на основании материалов исполнительной съемки, что необходимо заблаговременно предусмотреть в техническом задании на строительство или реконструкцию;

– стадия «Содержание, ремонт». Данный процесс возникает при наличии пространственной базы данных автомобильной дороги. При актуализации в пространственную базу данных вносятся данные: об изменениях смежных землепользователей, изменениях кадастровых линий; об изменениях геометрии автомобильной дороги. Появление новых и замена старых элементов обустройства корректируется соответствующими элементами в модели. Выполнение актуализации проводит либо оператор по заказу владельца, либо иной привлеченный подрядчик. Работы по актуализации принимаются в виде пространственной базы данных, что необходимо предусмотреть в техническом задании на содержание или ремонт;

– стадия «Капитальный ремонт». Данный процесс возникает при наличии пространственной базы данных автомобильной дороги после выполнения капитального ремонта. В данном процессе подрядчик работ по исполнительной съемке выступает в роли оператора и актуализирует пространственную базу данных автомобильной дороги на основании материалов исполнительной съемки, что необходимо предусмотреть в техническом задании на капитальный ремонт.

Капитальный ремонт – это плановый ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному ресурса объекта с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые.

1.3.2. Требования по оперативному ведению пространственной базы данных автомобильных дорог

Основная цель и задачи при работе над пространственной базой данных автомобильной дороги – это действия по оперативному ведению (внесению) данных. Данную работу необходимо начинать на предпроектной стадии (разработка схемы территориального планирования, проекта планировки) или проектной стадии существования автомобильной дороги и использовать имеющиеся пространственные базы данных смежных автомобильных дорог на этапах предпроектной и проектной деятельности в качестве одного из видов исходных данных.

Особенность процесса внесения данных на разных этапах жизненного цикла автомобильной дороги в том, что они отличаются друг от друга по видам вносимых данных и по их последовательности.

Особое значение имеет оперативное ведение пространственной базы данных автомобильной дороги (оперативный ввод данных по выявляемым незначительным изменениям, связанным с автомобильной дорогой), что подразумевает такую последовательность постоянного ввода данных [4]:

- работы, выполняемые в период их реконструкции и эксплуатации;
- локальные изменения инженерного обустройства и организации дорожного движения;
- дефекты, выявляемые в ходе технических инспекций автомобильной дороги;
- интенсивность и состав дорожного движения, дорожно-транспортные происшествия;
- изменения смежных землепользователей и объектов сервиса в придорожной полосе и полосе отвода;
- незначительные изменения местности и объектов в придорожной полосе.

В настоящее время (и далее) основной задачей для существующих автомобильных дорог является формирование пространственной базы данных, которое необходимо проводить вместо очередных работ по паспортизации. Данный вид работ (формирование пространственной

базы данных) в обязательном порядке необходимо совмещать с работами по землеустройству (в данном случае необходимость в работах по периодической паспортизации отпадает) ввиду замены работ по периодической паспортизации пространственной базой данных автомобильной дороги.

Особенность и практическая необходимость формирования и обновления пространственной базы данных автомобильных дорог заключается в том, что в организации-владельце рекомендуется составить список подразделений, использующих пространственную базу данных автомобильной дороги, и назначить лиц, ответственных за актуализацию данных по конкретным дорожным объектам. В должностные инструкции сотрудников, работающих с пространственной базой данных автомобильной дороги, рекомендуется внести соответствующие изменения.

1.3.3. Хранение и техническое сопровождение пространственной базы данных автомобильных дорог

Особенность пространственной базы данных автомобильной дороги состоит в том, что обновление происходит постоянно в течение всего жизненного цикла автомобильной дороги. Для обеспечения сохранности данных в случаях аппаратного или программного сбоя оборудования должны создаваться резервные копии базы данных не реже одного раза в сутки.

При постоянном обновлении базы данных происходит накопление большого объема информации, не используемой в дальнейшем. Для сокращения объема хранимых резервных копий не менее одного раза в месяц необходимо создавать полную резервную копию базы данных и обеспечить ее сохранность. При этом допускается удаление ежесуточных резервных копий. Для обеспечения сохранности данных в процессе внесения изменений в пространственную базу данных автомобильных дорог в информационную модель должна быть предусмотрена система прав доступа. Для решения данной задачи перед началом работы необходимо [4]:

- для каждого пользователя создать пароль;
- сформировать группы пользователей;
- разграничить права доступа (просмотр, создание, удаление) к данным в соответствии с характером решаемых задач;
- воспользоваться функцией ведения журнала работ для отслеживания операций, производимых каждым пользователем в процессе работы с системой.

Основной особенностью дорог (автомобильных и железных) по сравнению с другими транспортными связями и путями сообщения является их линейная протяженность, что создает определенные трудности при их проектировании, строительстве и эксплуатации.

В дальнейшем при эксплуатации автомобильных дорог объективные трудности определяются местоположением дороги. С учетом данного обстоятельства в силу административного и территориального распределения органов управления дорогой – пользователей системы допускается нахождение базы данных на различных серверах. Для поддержания актуальности данных на всех серверах должна выполняться их синхронизация с периодичностью не менее одного раза в сутки и, как правило, в ночное время, когда новые данные не вводятся и каналы связи не загружены [4].

1.4. Геоинформационные системы автомобильных дорог: настоящее и будущее

Точкой отсчета настоящего развития ГИС можно считать распоряжение Президента Российской Федерации «Об утверждении плана перехода на использование отечественных геоинформационных технологий». Примечательно то, что массовое внедрение инновационных технологий сбора данных о дорогах и сооружениях привело к появлению большого количества отечественных аналогов этих технологий и снижению стоимости соответствующих работ [5].

Среди них:

- лазерное сканирование (воздушное и наземное);
- глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС);
- аэрофотосъемка с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)

и др.

При этом необходимо отметить тот факт, что, начиная с проекта автоматизированных систем управления (АСУ) Росавтодора, в дорожной отрасли развертывание ГИС на федеральном уровне осуществляется и осуществляется исключительно на программном обеспечении отечественного производства.

Традиционно инженерно-геодезические изыскания при проектировании автомобильных дорог проводятся в соответствии с нормативными документами: СП 47.13330.2010; СП 11-104–97 [1, 2]. В последние годы для повышения эффективности, производительности и качества изысканий при исследовании наземных объектов применяются методы спутниковой навигации и лазерного сканирования.

Лазерное сканирование можно определить как технологию дистанционного зондирования поверхности, которая позволяет на расстоянии от исследуемого объекта собирать информацию о нем с помощью лазерного луча. На сегодняшний день это наиболее прогрессивная технология для получения трехмерных моделей существующих объектов, поскольку по сравнению с традиционными методами изысканий дает возможность снизить трудозатраты и улучшить качество и полноту полученных измерений [6].

Для инженерных изысканий могут использоваться следующие технологии дистанционного зондирования поверхности Земли (ДЗЗ):

- воздушная лазерная локация (ВЛЛ);
- наземная лазерная локация (НЛЛ).

Впервые в дорожной отрасли воздушная лазерная локация была использована ОАО «ГИПРОДОРНИИ» в 2003 г. на трассе автомобильной дороги г. Ханты-Мансийск – пос. Горноправдинск – а/д г. Тюмень – г. Ханты-Мансийск протяженностью 154 км, шириной 600 м, плотностью точек, отраженных от поверхности земли, 3 точки на 1 м² [3]. За одну неделю были проведены полевые работы, которые обычно выполняются в течение года, и получена трехмерная модель местности высокого качества.

Неотъемлемой частью получения трехмерной модели местности является цифровая обработка результатов аэрофотосъемки местности (рис. 1.3).

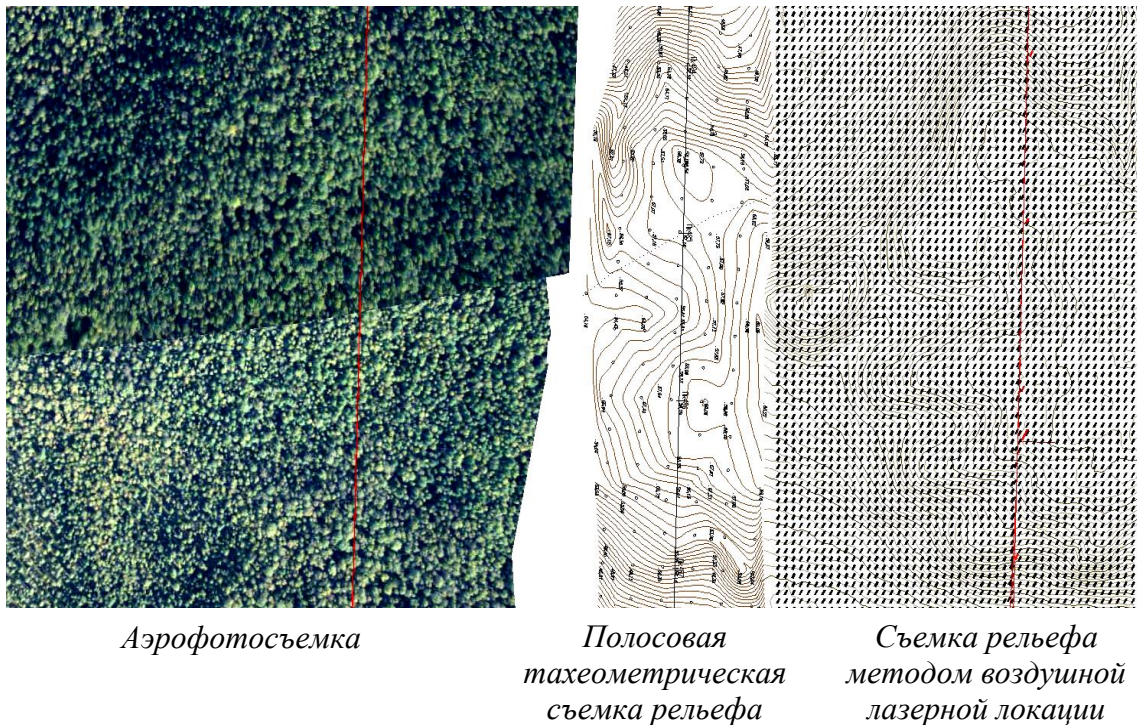


Рис. 1.3. Цифровая обработка результатов аэрофотосъемки местности

Цифровая обработка результатов аэрофотосъемки местности (см. рис. 1.3) демонстрирует изображение одного и того же участка трассы проектируемой автомобильной дороги, полученное в результате аэрофотосъемки, полосовой тахеометрической съемки и съемки рельефа методом воздушной лазерной локации. Представленный пример наглядно показывает, что по сравнению с результатами ручной съемки плотность точек лазерных отражений и ширина воздушной лазерной локации (ВЛЛ-съемки) обеспечивают на цифровой модели местности даже при наличии сплошной залесенности повышенную достоверность отражения рельефа.

На основе ВЛЛ-съемки делается цифровая модель местности (рис. 1.4).

Технология дистанционного зондирования Земли была применена на автомобильной дороге пос. Пурпе – пос. Тарко-Сале – пос. Новозаполярный – ГНПС-1 («Заполярье») [4]. Протяженность трассы автомобильной дороги составила 462 км, ширина съемки – 500 м, плотность точек, отраженных от поверхности Земли, – не менее одной на 1 м².

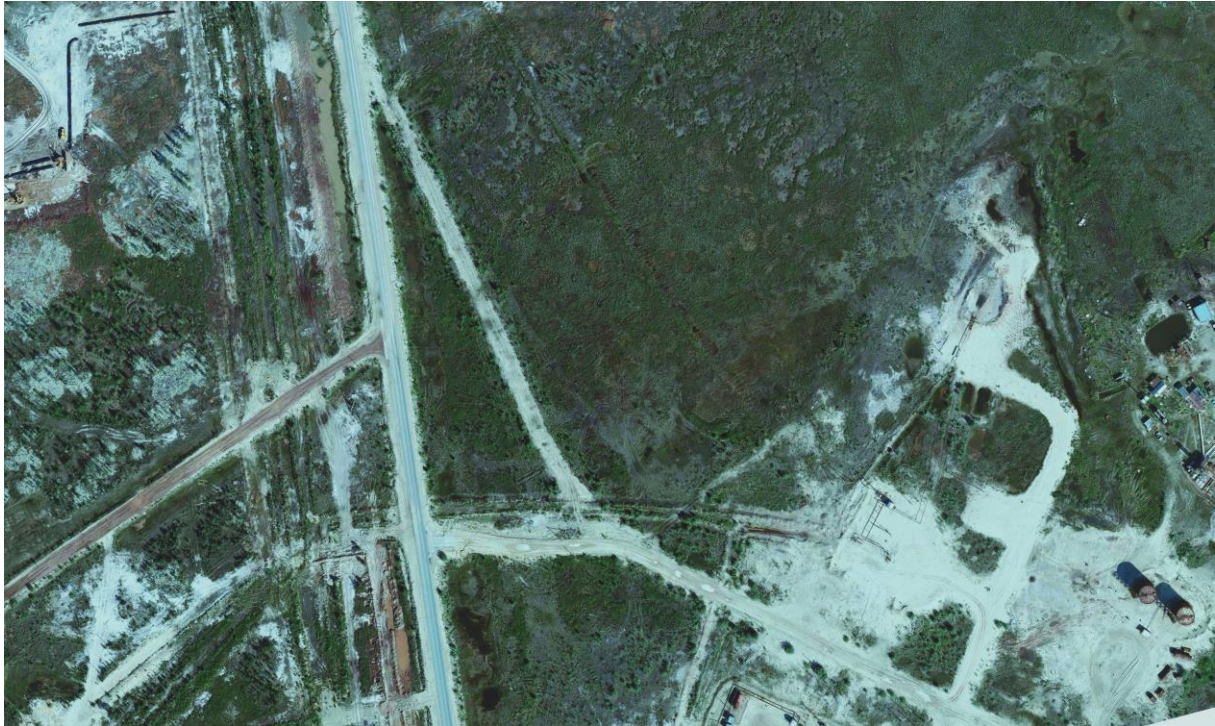
Основой для выполнения работ стало использование воздушного бортового лазерного сканера ALS-60 и цифровой фотокамеры RCD-30 (60 Мп). Съемка производилась с борта вертолета Ми-8. Особенностью при проведении съемки стало расположение антенны GPS-приемника. Антенна была установлена на хвостовой балке вертолета.

Планово-высотная привязка объекта к государственной геодезической сети, как и координирование геодезической опорной сети трассы автомобильной дороги, были выполнены методами спутниковой геодезии. Всего на объекте было задействовано до 20 GPS-приемников.

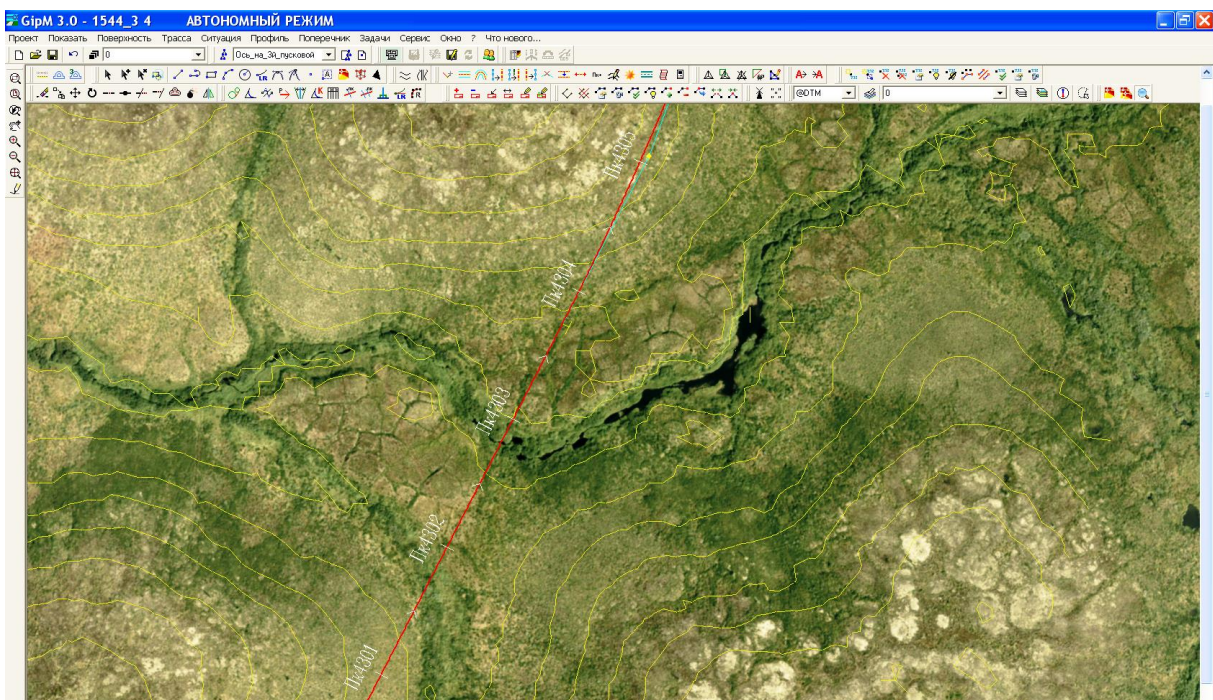
На основе цифровой модели местности (ЦММ) по ортофотопланам (см. рис. 1.4) была выполнена детальная трассировка автомобильной дороги.

Для создания цифровой модели местности в системе автоматизированного проектирования (САПР GIP-M) на основе ортофотоплановой мозаики с высотной составляющей был специально разработан уникальный модуль пакетной загрузки растров ортофото мозаики.

При этом **растр** (оптика) можно определить как решетку для структурного преобразования направленного пучка лучей света, а **ортофото мозаику** – как изображения с исправленными геометрическими искажениями, сбалансированными по цветам для получения бесшовного набора данных мозаики.



a



б

Рис. 1.4. Модель местности:
a – элемент ортофотоплана местности;
б – элемент цифровой модели местности

Модуль оснащается разрешаемой детализацией ортофотопланов, что позволяет загружать в GIS-М информацию о ширине полосы трассирования автомобильной дороги (20–30 км).

Точность трассирования составила 10–15 см. При трассировании строился предварительный и проектный профиль, оценивались уклоны, рабочие отметки, выработывались варианты оптимального проложения трассы на пересечении водотоков, болот, озер, мерзлотных полей и сложных рельефных форм. Далее была выполнена отрисовка топографических планов масштаба 1:2000, разработаны окончательные профили, сформирован технический отчет.

Метод ВЛЛ был применен и для полосовой съемки местности по трассе автомобильной дороги г. Ивдель – г. Ханты-Мансийск на участке 620–740 км в составе автомобильного коридора г. Пермь – г. Серов – г. Ивдель – г. Ханты-Мансийск – г. Нижневартовск – г. Томск [7, 8]. Трасса связывает северный куст уральских городов, не имевших ранее между собой круглогодичного автомобильного сообщения с Советским районом Ханты-Мансийского автономного округа (рис. 1.5). Она проложена вдоль существующего коридора магистрального газопровода, железной дороги с подъездами к поселкам.



Рис. 1.5. Схема участка автомобильной дороги г. Ивдель – г. Ханты-Мансийск

Особенность проектно-изыскательских работ на объекте состояла в применении ДЗЗ в виде ВЛЛ от начала до выноса трассы в натуру. Большой объем данных (высокая информативность полученного материала) позволил провести детальное трассирование, что невозможно выполнить по картам этого района масштаба 1:25 000, и свел к минимуму полевую корректуру трассы и, как следствие, трудоемкость выполнения работ.

Протяженность съемки ВЛЛ составила 145 км, ширина – 300 м. Привязка двух базовых станций для обработки ВЛЛ проводилась GPS Topcon Legacy-E от пунктов государственной геодезической сети. Летно-съемочные работы по методу ВЛЛ выполнялись с вертолета МИ-8 в течение двух дней.

Фрагмент совмещенного плана аэрофотосъемки и топографической съемки на основе ВЛЛ представлен на рис. 1.6.

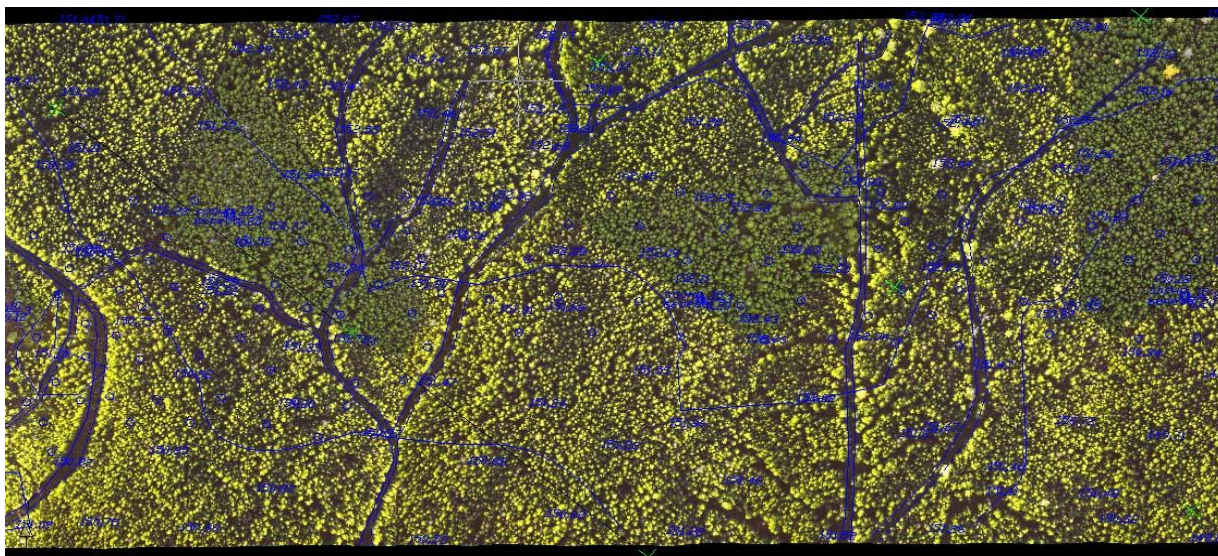


Рис. 1.6. Фрагмент совмещенного плана аэрофотосъемки и топографической съемки на основе ВЛЛ

Применение на этом объекте метода ВЛЛ позволило значительно повысить качество и информативность цифровой модели местности и сократить до полугода сроки полевых работ с выносом в натуру и закреплением трассы. В качестве недостатков данного метода выявилось, что ВЛЛ необходимо проводить по опорным точкам, помимо базовых станций, и дополнительно выполнять съемку урезом водотоков, так как при съемке методом ВЛЛ сплошные завалы из деревьев на небольших таежных речках воспринимаются как поверхность земли.

Следующим рассмотрим опыт ОАО «ГИПРОДОРНИИ» в применении технологии наземной лазерной локации [9]. Успешными оказались проектно-изыскательские работы методом НЛЛ для съемки мостового перехода через р. Тромъеган на участке км 125 – км 175 автомобильной дороги г. Сургут – г. Когалым – граница ХМАО (рис. 1.7).

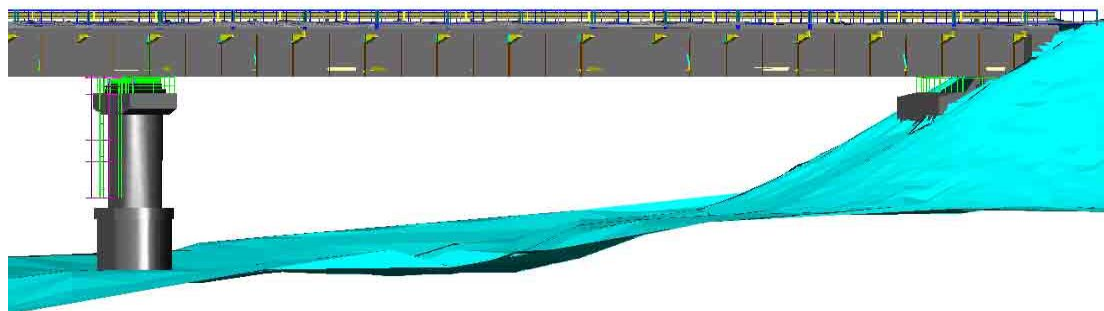


Рис. 1.7. Фрагмент модели моста через р. Тромъеган, построенной на основе данных НЛЛ

Основная особенность и сложность заключалась в том, что длина реконструируемого моста составляла около 220 м. В результате съемки был получен достоверный и полный материал для принятия проектного решения. Этот материал дал возможность отказаться от реконструкции моста и обосновать необходимость строительства нового мостового перехода рядом с существующим. Применение любых других методов не позволяло провести детальную и точную съемку всех конструктивных элементов моста и прилегающей к нему территории.

Мостовой переход через р. Демьянка на автомобильной дороге г. Тюмень – г. Ханты-Мансийск – км 429 был снят также методом НЛЛ (рис. 1.8, 1.9). Длина реконструируемого моста составила около 260 м.

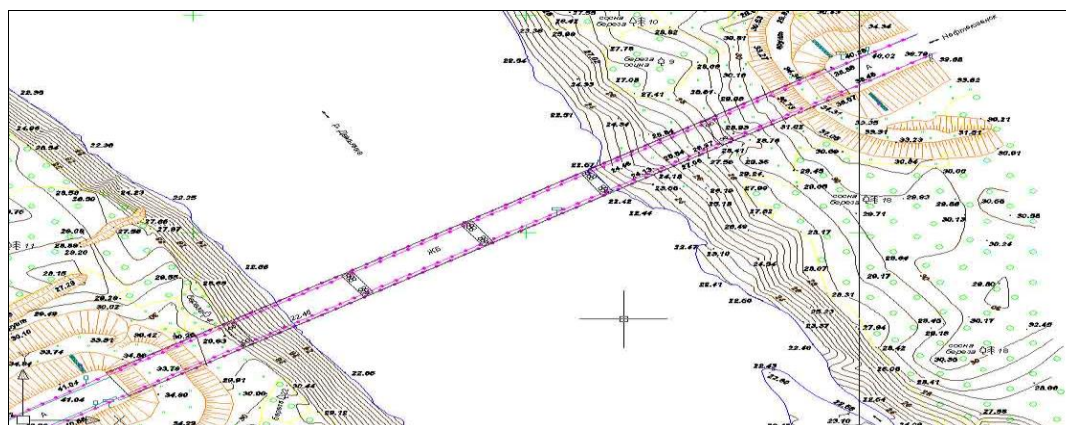


Рис. 1.8. План моста через р. Демьянка

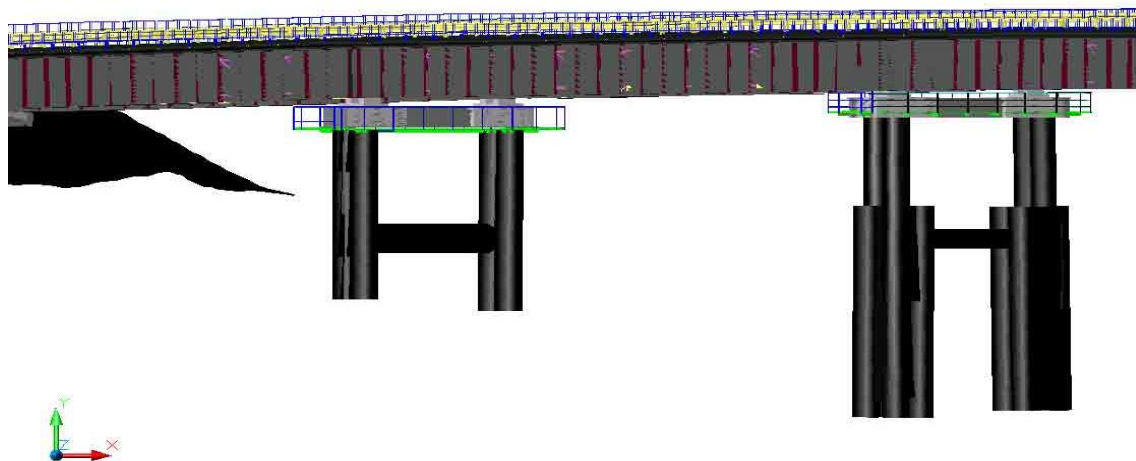


Рис. 1.9. Фрагмент модели моста через р. Демьянка, построенной на основе данных НЛЛ

При реконструкции автомобильной дороги г. Тюмень – г. Ханты-Мансийск – участок 96–168 км была проведена исполнительная съемка методом НЛЛ. Ширина полосы съемки составила 60 м, длина участка – 70 км. Съемку проводили наземным сканером, базирующимся на автомобиле (рис. 1.10).



Рис. 1.10. Процесс съемки НЛЛ

Основное расстояние между точками съемки составило около 100 м с дополнительными станциями на водопропускных трубах и других сложных участках. Привязка базовых станций для обработки НЛЛ проводилась GPS Topcon Legacy-E (рис. 1.11) от пунктов государственной геодезической сети.



Рис. 1.11. Ровер GPS Topcon Legacy-E

Делая вывод, можно отметить, что опыт применения НЛЛ показал высокую информативность цифровой модели местности (рис. 1.12), это особенно важно при съемке сложных по конфигурации локальных объектов: мостов, путепроводов, развязок, резервов грунта, АБЗ и других объектов дорожной инфраструктуры и сервиса.

Необходимо отметить следующие преимущества метода наземного лазерного сканирования перед тахеометрической съемкой и другими наземными видами съемки:

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

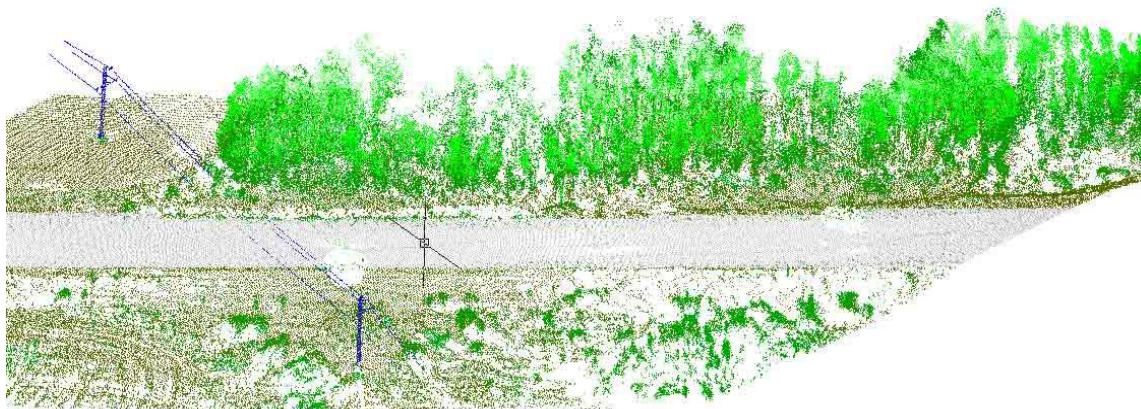


Рис. 1.12. Фрагмент изометрии цифровой модели местности, построенной на основе данных НЛЛ

Рассматривая материальные затраты по сбору данных и моделированию объекта методами трехмерного наземного лазерного сканирования на небольших участках и объектах, можно сделать вывод о том, что они сопоставимы с затратами при использовании традиционных методов съемки, а на участках большой площади или протяженности эти затраты меньше. Даже при сопоставимых расходах на съемку полнота и точность результатов наземного лазерного сканирования позволяют избежать дополнительных расходов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации объекта.

Делая сравнение и проводя анализ, можно отметить, что наземное лазерное сканирование и моделирование аналогичны фотограмметрическим методам, но позволяют получать координаты с одной точки стояния и контролировать измерения непосредственно в полевых условиях. Причем по сравнению с фотограмметрическими методами при одинаковом удалении от снимаемого объекта обеспечивается более высокая точность измерений. Большим преимуществом наземного лазерного сканирования считается упрощенная схема привязки к системе координат, а также возможность настройки некоторых моделей сканеров на фиксацию первого и (или) последнего отражения, что позволяет разделять отраженный сигнал от растительности и поверхности земли – «пробивать» растительность.

Стоимостные и временные характеристики затрат на изыскания однозначно демонстрируют преимущество наземного лазерного сканирования. При отсутствии необходимости векторизации трехмерного растра работа с результатами наземного лазерного сканирования может выполняться в режиме реального времени, что при фотограмметрических способах невозможно.

Таким образом, результаты проделанных работ продемонстрировали следующие преимущества метода лазерного сканирования:

1) многократное сокращение полевых работ.

За неделю выполняется годовой объем полевых съемочных работ (для трасс длиной около 150 км). Летно-съемочные работы занимают 1–2 дня, остальное время используется на привязку базовых GPS-станций для ВЛЛ;

2) вертолетная заброска специалистов для обеспечения GPS-привязки параллельно ВЛЛ-съемке позволяет вести работы даже в самых удаленных и труднодоступных районах;

3) ВЛЛ-съемка выполняется без разрубки визирной просеки, следовательно, исключается необходимость оформления соответствующих разрешений: лесорубочного билета; сдачи готовой просеки лесничествам и т. д.;

4) получение цифровой модели местности до начала основных полевых работ по выносу трассы в натуру, геологических и гидрологических изысканий.

Это дает возможность детального трассирования автомобильной дороги, а также быстрого и технически обоснованного согласования трассы с заказчиком и землевладельцами;

5) ширина полосы ВЛЛ-съемки ограничена только рентабельностью.

Например, порядок цены ВЛЛ-съемки шириной полосы 300 м такой же, как для наземной съемки шириной 100 м. Соответственно возрастает информативность ЦММ (цифровая модель местности) всей зоны трассирования автомобильной дороги.

Воздушная лазерная локация дает топографическую основу для проектирования всей придорожной инфраструктуры в пределах 300-метровой зоны трассирования:

- сосредоточенных карьеров грунта с подъездными дорогами;
- пересечений и примыканий автомобильных дорог;
- переустраиваемых наземных коммуникаций, искусственных сооружений, объектов жизнеобеспечения, объектов автообслуживания и др.

Необходимо отметить тот факт, что в 2012 г. по материалам цифровой модели местности в САПР GIP-M на основе ортофотоплановой мозаики с высотной составляющей ОАО «ГИПРОДОРНИИ» была внедрена комплексная методика трассирования. Был обоснован и внедрен метод наземного лазерного сканирования для съемки искусственных сооружений в целях принятия проектных решений по их реконструкции.

Перечисленные изыскательские работы показали высокую техническую и экономическую эффективность методов воздушного и наземного лазерного сканирования по параметрам применяемой съемки.

При сравнении двух методов необходимо сделать вывод о том, что инновационный метод лазерного сканирования обладает безусловным преимуществом перед традиционными фотограмметрическими способами съемки.

Подтверждением сделанному выводу является тот факт, что в настоящее время множество компаний в разных странах мира производят БПЛА, отличающиеся высокими функциональными и техническими возможностями. Развитая индустрия производства БПЛА позволяет приобрести нужные БПЛА для их использования в различных целях. В зависимости от функциональных и технических возможностей БПЛА активно используются для мониторинга участков местности, наблюдения за объектами, транспортировки грузов, проведения инженерно-геодезических изысканий и в другой деятельности.

Одним из недостатков является тот факт, что многие сферы применения БПЛА (например, инженерно-геодезические изыскания) не имеют конкретных рекомендаций (руководств по использованию), позволяющих регламентировать, унифицировать и стандартизировать процесс производства работ.

В то же время технология совместного применения спутникового геодезического оборудования и БПЛА позволяет повысить количество и точность решения задач инженерных изысканий в более короткие сроки.

Инженерно-геодезические изыскания с применением спутникового геодезического оборудования совместно с аэрофотосъемкой БПЛА осуществляется дополнительно к обязательным составам данных видов работ, установленных законодательством Российской Федерации, в целях повышения их эффективности [10–15].

Рассматривая аэрофотосъемку, мы можем сформулировать цель выполнения аэрофотосъемки как получение фотоснимков высокого разрешения участков исследования и создание на их основе картографических материалов (ортофотопланов) при инженерно-геодезических изысканиях [5, 6, 10, 16]. Также ортофотопланы могут служить основой для разработки мероприятий по оптимизации дорожного движения.

Неотъемлемой частью аэрофотосъемки является ее проведение в строгом соответствии с утвержденным планом полета. Формат

фотосъемки (видеосъемки) (плановая или перспективная) определяется заданием на производство работ, а также с учетом технических особенностей, оказывающих влияние на создание ортофотопланов.

Фотоснимки должны отвечать следующим условиям:

- уверенное распознавание на снимках контуров сооружений и рельефа;
- уверенное распознавание опознавательных знаков и их центров;
- смежные снимки должны выполняться с перекрытием для их последующего совмещения.

Отличительной особенностью является то, что маршрут БПЛА и точки фотосъемки должны быть определены на этапе планирования полета.

Создание маршрута аэрофотосъемки может быть выполнено автоматизированным способом с помощью программы DroneDeploy (рис. 1.13).

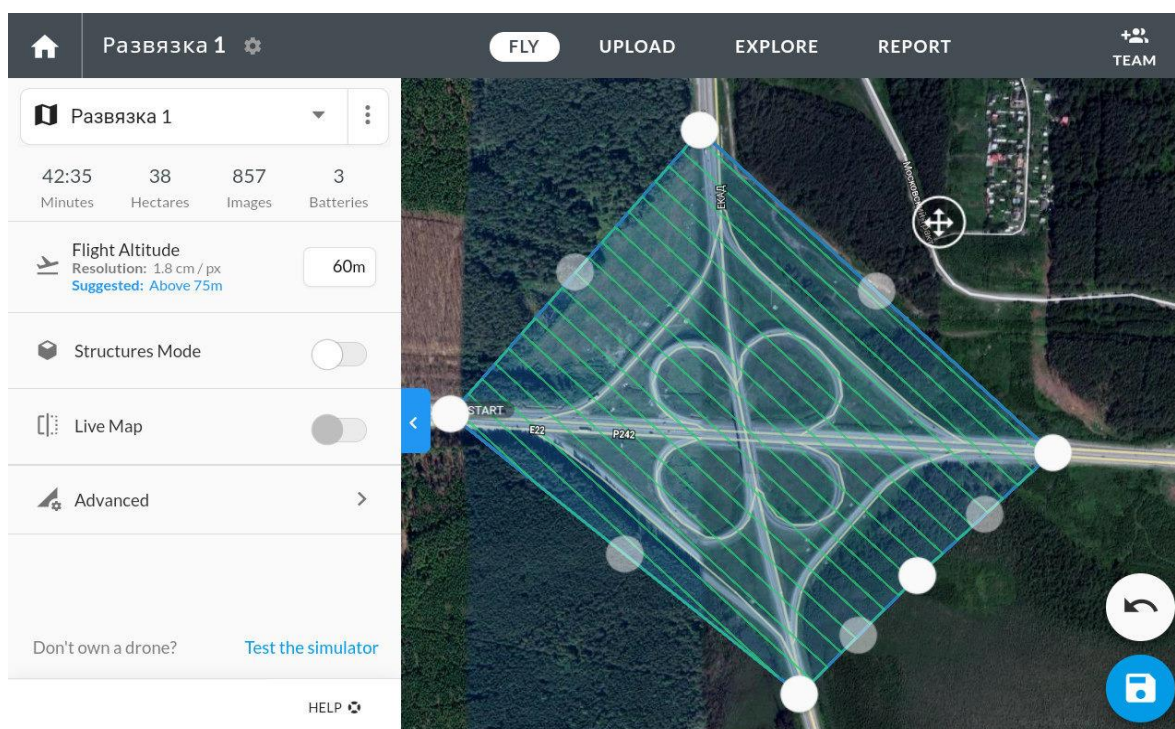


Рис 1.13. Разработка маршрута полета БПЛА в программе DroneDeploy

Это облачный сервис, предназначен для работы совместно с БПЛА: DJI Mavic Pro, Phantom 3 / 3 Adv / 3 Pro, Phantom 4 / 4 Pro, Inspire 1 / 1 Pro, Matrice 100 / 600. Указанное приложение разработано для iOS и Android и заменяет собой стандартное приложение DJI Go 4 для управления БЛА (дроном).

Общий вид объекта исследования представлен на рис. 1.14, фотографии участка транспортной развязки с перекрытием – на рис. 1.15.



Рис. 1.14. Общий вид объекта исследования

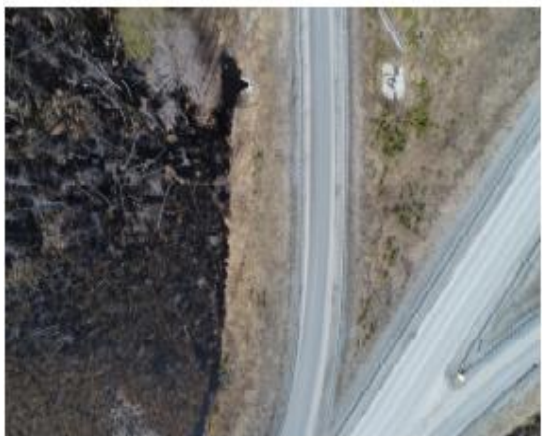
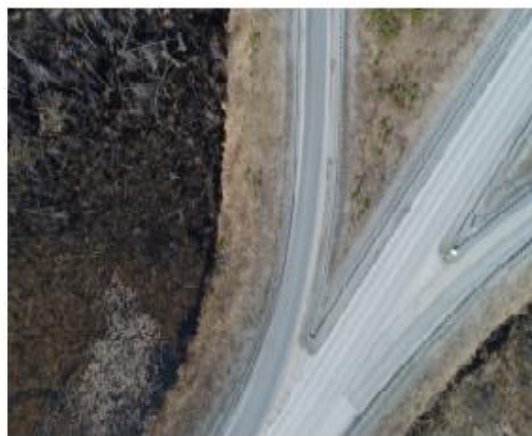
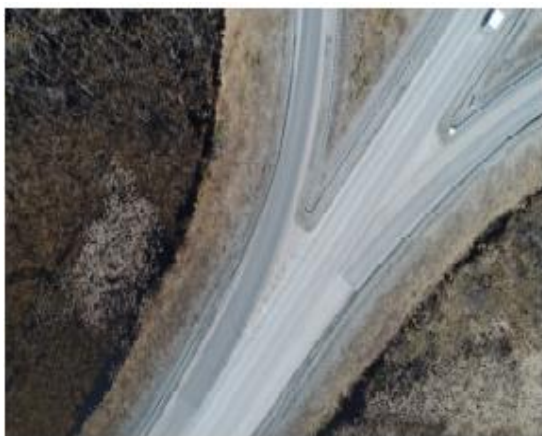


Рис. 1.15. Фотоснимки участка транспортной развязки с перекрытием

Результатом обработки полученных снимков в ходе аэрофото-съемки является создание ортофотопланов на участки исследования заданного масштаба с привязкой к определенной заданием системе координат.

Для скоростной и качественной обработки фотоснимков используют программы RasterDisign; MapInfo; AutoCAD.

Наиболее эффективно обработка фотоснимков в настоящее время выполняется в программе Agisoft Metashape Professional или Agisoft Photoscan (рис. 1.16).

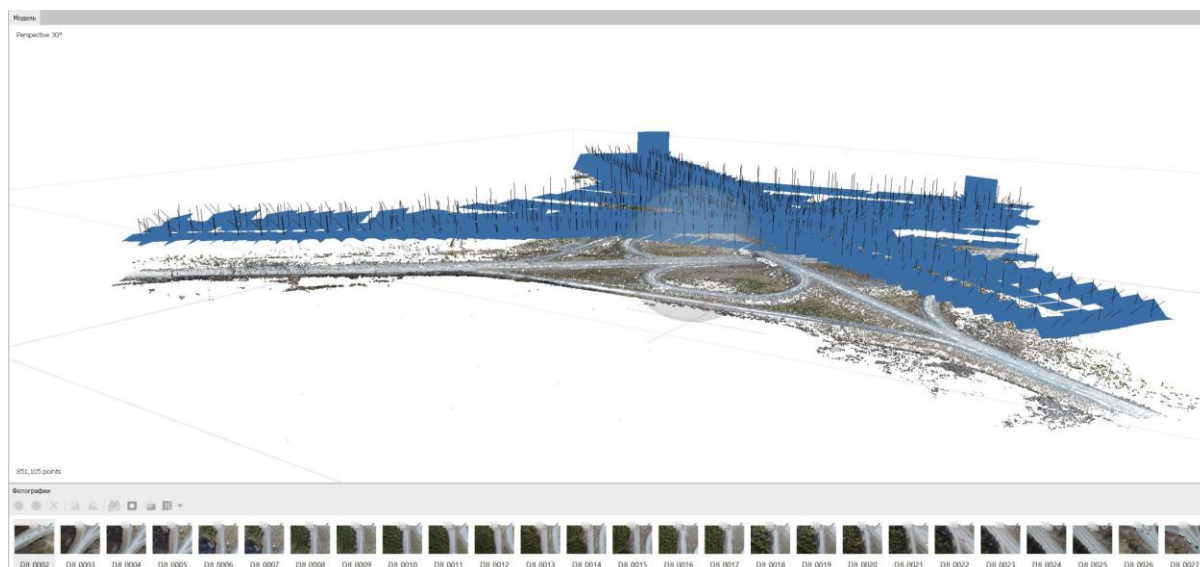


Рис 1.16. Обработка фотографий выравнением

При необходимости может быть выполнена коррекция фотоснимков по яркости, контрастности и цветопередаче средствами обработки растровых изображений.

Результатом обработки материалов аэрофото-съемки программ является облако точек (рис. 1.17) и ортофотоплан (рис. 1.18), которые затем можно использовать при построении ЦММ в таких программных комплексах, как Civil 3D (Autodesk), Robur, Credo.

Особенностью является привязка фотоснимков, которая производится по видимым центрам опознаков в заданной системе координат. В ходе привязки производится трансформация фотоснимка по линейным и угловым параметрам с присоединением к фотоснимку геоинформации.

Далее фотоснимки на основе присоединенной геоинформации выкладываются в отдельный файл в соответствии с координатами границ снимков. Совмещение отдельных снимков выполняется на основе присоединенной геоинформации (координат границ фотоснимков).

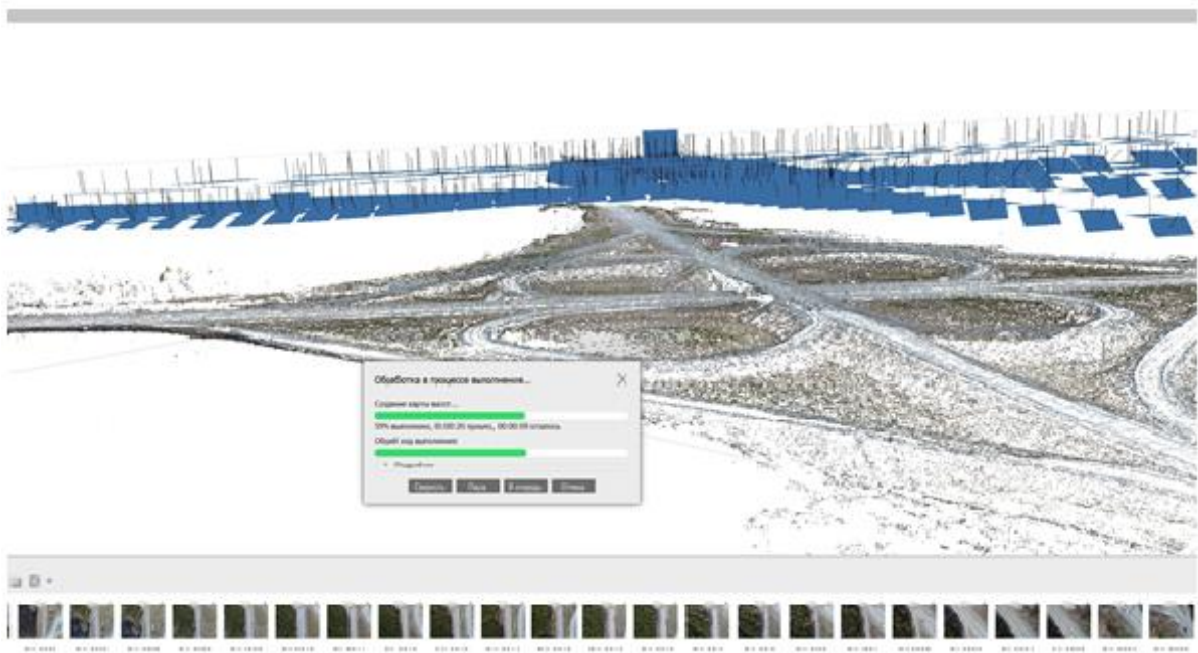


Рис. 1.17. Создание облака точек



Рис. 1.18. Ортофотоплан транспортной развязки

Большим преимуществом является то, что количество точек облака на единицу площади может быть задано любым в зависимости от масштаба плана. Приведенная технология позволяет определить местоположение и геометрические характеристики исследуемых объектов с высокой точностью.

На основе полученного облака точек идет создание векторного чертежа участка улично-дорожной сети. Ортофотопланы необходимы для дальнейшей разработки проектных решений в зависимости от поставленных при проектировании задач (рис. 1.19).

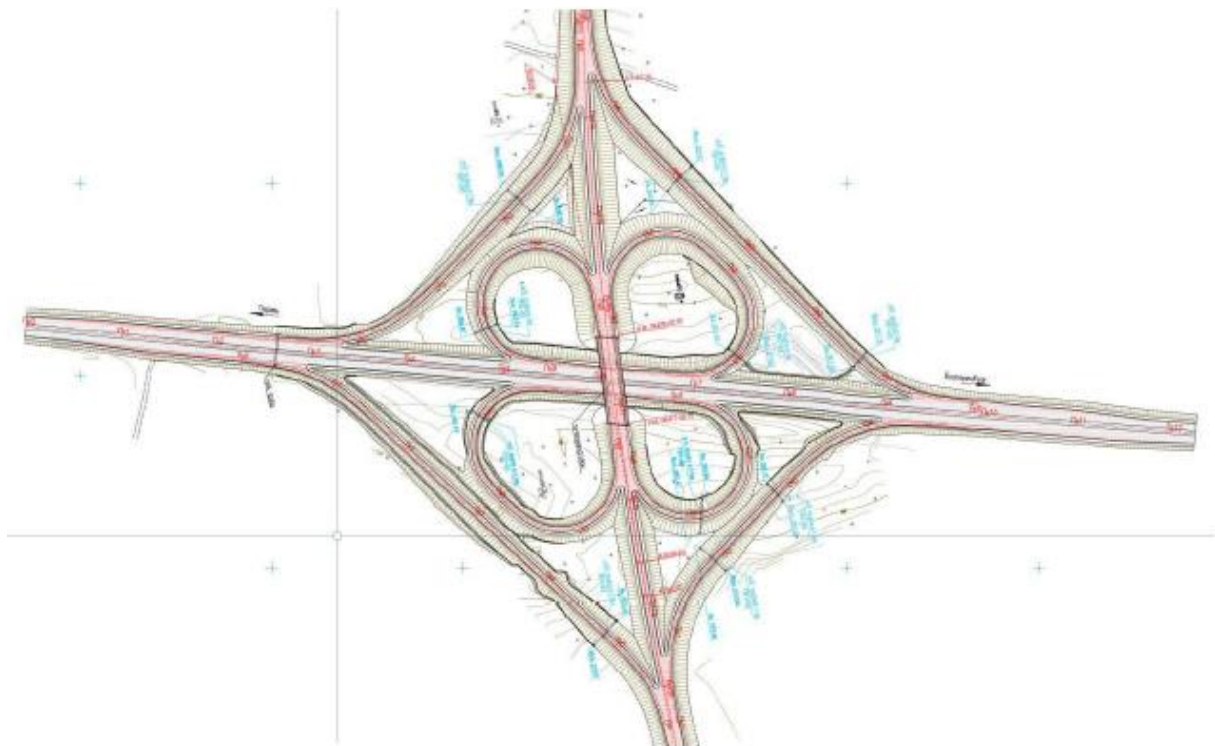


Рис. 1.19. Векторный чертеж участка транспортной развязки на основе ортофотоплана местности

В дальнейшем все чертежи могут быть выполнены путем прорисовки контуров стандартными методами таких программных комплексов, как MapInfo или AutoCAD.

Контрольные вопросы

1. Что принято называть промышленными революциями и в чем их принципиальные отличия и особенность?
2. Что такое геообъекты?
3. Дайте краткую характеристику геоинформационным системам (ГИС).
4. Назовите основную задачу и практическую необходимость ГИС.
5. В чем основная особенность и сложность работы с ГИС?
6. Когда возникает необходимость формирования пространственной базы данных?
7. Для каких целей предназначен порядок внесения изменений и обновлений в пространственную базу данных автомобильных дорог?
8. В чем суть формирования пространственной базы данных автомобильной дороги?
9. В чем особенность пространственной базы данных автомобильной дороги?
10. Назовите основную особенность дорог (автомобильных и железных) по сравнению с другими путями сообщения.
11. Что значит лазерное сканирование?
12. Что значит растр ортофотомозаики?
13. Что значит цифровая модель местности?
14. Что значит наземная лазерная локация?
15. Что такое геоинформация?
16. Что такое геопространство?
17. Что такое опознаки?
18. Что значит улично-дорожная сеть?

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОДЕЗИИ И ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

2.1. Изыскания автомобильных дорог

Геодезия (в переводе с греческого – землеразделение) – одна из наук о Земле. Возникла в глубокой древности и развивалась исходя из практических запросов производственной деятельности человека. Искусство измерять землю и графически изображать отдельные ее участки возникло в Египте и датируется 3 000 годом до н. э. В те годы осуществлялось гражданское и военное строительство, которое обеспечивала геодезия (наука об измерениях), т. е. она была «инженерной». В 1320 г. до н. э. была составлена первая из известных карт. А в 220 г. до н. э. греком Эратосфеном был определен радиус Земли, которая в те времена принималась за шар [7].

При своем развитии геодезия как наука опирается на достижения математики, физики, астрономии и географии, при этом:

- математика дает средства анализа и методы обработки результатов измерения;
- физика способствует конструированию приборов;
- астрономия обеспечивает геодезические работы необходимыми исходными данными;
- география помогает правильно понять и изобразить на картах и планах детали земной поверхности.

Современная геодезия – это наука:

- 1) об определении формы и размеров Земли;
- 2) об изменениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах;
- 3) для решения различных народнохозяйственных задач.

Инженерная геодезия использует методы высшей геодезии, топографии, картографии, а также материалы аэрофото- и космических съемок и, вместе с тем, располагает своими специфическими приемами и средствами.

Инженерная геодезия изучает методы геодезического обеспечения:

- а) при разработке проектов в строительстве и эксплуатации зданий и сооружений;

- б) монтаже технологического оборудования;
- в) освоении и охране природных ресурсов.

Базируясь на геодезических дисциплинах, инженерная геодезия находится в тесной связи с инженерным строительным искусством, которое в связи с усложнением конструкций, требующих высокой точности при их монтаже, предъявляет все более строгие требования к геодезическим работам.

2.1.1. Размеры Земли и системы высот

Для правильного изображения земной поверхности в виде планов и карт необходимо знать фигуру Земли, в то время как на физической поверхности Земли встречаются самые различные неровности: горы; хребты; долины; котловины и т. д.

Описать такую сложную неправильной формы фигуру математической зависимостью невозможно. В то же время для решения многих геодезических задач надо основываться на фигуре геометрически правильной формы, только тогда возможно получение расчетных формул и методов для определения координат и ориентирования на земной поверхности, в том числе для создания карт.

Исходя из вышеизложенного, задачу определения формы и размеров Земли принято делить на две части [7]:

1. Установить форму и размеры некоторой геометрически правильной фигуры, представляющей Землю в общем виде.
2. Изучить отступления реальной физической поверхности Земли от этой фигуры.

Земля (в первом приближении) может считаться шаром, однако на нее воздействует центробежная и центростремительная силы, в результате она сжимается с полюсов и растягивается по экватору. За форму Земли принимают геометрическое тело, ограниченное поверхностью морей и океанов, мысленно продолженной под континентами и такое тело именуется геоид (рис. 2.1).

Особенность состоит в том, что [7]:

– центробежная сила, как результат вращения вокруг оси, делала бы Землю правильным эллипсоидом вращения, если бы она была изотропна;

– эндогенные (внутренние) и экзогенные (внешние) геологические силы делают внутреннее и внешнее строение Земли очень сложным.

Поверхность морей и океанов, находящаяся в спокойном состоянии и составляющая 71 % земной поверхности (доля суши составляет только 29 %), характерна тем, что она в любой ее точке перпендикулярна к отвесной линии, т. е. к направлению действия силы тяжести. Направление действия силы тяжести можно установить в любой точке простым прибором и, соответственно, построить поверхность (такая поверхность называется уровенной, см. рис. 2.1), перпендикулярную к направлению этой силы [7].

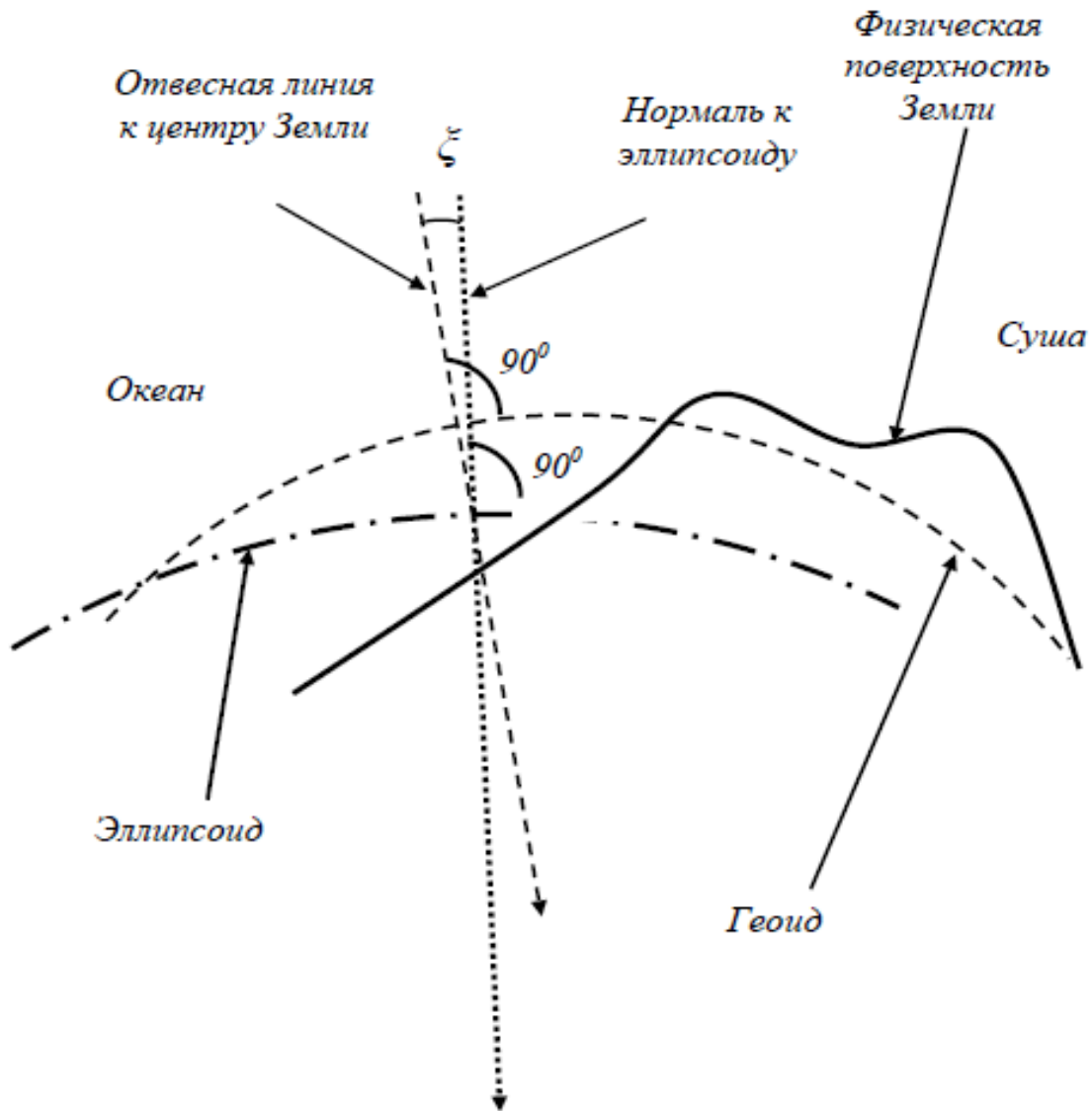


Рис. 2.1. Форма Земли: ξ – уклонение отвесной линии (угол между отвесной линией и нормалью к эллипсоиду)

Уровненную поверхность можно назвать основной (исходной, нулевой) поверхностью, совпадающей со средним уровнем воды в морях и океанах в их спокойном состоянии и мысленно продолженной под материками. Тем не менее поверхность геоида не может

служить той формой, относительно которой можно изучать физическую поверхность Земли, так как аналитической зависимостью точно описать геоид невозможно. Это обусловлено тем, что плотности масс, составляющих земную кору, распределены неравномерно. Кроме того, эти массы под действием внешних и внутренних сил перемещаются (в частности, перемещаются и материковые плиты), следовательно, меняется положение отвесных линий и сама форма геоида [7].

Вследствие особой сложности, т. е. геометрической неправильности геоида, его заменяют другой фигурой – эллипсоидом, который получается при вращении эллипса вокруг его малой оси PP_1 (рис. 2.2).

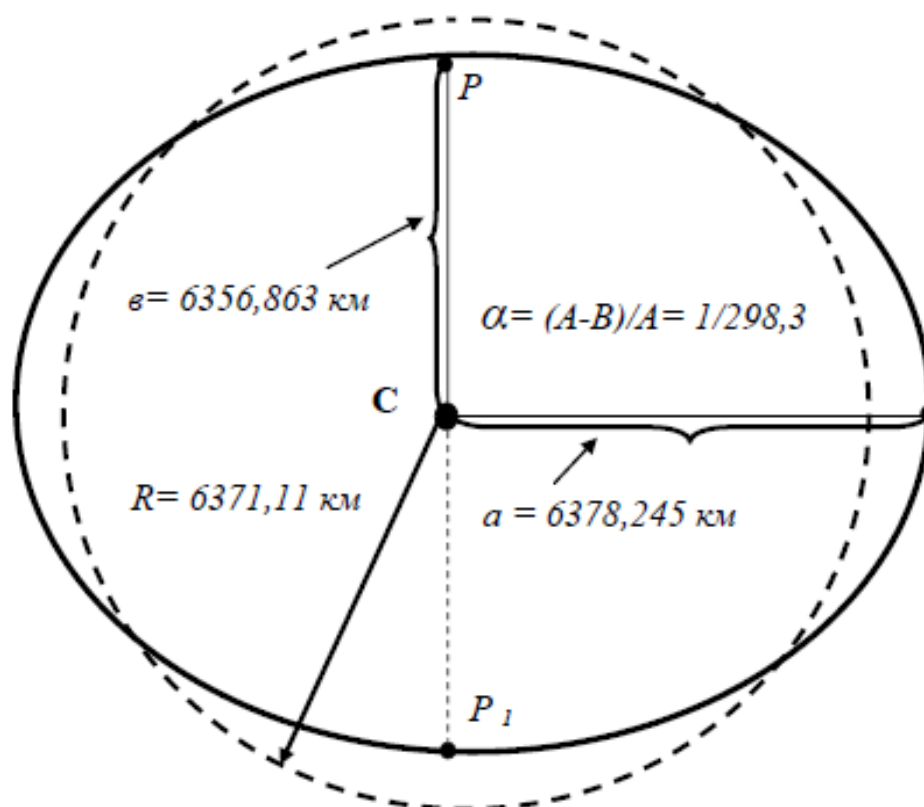


Рис. 2.2. Эллипсоид вращения Крассовского:
 C – центр Земли, b – малая полуось эллипсоида,
 a – большая полуось эллипсоида, α – сжатие Земли

Размеры эллипсоида вращения определялись учеными различных стран. В России вычисления проводились под руководством профессора Ф. Н. Красовского и в 1946 г. утверждены постановлением Совета Министров [7].

Земной эллипсоид Крассовского ориентируют в теле Земли так, чтобы его поверхность в наибольшей мере соответствовала поверхности геоида. Отклонение геоида от эллипсоида в отдельных местах составляет не более 100–150 м.

В тех случаях, когда при решении практических задач фигуру Земли принимают за шар, то радиус шара, равновеликого по площади эллипсоиду Красовского, составляет: $R = 6371,11$ км [7].

В том случае, когда отступают от действительной фигуры Земли, целесообразность таких отступлений объясняется упрощением проведения геодезических работ. Но эти отступления приводят к искажениям при отображении физической поверхности Земли тем методом, который принят в геодезии, – *методом проекций*.

Для определения положения точки, находящейся на физической поверхности Земли относительно исходной уровенной поверхности, помимо плоских координат, необходима третья координата – высота H . Высоты точек местности отсчитываются от уровенной поверхности мирового океана по направлению отвесной линии.

Высоты бывают абсолютные и относительные (рис. 2.3).

Абсолютной (ортометрической) высотой называют расстояние от данной точки до поверхности уровня моря (геоида) по направлению отвесной линии к ней (абсолютная Балтийская система высот 1977 г.). Например, H_A и H_B – абсолютные высоты точек A и B .

Относительная высота, называемая превышением h точки, – это высота одной точки земной поверхности над другой (например, точки A над точкой B).



Рис. 2.3. Абсолютные и относительные высоты точек

В нашей стране с 1946 г. счет абсолютных высот ведется от нуля Кронштадтского футштока [7], соответствующего среднему уровню Балтийского моря в спокойном его состоянии (Балтийская система высот).

Высоты, отсчитанные от иной уровенной поверхности, называются относительными. При съемке небольших участков, при обмерных работах, а также на стройплощадке часто применяют относительную или условную систему отсчета высот.

Численное значение высоты точки называется отметкой точки. Разность высот двух точек называется превышением. Превышение h точки B над точкой A , равное разности высот точек A и B , определяется по зависимости [7]

$$h = H_B - H_A, \quad (2.1)$$

где H_A и H_B – абсолютные высоты точек A и B , м.

Зная высоту точки A , для определения высоты точки B на местности измеряют превышение h_{AB} .

Высоту точки B определяют по зависимости [7]

$$H_B = H_A + h_{AB}, \quad (2.2)$$

где h_{AB} – измеренное превышение, м.

Измерение превышений и последующее вычисление высот точек называется *нивелированием*.

2.1.2. Условные знаки и масштабы

Во все времена (в прошлом, настоящем и будущем) большое значение для успешного использования карт и планов имеет вопрос о способах изображения на них различных качественных характеристик предметов местности.

Чтобы сделать карту достаточно наглядной и удобной, применяют систему *топографических условных знаков*. В этой системе для каждого предмета местности или группы однородных предметов устанавливается особое графическое изображение – *знак*. Из отдельных топографических условных знаков, расставленных на карте, графическим путем создается картина местности [7].

Знание топографических условных знаков необходимо как для правильного их применения при создании карты, так и для успешного изучения местности по карте. Необходимо отметить, что уяснение по карте характера местности и расположения на ней тех или иных объектов называют чтением карты. Изображение местности топографическими условными знаками называют *картографическим изображением* (рис. 2.4).

Условные знаки должны позволять легко читать карту, т. е. давать ясное представление о выраженной ими местности. Для этого

они должны быть по возможности наглядными (напоминать характер изображаемых предметов) и стандартными для всех топографических карт (рис. 2.5). Условные знаки можно разделить на следующие группы [7]:

- а) масштабные;
- б) немасштабные;
- в) линейные;
- г) площадные;
- д) пояснительные.

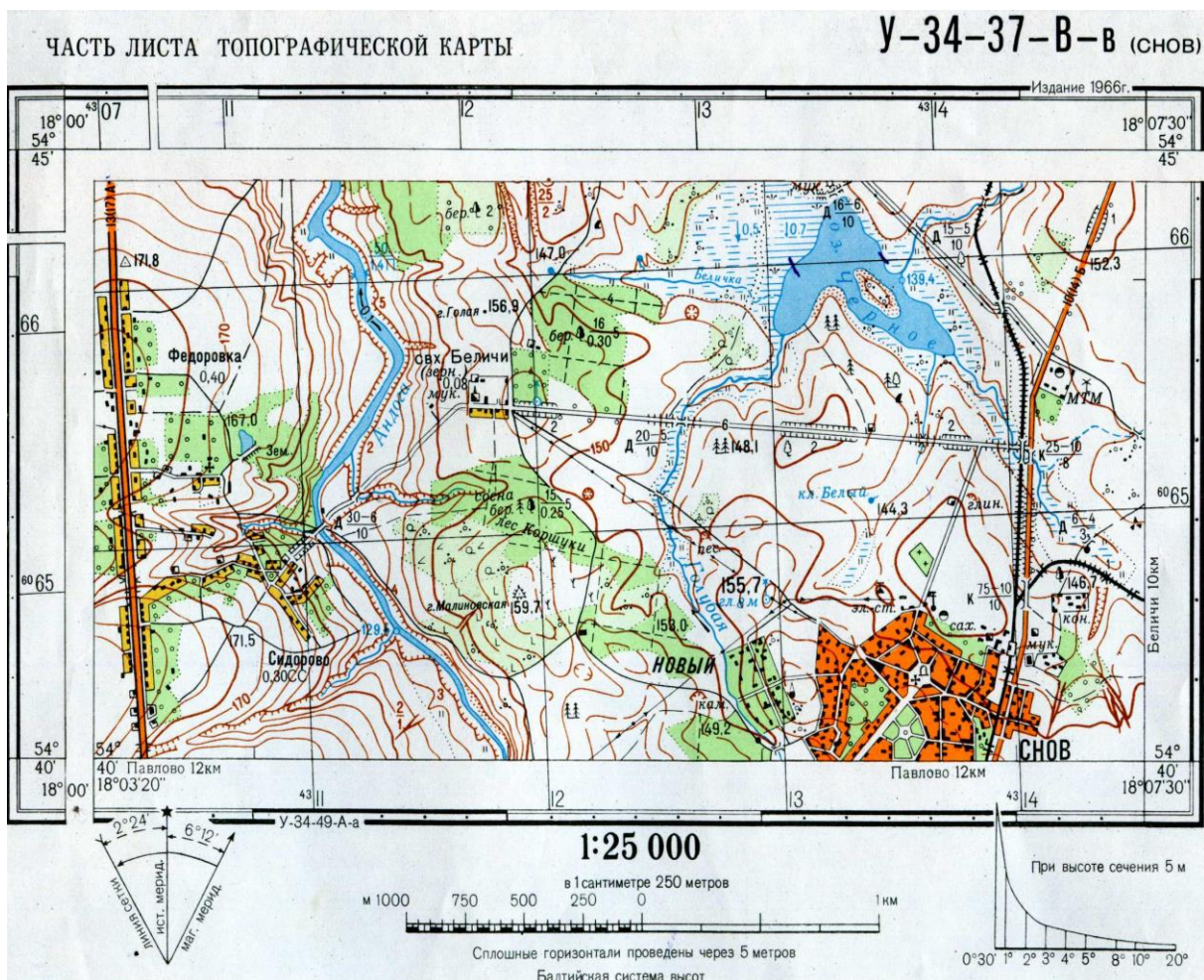


Рис. 2.4. Картографическое изображение местности

Масштабные условные знаки служат для изображения местных предметов (объектов), выражающихся в масштабе карты или имеющих четкие границы, при этом на карте сохраняется сходство контуров (очертаний, границ) изображающихся предметов (объектов) и их ориентировка. Контур таких объектов на карте вычерчивается тонкой сплошной линией или показывается пунктиром.








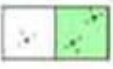


Условные знаки топографической карты		
Масштабные	Внемасштабные	пояснительные
 <p>Реки</p>	 <p>Источник</p>	<p>Отметка высоты</p> 
<p>Озёра</p> 	<p>Церковь</p> 	<p>Характеристики леса</p> 
<p>Луг</p> 	<p>Заводские трубы</p> 	<p>Названия</p> <p>Новый 50</p>
<p>Кустарники</p> 	<p>Пункт государственной геодезической сети</p> 	<p>Горизонтالي</p> 
<p>Лес</p> 	<p>Ветряные мельницы</p> 	<p>Надписи объектов</p> <p>ШК.</p>

Рис. 2.5. Условные знаки

Внемасштабные условные знаки служат для показа местных предметов, не изображающихся в масштабе карты. По этим условным знакам невозможно судить о размерах соответствующих местных предметов. Определенная точка в каждом из этих знаков соответствует положению предмета на местности и может быть расположена:

- в центре знака (пункты триангуляции, склады горючего, колодцы, заводы и фабрики без труб и др.);
- в середине основания (ветряные мельницы деревянные и каменные, памятники и др.);
- в вершине прямого угла в основании знака (километровые столбы, указатели дорог, ветряные двигатели и др.);
- в центре нижней части знака (заводы с трубами, радиомачты, постройки башенного типа и др.).

Линейные условные знаки (рис. 2.6) служат для показа объектов местности, имеющих большую протяженность и небольшую ширину, как выражающихся в масштабе карты (широкие реки), так и не выражающихся в масштабе (ручьи, тропинки, проселочные дороги, линии электропередач и т. д.). Ширина таких условных знаков на карте выражена, как правило, вне масштаба, однако положению данных объектов местности соответствует продольная ось условного знака.

Площадные условные знаки (рис. 2.7) служат для отображения однородных объектов, покрывающих большие участки земной поверхности.

Контур таких объектов на карте вычерчивается точечным пунктиром и заполняется значками или отмывкой определенного цвета, отличающими его от других местных предметов. Порядок расположения заполняющих значков и отмывок строго определен и регламентируется ГОСТ на условные знаки соответствующих масштабов.



Рис. 2.6. Линейные условные знаки:

1 – ручей в овраге; 2 – грунтовая дорога; 3 – линия электропередачи

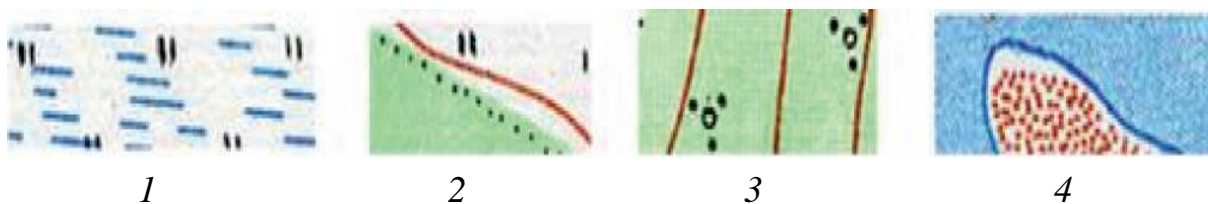


Рис. 2.7. Площадные условные знаки:

1 – болота; 2 – луга (леса); 3 – кустарник; 4 – пашни, озера

Пояснительные условные знаки (рис. 2.8) служат для дополнительной характеристики изображаемых на карте местных предметов (длина, ширина и грузоподъемность мостов, ширина и характер покрытия дорог, число дворов в населенных пунктах, глубина и характер грунта брода, направление и скорость течения рек, знаки пород леса средняя высота и толщина деревьев в лесу и т. д.). Различные надписи на картах также носят характер пояснительных знаков, каждая из них делается установленным шрифтом и буквами определенного размера [7].

Для облегчения чтения топографические карты издаются многокрасочными [7]:

- объекты гидрографии (реки, озера) закрашивают голубым цветом;
- растительность – зеленым;
- элементы рельефа изображаются коричневым цветом и т. д.;

– горизонтали и отдельные части рельефа – коричневым.

Неровности земной поверхности, называемые рельефом, показываются на топографических картах горизонталями (линиями равных высот).

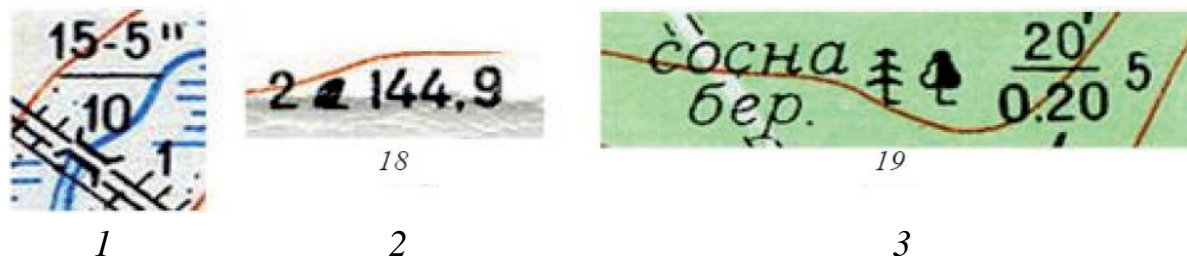


Рис. 2.8. Пояснительные условные знаки:

- 1 – характеристика моста: длина 15 м, ширина 5 м, грузоподъемность 10 т;
 2 – характеристика отдельно лежащего камня: высота камня 2 м, камень лежит на отметке 144,9 м; 3 – характеристика леса: основные породы деревьев – сосна и береза; средняя высота деревьев – 20 м; среднее расстояние между деревьями – 5 м, средний диаметр деревьев – 0,20 м

Отдельные части рельефа, крутизна которых больше 45° , горизонталями на картах не изображают, их выражают специально установленными условными знаками. Так, склоны обрывистых оврагов (рис. 2.9) изображают коричневыми зубчиками, рядом подписывается высота обрыва [7].

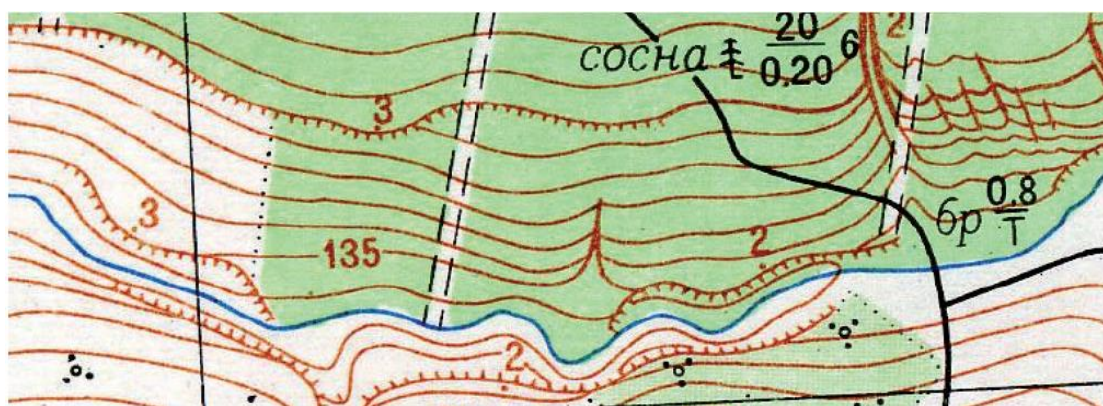


Рис. 2.9. Отдельные части рельефа

Кроме того, горизонталями не могут быть выражены некоторые другие детали рельефа (курганы, ямы, камни, карстовые воронки и пр.). Указанные элементы рельефа изображают установленными внемасштабными условными знаками.

Уменьшенное изображение местности, полученное в ортогональной проекции и вычерченное на бумаге в условных знаках, называется топографической картой или планом [7].

Степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при изображении их на плане или карте называется *масштабом*. Степень уменьшения, или масштаб карты (рис. 2.10), выражают в виде простой дроби $1:M$. Такой масштаб называется численным [7].

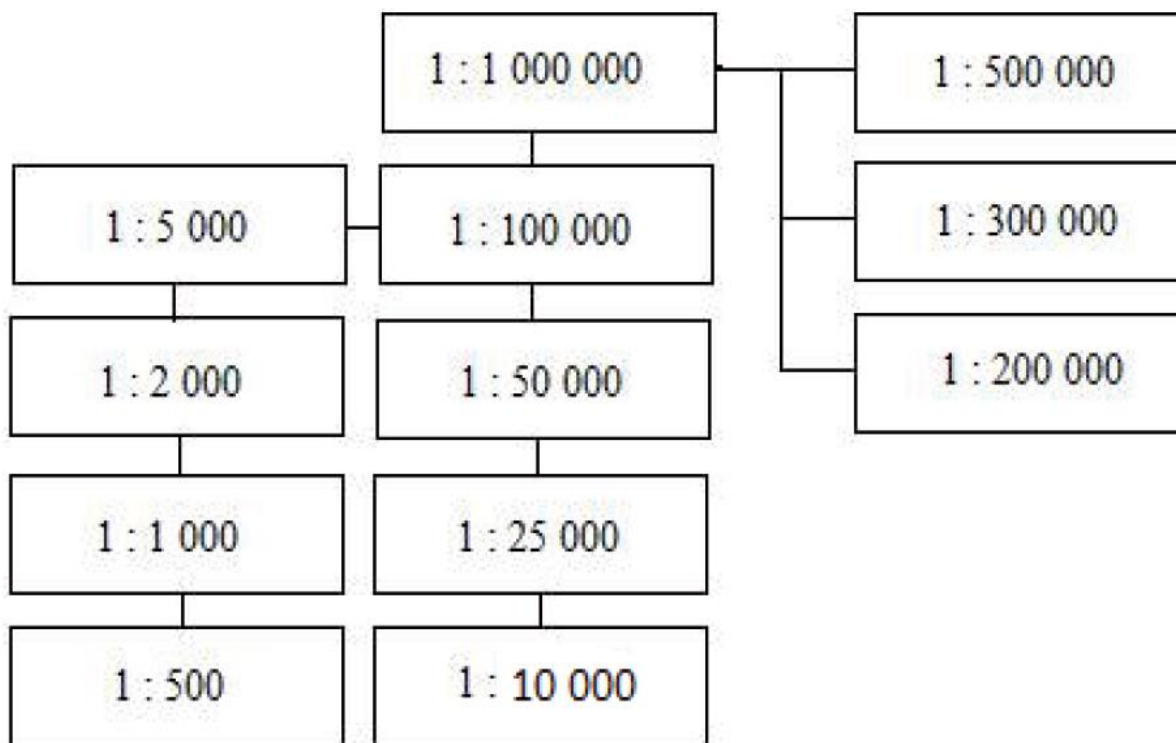


Рис. 2.10. Масштабы карт (масштабный ряд)

Необходимо отметить, что знаменатель M численного масштаба является отвлеченным числом, показывающим, во сколько раз уменьшены горизонтальные проложения линий местности при изображении их на карте.

Для топографических и обзорно-топографических карт и планов России установлен масштабный ряд, представленный на рис. 2.10 [7].

В основе данного масштабного ряда лежит лист карты масштаба 1:1 000 000.

Масштабный ряд 1:500 000 – 1:200 000 является вспомогательным и используется в основном военными.

Масштабный ряд 1:100 000 – 1:10 000 является основным масштабным рядом топографических карт.

Масштабный ряд 1:5 000 – 1:500 является основным масштабным рядом топографических планов.

Если мы имеем карты масштаба 1:5 000, 1:10 000 и 1:25 000, горизонтальные проложения линий местности уменьшены соответственно в 5 000, 10 000, 25 000 раз, следовательно, если длину линии на карте

обозначить через d , то ей будет соответствовать горизонтальное проложение линии местности длиной, определяемой по зависимости [7]

$$S = dM, \quad (2.3)$$

где d – длина линии на карте, см;
 M – масштаб карты.

Пример

На карте масштаба 1:10 000 длина линии $d = 1,73$ см, необходимо определить длину соответствующего ей горизонтального проложения линии местности S .

Решение

Согласно формуле (2.3) получим:

$$S = 1,73 \text{ см} \cdot 10\,000 = 17\,300 \text{ см} = 173,00 \text{ м}.$$

Длина горизонтального проложения линии местности $S = 257$ м, необходимо определить ее длину d на карте масштаба 1:5 000.

$$d = 257 \text{ м} : 5\,000 = 0,0514 \text{ м} = 5,14 \text{ см}.$$

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что чем больше знаменатель M численного масштаба, тем масштаб мельче, и, наоборот, чем меньше знаменатель M , тем крупнее масштаб.

Так, масштаб 1:50 000 мельче масштаба 1:25 000 вдвое, а масштаб 1:2 000 крупнее масштаба 1:10 000 в пять раз.

Основной недостаток при использовании численного масштаба в том, что при большом объеме работ вычисления становятся обременительными, поэтому чаще всего пользуются графическими построениями, называемыми линейным (рис. 2.11) и поперечным (рис. 2.12) масштабами [7].

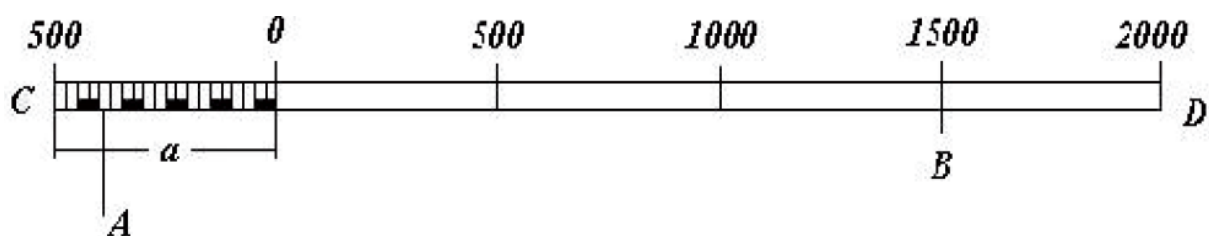


Рис. 2.11. Линейный масштаб с основанием $a = 2$ см

При использовании графических построений для построения линейного масштаба на отрезке прямой CD , начиная от одного из его концов, откладывают последовательно несколько раз отрезок

одинаковой длины a , называемый основанием масштаба (на рис. 2.11 основание $a = 2$ см).

Приведенный на рис. 2.11 линейный масштаб с основанием $a = 2$ см называется *нормальным*, затем линейный масштаб следует подписать исходя из численного масштаба карты, для которой он построен.

Допустим, что масштаб карты 1:25 000, тогда основанию масштаба $a = 2$ см на местности соответствует горизонтальная линия длиной 500 м. На конце первого основания справа ставят нуль и от него влево и вправо делают соответствующую оцифровку. Для повышения точности измерений первое основание обычно делят на мелкие части (на рис. 2.11 цена малого деления равна 25 м), основной недостаток в том, что доли этого деления приходится оценивать на глаз.

Пример

Длина указанного на рисунке горизонтального проложения линии AB на местности будет составлять:

$$S = 1500 \text{ м} + 387 \text{ м} = 1887 \text{ м}.$$

Линейный масштаб во многих случаях не позволяет измерить расстояние с необходимой точностью, более высокую точность измерений получают при помощи *поперечного масштаба* (см. рис. 2.12).

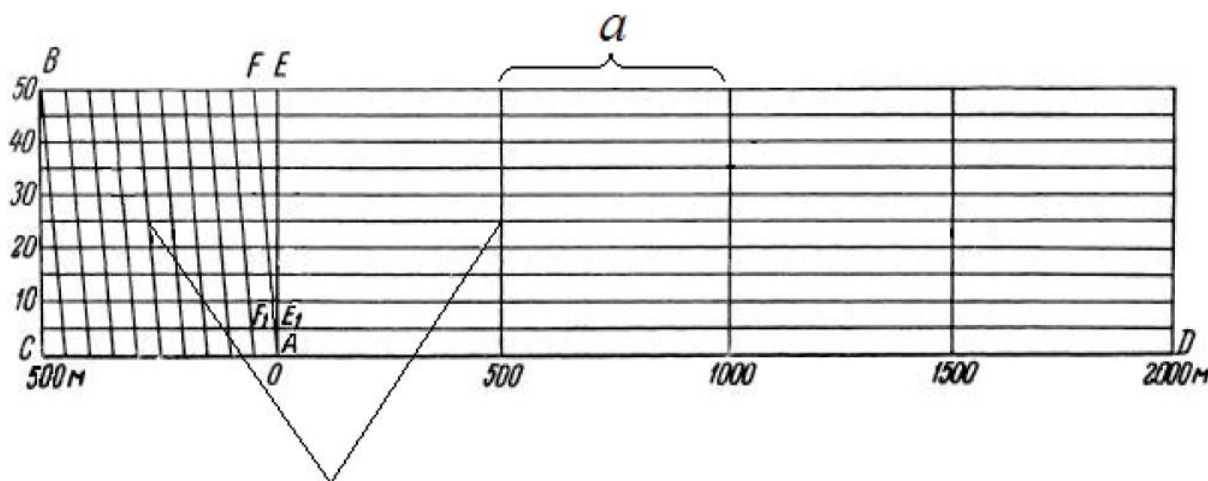


Рис. 2.12. Поперечный масштаб

Для построения поперечного масштаба на отрезке прямой CD (см. рис. 2.12) откладывают последовательно несколько раз основание масштаба $a = 2$ см. В полученных точках восстанавливают перпендикуляры к линии CD .

На двух крайних перпендикулярах откладывают $n = 10$ равных отрезков и через одноименные точки проводят прямые, параллельные линии CD . Основания AC и BE делят на $m = 10$ равных частей, нулевую точку A на основании AC соединяют с первой точкой F на основании BE , а через все остальные точки проводят линии, параллельные AF (т. е. соединяют первую точку нижнего основания со второй точкой верхнего основания и т. д.). Эти линии называются *трансверсалими* [7].

Пример

Определим величину наименьшего деления F_1E_1 поперечного масштаба. Из подобия треугольников AFE и AF_1E_1 найдем:

$$F_1E_1 = 0,1FE.$$

Подпишем поперечный масштаб (см. рис. 2.12) для карты, численный масштаб которой 1:25 000.

Основанию масштаба $a = 2$ см на местности соответствует горизонтальная линия длиной 500 м. В этом случае длина отрезка FE составит 2 мм, или в масштабе $FE = 50$ м, а наименьшее деление масштаба $F_1E_1 = 5$ м, но раствор циркуля на трансверсале с уверенностью можно установить посередине линии, следовательно, точность измерения длины линии равна половине наименьшего деления поперечного масштаба (на рис. 2.12 измеренная линия составила 775 м) [7].

Если при помощи карты и поперечного масштаба требуется определить длину горизонтального проложения линии местности, то берут эту линию с карты в раствор измерителя и ставят его на поперечный масштаб таким образом, чтобы одна ножка измерителя приходилась на перпендикуляр справа от нуля, а вторая – на трансверсаль.

Особенность в том, что обе ножки должны находиться на одной горизонтальной линии или в середине между одноименными горизонтальными линиями. Аналогично можно решать обратную задачу, т. е. брать с поперечного масштаба в раствор измерителя длину горизонтального проложения линии местности для откладывания ее на карте данного масштаба [7].

Переходный масштаб, как правило, используют при работе с аэроснимками, так как знаменатель численного масштаба выражен не круглым числом. Для определения масштаба аэроснимка на снимке измеряют несколько расстояний между четкими контурами. На топографической карте измеряют те же самые расстояния [7].

Пример

Вычислим масштаб аэроснимка на примере одной линии. Например, измеренное расстояние на снимке составило 30,0 мм. На карте масштаба 1:10 000 это же расстояние между теми же контурами составило 50,4 мм, что соответствует горизонтальному проложению линии местности в 504 м. Вычислим, чему соответствует линия в 1 см на снимке. Для этого составим пропорцию:

$$\begin{array}{l} 504 \text{ м} - 3 \text{ см} \\ X \text{ м} - 1 \text{ см} \end{array}$$

Решая пропорцию, получим:

$$X = \frac{504 \text{ м} \cdot 1 \text{ см}}{3 \text{ см}} = 168 \text{ м}.$$

Следовательно, масштаб аэроснимка равен 1:16 800. Основанию нормального сотенного масштаба в этом случае будет соответствовать линия длиной 336 м, а наименьшему делению – 3,36 м.

Основной недостаток в том, что пользоваться таким масштабом неудобно. Чтобы избежать дробных величин, рассчитывают длину такого основания, которому соответствует целое число метров [7].

Пример

Рассчитаем длину основания a , которому соответствует, например, 400 м. Имеем:

$$\frac{1 \text{ см}}{168 \text{ м}} = \frac{a}{400}, \text{ откуда } a = 1 \text{ см} \frac{400 \text{ м}}{168 \text{ м}} = 2,38 \text{ см}.$$

Если построить сотенный поперечный масштаб с основанием $a = 2,38$ см, то ему будет соответствовать на местности горизонтальное проложение линии длиной 400 м. Наименьшему делению такого масштаба соответствует 4 м. Построенный таким путем масштаб называется *переходным*. В данном случае при работе со снимком не будет ощущаться никаких неудобств [7].

Необходимо отметить недостаток данного способа, который заключается в том, что точность масштаба находится в прямой зависимости от остроты нормального зрения человеческого глаза, способного различить точку диаметром 0,1 мм на расстоянии наилучшего зрения в 25–30 см, соответствующим размером диаметра кружка, полученного от укола остро отточенной иглы.

Отсюда следует, что на карте можно изобразить лишь такие линии местности, которым в данном масштабе соответствует отрезок в 0,1 мм и больше [7].

Длина горизонтального проложения линии местности, соответствующая на карте данного масштаба 0,1 мм, называется точностью масштаба, или *графической точностью* [7].

Точность масштабов:

1:10 000	1 м
1:25 000	2,5 м
1:50 000	5 м
1:100 000	10 м

При этом, зная точность масштаба, можно решить следующие две задачи [7]:

- определить размер местных предметов и четких контуров;
- определить масштаб, в котором следует составлять карту, чтобы на ней изобразились подобными фигурами необходимые при проектировании предметы местности.

2.1.3. Прямая и обратная геодезические задачи

Одной из основных и наиболее сложных задач при трассировании дорог является ориентирование, или определение направления какой-либо линии относительно исходного направления. Исходными направлениями для ориентирования в геодезии приняты [7, 17, 18]:

- а) истинный (географический) меридиан;
- б) осевой меридиан зоны;
- в) магнитный меридиан.

При этом различают следующие углы ориентирования линий [7]:

- а) азимут (истинный и магнитный);
- б) румб;
- в) дирекционный угол.

Ориентирование линии местности относительно истинного меридиана производится посредством *азимута*.

Азимут линии местности называется горизонтальный угол между северным направлением истинного меридиана, отсчитываемый по ходу часовой стрелки, до заданного направления (значения изменяются от 0 до 360°).

Необходимо помнить, что в геодезии принято различать прямое $A_{пр}$ и обратное $A_{обр}$ направление линии (рис. 2.13).

Если BC считать прямым направлением линии (см. рис. 2.13), то CB будет обратным направлением той же линии.

Особенность в том, что $A_{обр} \neq A_{пр}$ и отличается на величину сближения меридианов δ (см. рис. 2.13).

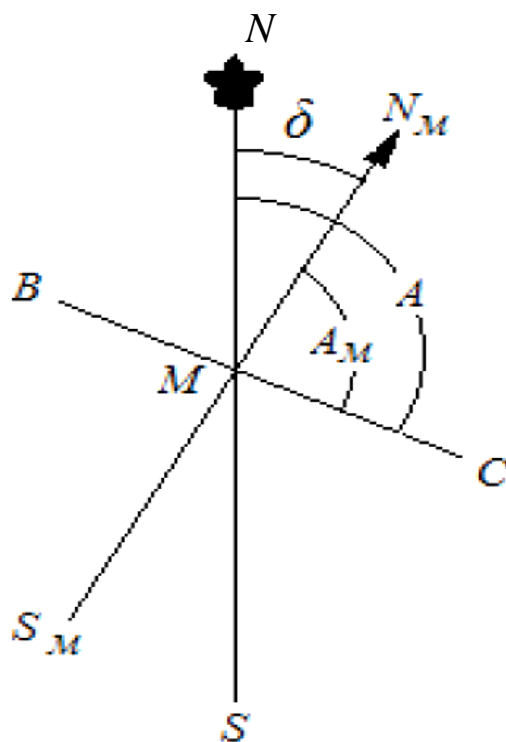


Рис. 2.13. Меридианы и азимуты линии:

NS – истинный меридиан точки M ; A – истинный азимут линии BC в точке M ;

$N_M S_M$ – магнитный меридиан; A_M – магнитный азимут линии BC в точке M ;

δ – склонение магнитной стрелки

Сближением меридианов называется угол, образованный пересечением касательных линий к истинным меридианам в точках, расположенных на одной параллели. Истинные азимуты линий определяются из астрономических измерений. Сближение меридианов определяется по зависимости [7]

$$A_{обр} = A_{пр} \pm 180^\circ \pm \delta. \quad (2.4)$$

Всем известен тот факт, что под влиянием земного магнетизма свободно подвешенная магнитная стрелка устанавливается в плоскости магнитного меридиана данной точки. Это свойство магнитной стрелки позволяет ориентировать относительно нее линии местности.

Горизонтальный угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением линии местности *называется магнитным азимутом линии*. Этот угол отсчитывается от северного направления магнитной стрелки на восток по ходу часовой стрелки (см. рис. 2.13). Северный конец магнитной стрелки может отклоняться от истинного меридиана к востоку или к западу. В зависимости от этого различают восточное и западное склонение (восточное склонение принято считать положительным, западное – отрицательным) [7].

Особенность заключается в том, что, зная склонение магнитной стрелки в данной точке, устанавливают связь между магнитным азимутом и истинным азимутом линии ($A_{ист} = A_M + \delta$).

Основой при трассировании является горизонтальный угол между северным направлением осевого меридиана зоны или линией параллельной ему (т. е. вертикальной линией координатной сетки), отсчитываемый по ходу часовой стрелки и направлением данной линии местности, *называется дирекционным углом* (в геодезии принято ориентирование линий местности производить относительно осевого меридиана зоны) [7].

Основное отличие от азимута заключается в том, что дирекционный угол линии (прямой и обратный, имеют значения от 0 до 360°) в любой ее точке сохраняет свою величину (рис. 2.14).

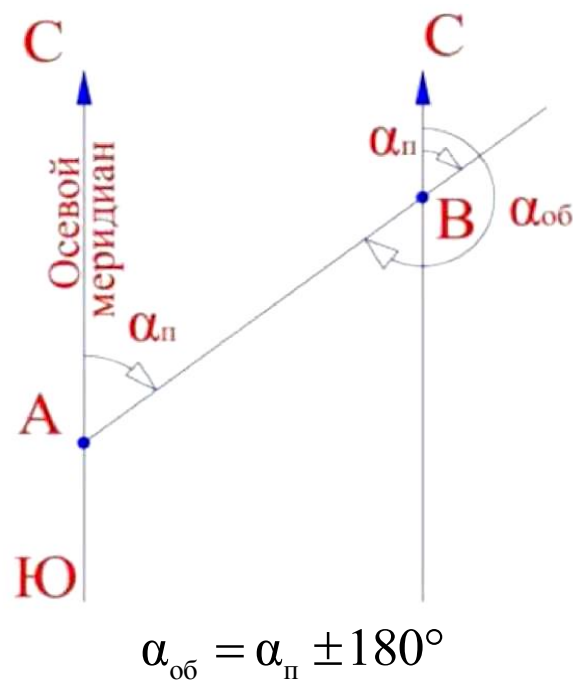


Рис. 2.14. Дирекционные углы линии AB :
 $\alpha_{об}$ – обратный дирекционный угол; $\alpha_{п}$ – прямой дирекционный угол

Принимая за основу то, что в любой точке линии дирекционный угол сохраняет свою величину, а прямой и обратный дирекционные углы различаются на 180° , предпочтительно во всех возможных случаях ориентирование линий местности производить с помощью дирекционных углов.

При проектировании автомобильных дорог за основу принимается горизонтальный угол между ближайшим направлением осевого меридиана зоны (северным или южным) и направлением линии местности, называемый *румбом* (рис. 2.15, табл. 2.1).

Румб – всегда острый угол, изменяется от 0 до 90° .

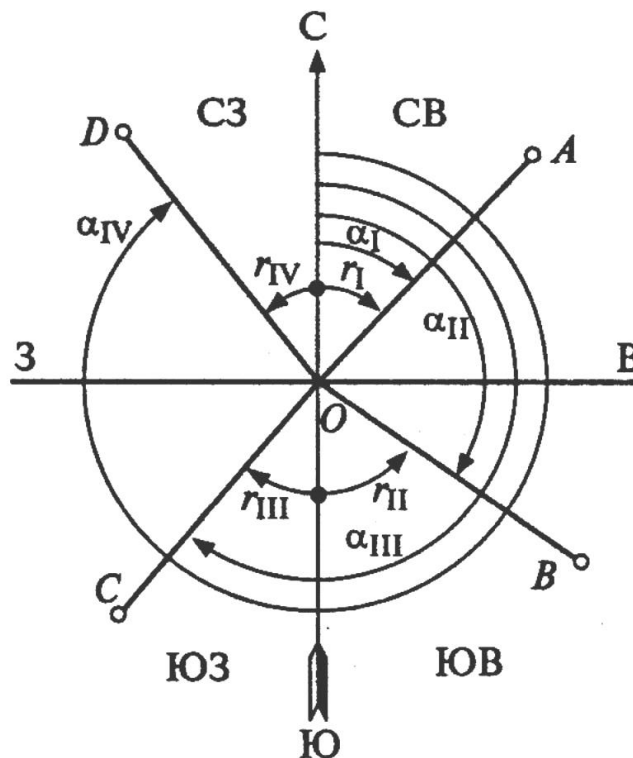


Рис. 2.15. Ориентирование линий на земной поверхности

Таблица 2.1

Связь между дирекционными углами и румбами направлений

Четверть		Дирекционный угол α , град	Румб r , град
Номер	Название		
1	СВ	$0-90$	$r = \alpha$
2	ЮВ	$90-180$	$r = 180 - \alpha$
3	ЮЗ	$180-270$	$r = \alpha - 180$
4	СЗ	$270-360$	$r = 360 - \alpha$

Отличительной особенностью румба является то, что к градусной величине румба добавляют его наименование (см. рис. 2.15, табл. 2.1):

- а) СВ (северо-восток);
- б) ЮВ (юго-восток);
- в) ЮЗ (юго-запад);
- г) СЗ (северо-запад).

Возвращаясь к решению прямой геодезической задачи, определим основное положение – при решении данной задачи используется прямоугольная система координат (рис. 2.16).

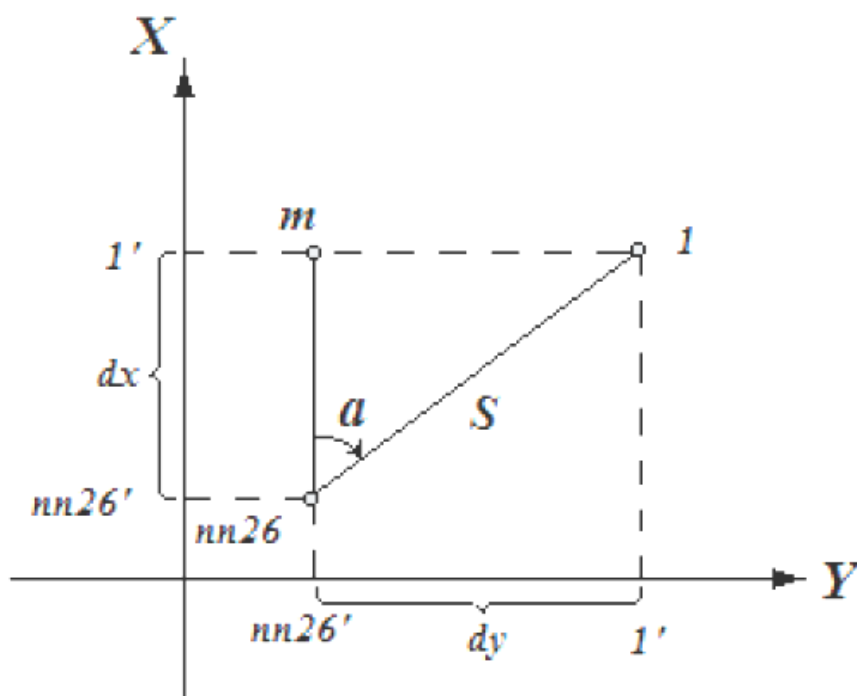


Рис. 2.16. Схема для решения прямой геодезической задачи в прямоугольной геодезической системе координат

Для решения поставленной задачи воспользуемся следующим алгоритмом.

В прямоугольной системе координат имеем направление $nn26 - I$ и точку I . Данное направление задано дирекционным углом α до точки I и измерено расстояние S . Необходимо найти приращение координат dx и dy от точки $nn26$ до точки I и определить прямоугольные координаты X_1Y_1 .

Спроектируем точки $nn26$ и I на соответствующие оси координат, тогда отрезки $I' - nn26'$ соответственно равны приращениям координат точки I относительно $nn26 - dx$ и dy .

Проведем линию, параллельную оси X из $nn26$ в точку m . Образовался прямоугольный треугольник с вершинами $nn26$, m , l , угол α задает направление линии S . По прямоугольному треугольнику определим dx и dy .

Наиболее широко используемыми в современной математике тригонометрическими функциями являются синус, косинус и тангенс.

Косинусом угла прямоугольного треугольника называется отношение прилежащего катета к гипотенузе, определяемого по зависимости [7]

$$\cos \alpha = \frac{m - nn26}{S} = \frac{dx}{S},$$

(2.5)

тогда $dx = S \cos \alpha$.

Синусом угла прямоугольного треугольника называется отношение противолежащего катета к гипотенузе, определяемого по зависимости [7]:

$$\sin \alpha = \frac{l - m}{S} = \frac{dy}{S},$$

(2.6)

тогда $dy = S \sin \alpha$.

Полученные зависимости применяются для вычисления приращений координат.

Координаты точки l получим из следующих выражений [7]:

$$X_1 = X_{nn26} + dx; \quad Y_1 = Y_{nn26} + dy.$$

Возвращаясь к решению обратной геодезической задачи, также будем использовать прямоугольную систему координат (рис. 2.17).

Для решения поставленной задачи воспользуемся следующим алгоритмом.

Если известны координаты точек 1 и 2 , то мы можем вычислить дирекционный угол направления $1-2$ и длину горизонтального проложения S между ними.

Найдем приращения координат точки 2 относительно точки 1 по следующим зависимостям [7]:

$$dx_2 = X_2 - X_1, \tag{2.7}$$

$$dy_2 = Y_2 - Y_1. \tag{2.8}$$

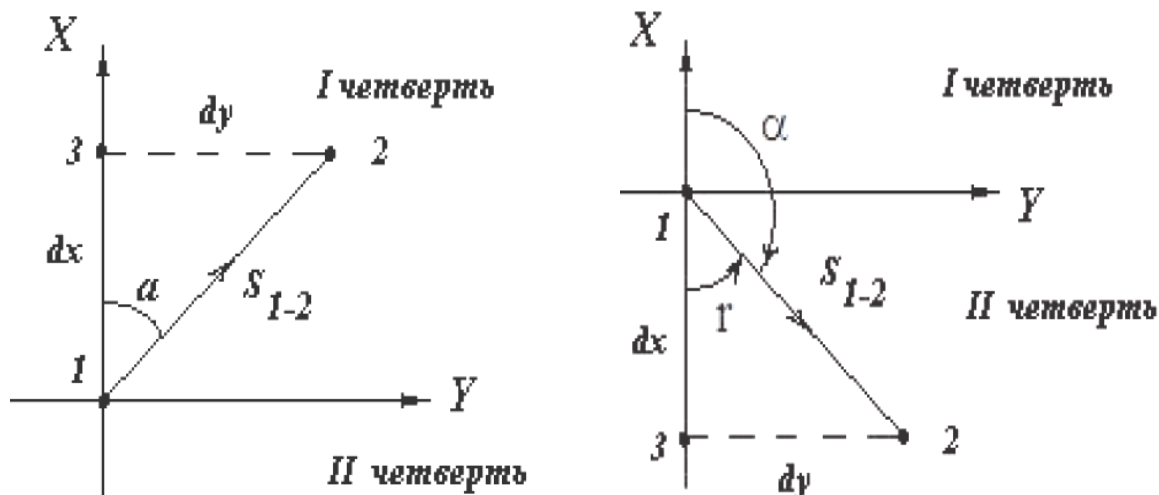


Рис. 2.17. Схема для решения обратной геодезической задачи в прямоугольной геодезической системе координат

Из прямоугольного треугольника 1 2 3 (см. рис. 2.17) следует, что отношение dy к dx есть тангенс острого угла α для I четверти системы прямоугольных координат. Однако если точка 2 будет расположена во второй четверти, то это будет уже не дирекционный угол α , а румб r (см. рис. 2.17). Следовательно, отношение dy к dx будет определяться тангенсом румба дирекционного угла по зависимости [7]

$$\operatorname{tg} r = \frac{dy}{dx}. \quad (2.9)$$

Чтобы перейти от румба к дирекционному углу (см. рис. 2.15, табл. 2.1), необходимо выполнить анализ приращений координат, на основании которого преобразовать румб к нужному дирекционному углу.

2.1.4. Изображение рельефа на топографических картах

Основные формы рельефа местности

С самого раннего детства всем известно, что Земля имеет на своей поверхности неровности. Совокупность неровностей поверхности Земли называется *рельефом местности*. Рельеф местности оказывает большое влияние на жизнедеятельность человека. При проектировании и строительстве любых объектов необходимо учитывать характер рельефа местности. Любое проектирование производится с помощью топографических карт или с использованием цифровых моделей местности [7].

Рельеф местности является важнейшим элементом содержания топографических карт, подробному и достаточно точному изображению его придается большое значение. Несмотря на кажущееся многообразие неровностей земной поверхности, рельеф любого места можно расчленить на пять основных форм (рис. 2.18).

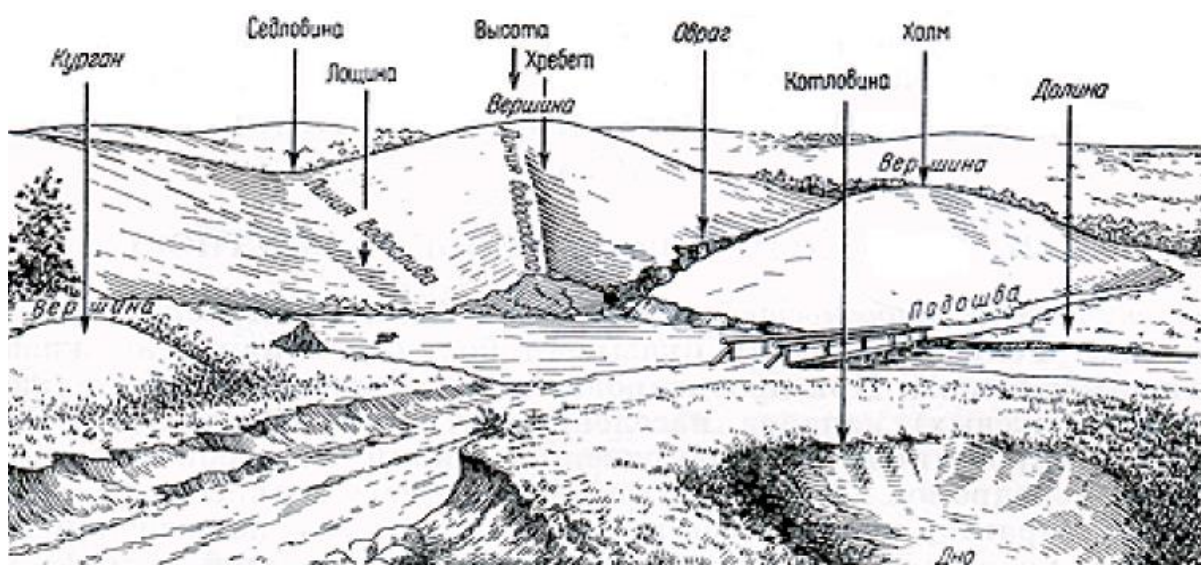


Рис. 2.18. Формы рельефа местности

Основные формы рельефа

1. **Гора, холм** – возвышенность на местности (конусообразная форма рельефа). Наивысшая точка ее называется вершиной. Боковая поверхность горы (холма) состоит из скатов. Линия слияния их с окружающей местностью называется подошвой, или основанием горы. Иногда на скате горы имеется площадка, именуемая уступом.

2. **Котловина (впадина)** – форма рельефа, противоположная горе и представляющая собой замкнутое углубление (самая низкая точка, дно). Боковая поверхность ее состоит из скатов, линия их слияния с окружающей местностью называется бровкой.

3. **Хребет** – возвышенность, вытянутая и постепенно понижающаяся в каком-либо направлении. Хребет имеет два ската, в верхней части хребта они сливаются, образуя водораздельную линию, или водораздел.

4. **Лощина** – форма рельефа, противоположная хребту и представляющая собой вытянутое в каком-либо направлении и открытое с одного конца постепенно понижающееся углубление. Два ската лощины, сливаясь между собой в самой низкой части ее, образуют водосливную линию (или тальвег), по которой стекает вода, попадающая на скаты, образуя часто ручьи или реки.

5. **Седловина** – это место, которое образуется при слиянии скатов двух соседних гор или водоразделов двух хребтов. От седловины берут начало две лощины, распространяющиеся в противоположных направлениях.

При изысканиях и проектировании автомобильных дорог необходимо помнить о том, что характерными точками рельефа являются вершины гор и дно котловин (самая низкая точка – седловины), а характерными линиями (структурными линиями) рельефа – водораздел хребта и водослив лощины.

К изображению рельефа местности на топографических картах предъявляются следующие требования [7]:

- а) быстрое определение абсолютных высот точек местности;
- б) быстрое определение направления скатов и их крутизны;
- в) карта должна давать хорошее пространственное представление об изображенном на ней рельефе местности, взаимном расположении отдельных форм рельефа и ситуации местности.

Перечисленным выше требованиям лучше всего удовлетворяет метод горизонталей в сочетании с отметками характерных точек местности (этим способом в настоящее время изображают рельеф местности на топографических картах). Понятие о горизонтали можно получить, если представить себе сечение физической поверхности Земли плоскостью, параллельной уровенной поверхности [7]. В результате этого на поверхности участка местности образуется след от сечения, представляющий собой замкнутую кривую, обладающую определенным свойством (горизонталь), все точки ее имеют *одинаковую высоту над уровнем моря* (рис. 2.19).

Необходимо отметить особенность метода горизонталей, заключающуюся в том, что для изображения горизонталями рельефа участка местности необходимо представить сечение поверхности этого участка рядом уровенных поверхностей P , T , W , расположенных на одинаковом расстоянии h (см. рис. 2.19). Расстояние между соседними секущими рельеф плоскостями (h) называется высотой сечения рельефа [7]. Уменьшенную проекцию следа сечения рельефа данными плоскостями на исходную плоскость (карта, план) представляют горизонтали bfb , ded , klk с соответствующими отметками H , $H + h$, и $H + 2h$. При этом скат горы на участке EF имеет меньшую крутизну, чем скат на участке BD (см. рис. 2.19), следовательно, с уменьшением крутизны ската расстояние между горизонталями на плоскости увеличивается и по расстояниям между горизонталями на карте можно судить о крутизне скатов.

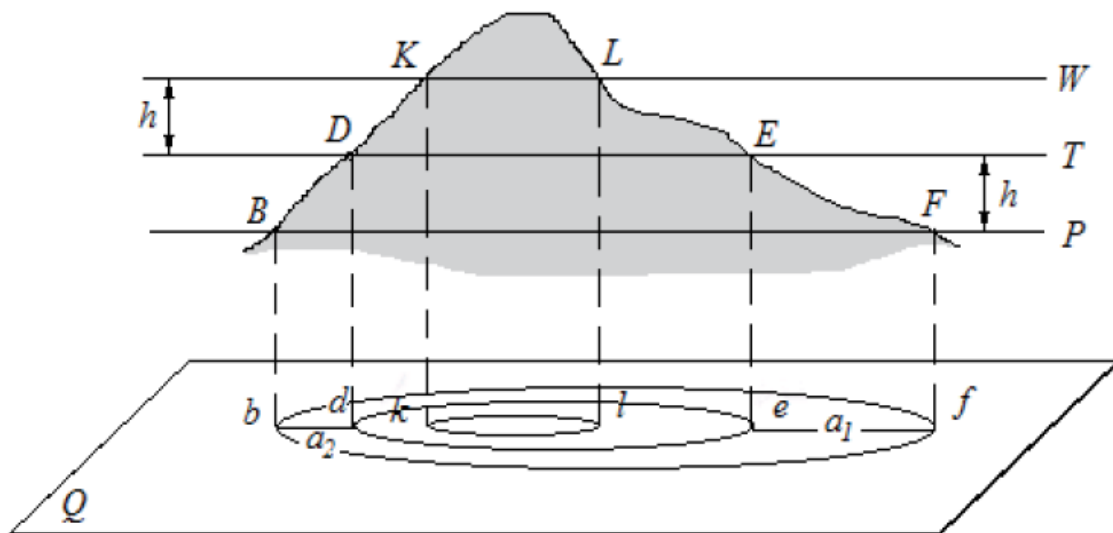


Рис. 2.19. След от сечения, представляющий собой замкнутую кривую

Основная особенность горизонталей в том, что горизонтали на местности, так же как и на карте, *не могут пересекаться*.

Одна из трудностей чтения карты в том, что изображения горы и котловины, так же как хребта и лощины, сходны между собой (рис. 2.20). Чтобы различать их, у некоторых горизонталей ставят бергштрихи (черточки), перпендикулярные горизонтали, указывающие направление ската.

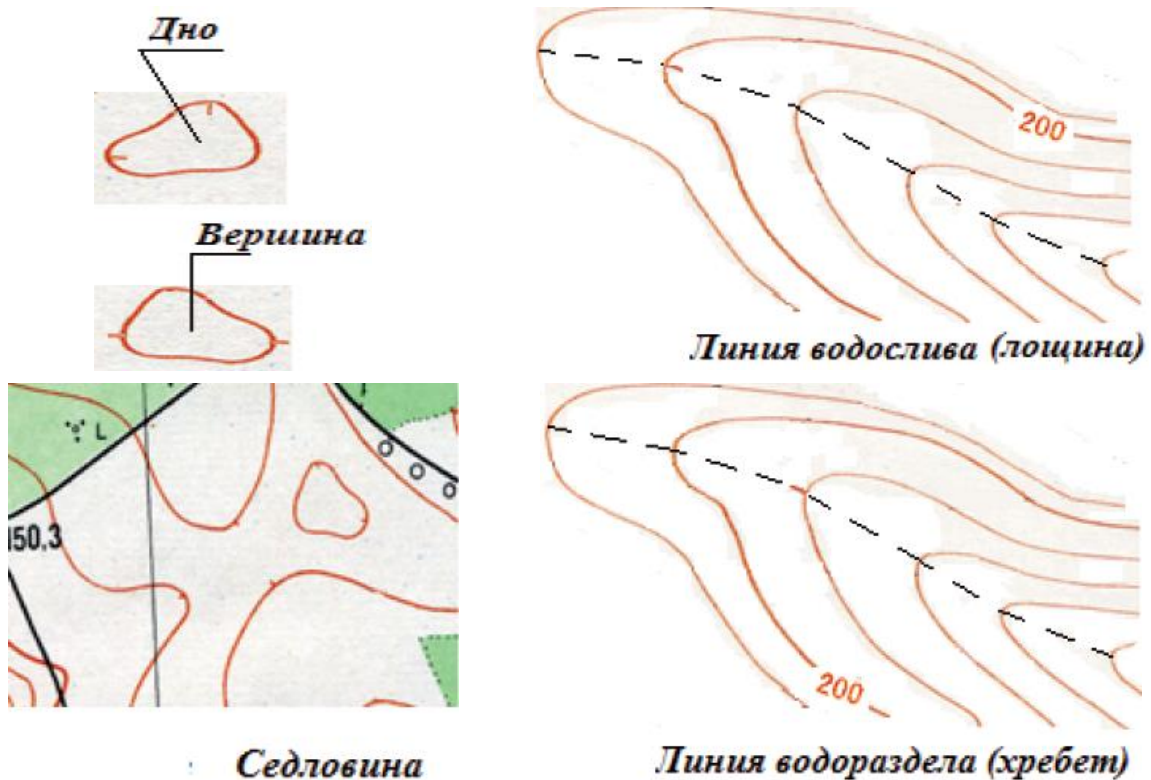


Рис. 2.20. Изображение горизонталями основных форм рельефа местности

Для облегчения работы проектировщика отметки некоторых горизонталей подписывают на карте, при этом цифры располагают так, **чтобы их верх был направлен в сторону повышения ската** (см. рис. 2.20). Таким образом, по отметке одной горизонтали и известной высоте сечения рельефа можно определить высоты других горизонталей. Для более детального изображения рельефа местности на картах наряду с горизонталями служат отметки характерных точек местности [7].

Крутизна и направление ската

Для примера рассмотрим часть ската B_1C (рис. 2.21), расположенного между соседними секущими уровнями поверхностями, и его изображение на карте. Вследствие ограниченности рассматриваемого участка уровенные поверхности можно заменить горизонтальными плоскостями P и Q [7].

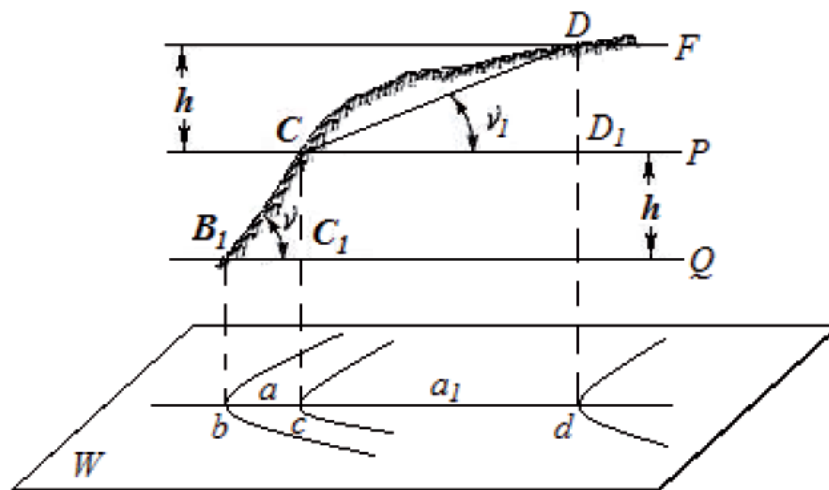


Рис. 2.21. Схема для определения крутизны линии местности

Крутизна линии местности B_1C характеризуется углом ν , который она образует с горизонтальной плоскостью Q , и определяется из прямоугольного треугольника CC_1B_1 по зависимости [7]

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{CC_1}{BC_1} = \frac{h}{a}, \quad (2.10)$$

где h – высота сечения рельефа, м;

a – горизонтальное проложение линии B_1C , называемое заложением и являющееся кратчайшим расстоянием между горизонталями, м.

Величину заложения B_1C можно определить, измерив на карте расстояние между соответствующими точками b и c . Угол наклона линии местности (в градусах) определяется по зависимости [7]

$$v^\circ = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{v}{a} \approx 57,3^\circ \frac{v}{a}, \quad (2.11)$$

Пример

Дано: расстояние между точками b и c (расстояние между горизонталями) $a = 89,0$ м, высота сечения рельефа $h = 2,5$ м (см. рис. 2.21).

Необходимо определить крутизну соответствующей линии местности CB_1 .

Крутизну соответствующей линии местности CB_1 определим из следующего выражения:

$$v^\circ = 57,3^\circ \frac{2,5 \text{ м}}{89,0 \text{ м}} = 1,6^\circ.$$

В рассмотренном примере нормальное заложение к горизонталям bc (см. рис. 2.21) является кратчайшим. Оно называется *заложением ската* [7].

Заложению ската ($bc = a$) соответствует линия местности B_1C наибольшей крутизны, называемая *линией ската*, принимается за направление ската в данной точке C . Направление ската нормально (перпендикулярно) к горизонталям. Крутизна линии местности может определяться уклоном i , под которым понимают тангенс угла наклона линии к горизонту, определяемым по зависимости [7]

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{a}. \quad (2.12)$$

Уклон линии обычно выражается в промилях (тысячные доли единицы) или процентах. По карте с горизонталями легко вычислить крутизну (угол наклона или уклон) любой линии местности.

Пример

Дано: расстояние между точками b и c (расстояние между горизонталями) $a = 89,0$ м, высота сечения рельефа $h = 2,5$ м (см. рис. 2.21).

Необходимо определить крутизну соответствующей линии местности CB_1 .

Крутизну соответствующей линии местности CB_1 определим из следующего выражения:

$$i = \frac{2,5 \text{ м}}{89,0 \text{ м}} \approx 0,028 = 2,8\% = 28 \text{ ‰}.$$

2.1.5. Состав и содержание изысканий

Строительству автомобильных дорог предшествует комплекс мероприятий, называемых изысканиями. По составу и содержанию изыскания можно разделить на три основные группы [8]:

– рекогносцировочные изыскания для технико-экономического обоснования проекта;

– детальные технические изыскания для разработки технического проекта дороги и всех сооружений на ней;

– предпроектные изыскания для составления рабочих чертежей.

Рассмотрим более подробно их содержание.

Рекогносцировочные изыскания для технико-экономического обоснования проекта состоят из следующих изысканий [8]:

– дорожно-экономические изыскания;

– выбор основного направления трассы.

В дорожно-экономические изыскания входят [8]:

а) изучение производительных сил района изысканий и выявление районов тяготения дороги;

б) определение на мелкомасштабных планах наиболее экономичного варианта прохождения трассы, примерный подсчет интенсивности движения на ней;

в) изучение условий по охране окружающей среды.

Для выбора основного направления дороги проводят [8]:

а) камеральное трассирование вариантов по топографическим картам среднего масштаба (1:50 000–1:25 000);

б) составление на сложные участки фотосхем и фотопланов по имеющимся материалам аэрофотосъемки;

в) изучение материалов геологической съемки и разведки прежних лет;

г) обзорную аэрофотосъемку больших переходов и сложных участков в масштабе 1:30 000–1:40 000;

д) полевое обследование сложных участков и рекогносцировочную инженерно-геологическую съемку;

е) сравнение вариантов, примерные подсчеты объемов и стоимости работ, а также выбор основного направления;

ж) составление технического задания на проектирование дороги.

Детальные технические изыскания для разработки технического проекта дороги и всех сооружений на ней состоят из следующих работ [8]:

- выбора оптимального варианта дороги;
- обследования трассы;
- согласования трассы.

Выбор оптимального варианта дороги включает [7]:

а) аэрофотосъемку полосы вариантов в масштабе 1:10 000 – 1:15 000, перспективную и панорамную аэрофотосъемку для ландшафтного проектирования;

б) построение на полосе трассирования плановой и высотной геодезической основы, привязку аэрофотоснимков и топографическое дешифрирование;

в) инженерно-геологическую съемку и инженерно-геологическое дешифрирование;

г) изготовление стереотопографическим методом планов или ортофотопланов полосы в масштабе 1:5 000–1:10 000 с сечением рельефа через 2–5 м, составление инженерно-геологических фотокарт и ландшафтно-архитектурных карт в масштабе аэрофотосъемки;

д) камеральное трассирование и проектирование вариантов, подсчеты объемов работ, технико-экономическое сравнение вариантов и выбор оптимальной трассы.

В настоящее время (век цифровых технологий) при автоматизированной системе проектирования вместо пунктов «г» и «д» выполняются построение на стереоприборах цифровой модели местности и на ЭВМ производят проектирование трассы и выбор вариантов.

Полевое обследование трассы и согласование включают [8]:

а) вынесение по контурам оптимальной трассы в натуру и проведение полевого обследования трассы;

б) крупномасштабную инженерно-геологическую съемку трассы, гидрометрические работы на мостовых переходах, сбор сведений для расчета искусственных сооружений;

в) согласование трассы с землепользователями и заинтересованными организациями.

Строительство линейных объектов требует проведения предпроектных изысканий для составления рабочих чертежей, состоящих из детальной разбивки трассы на местности, разведочных и камеральных работ.

Детальная разбивка трассы на местности включает [8]:

а) полевое трассирование с разбивкой пикетажа и нивелированием;

б) дополнительную съемку в масштабе 1:500–1:1 000 с сечением рельефа через 0,5 м мостовых переходов и сложных мест;

в) закрепление главных точек трассы.

В разведочные работы входят [8]:

а) инженерно-геологическая разведка трассы;

б) гидрометеорологические и почвенные обследования;

в) геодезическая привязка геологических выработок и гидростворов;

г) детальная разведка карьеров строительных материалов и съемка карьеров.

После камеральной обработки материалов составляют планы и профили.

2.1.6. Проложение и закрепление на местности оси трассы

Трассой дороги называют продольную ось проектируемого линейного сооружения. К линейным сооружениям относят подъездные, автомобильные дороги, линии электропередачи, связи, водопровода, канализации, теплосети и т. п., сооружения линейного типа с малой площадью застройки, но значительные по протяженности. Положение такого сооружения на местности определяется основным геометрическим параметром – осью трассы (осью проектируемого сооружения) [8].

Выделяют основные элементы трассы, которыми являются планы прямых и кривых участков разного направления, плавно переходящих друг в друга, и продольный профиль (вертикальный разрез по оси трассы), состоящий из прямых участков с разными уклонами.

При выборе направления проложения трассы необходимо руководствоваться соответствующими техническими условиями на ее проектирование. Так, для автомобильных дорог необходимо обеспечить плавность и безопасность движения, а для самотечных трубопроводов – уклоны и глубины заложения, обеспечивающие нормальное их функционирование. Кроме технических условий, в расчет принимают экономические, экологические и другие факторы.

Следует отметить особенность и важность выполнения такого комплекса работ по выбору оптимального варианта прокладки трассы, отвечающего предъявляемым требованиям и дающего наибольший экономический эффект, называемого *трассированием*.

Трассирование по имеющимся или вновь составленным в процессе изысканий топографическим картам и планам называют *камеральным трассированием*.

Особое значение при строительстве дорог имеют работы по переносу и закреплению запроектированной трассы на местности – *полевое трассирование*. В процессе изысканий на местности должно быть обозначено положение оси сооружаемой дороги. Обозначение положения оси дороги на местности называется *разбивкой трассы*.

В дальнейшем при строительстве по отношению к оси дороги разбивают остальные ее элементы и дорожные сооружения. Геодезические работы, связанные с проложением трассы на местности, заключаются в выполнении следующих операций [8]:

- назначение линий заданного направления и уклона;
- измерение или разбивка углов поворота;
- обозначение и закрепление трассы;
- разбивка кривых в углах поворота;
- разбивка всей трассы на стометровые отрезки, называемые пикетами, со съемкой прилегающей узкой полосы;
- нивелирование для определения высот точек, расположенных по трассе в трудных местах, и для выбора мест под строительство дорожных сооружений.

Трасса в плане (рис. 2.22) представляет собой сочетание прямых и разного рода кривых.

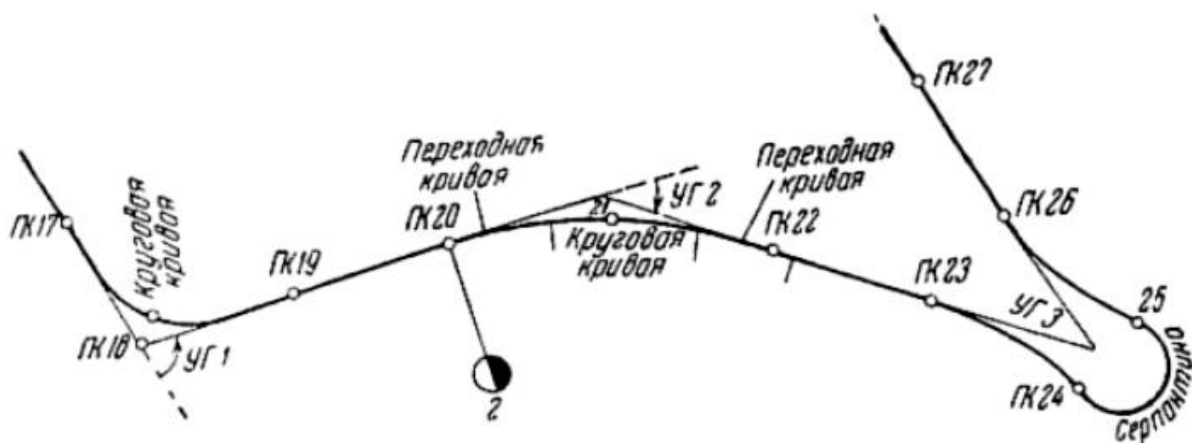


Рис. 2.22. Трасса автомобильной дороги

Особое значение для обеспечения безопасности движения и комфорта имеют сопряжение двух прямых, образующих угол поворота, производимый с помощью круговой кривой. Для плавного соединения прямых с круговой кривой при малых радиусах вставляют переходные кривые с обеих сторон круговой кривой. Переходные кривые имеют переменную кривизну в разных местах, нарастающую постепенно от точки касания до точки соединения с круговой кривой.

Острые углы между прямыми обходят снаружи с помощью особого сочетания нескольких кривых, называемого серпантиной.

Особо важную работу по проложению и закреплению трассы на местности выполняет группа специалистов и рабочих, составляющих изыскательскую экспедицию, или партию. Изыскательская партия делится на отряды, а отряды – на бригады или звенья. Во главе изысканий идет звено трассировщика.

Трассировщик устанавливает поворотные точки и назначает радиусы кривых в местах изменения направления трассы. Поворотные точки трассы, отмеченные трассировщиком, являются вершинами углов хода [8].

Чтобы при проведении последующих работ можно было отыскать разбитую на местности трассу, ее закрепляют знаками.

Порядок выполнения работ [8]

1. На пикетах, плюсовых и главных точках кривых трассу закрепляют с помощью кольев и сторожков. Для закрепления выносных точек используют бетонные свайки, деревянные столбы и кольца. В скальных грунтах выноски отмечают краской или пересечением высеченных в скале канавок.

2. Пикетаж трассы выносят и закрепляют за границей полосы отвода с целью сохранения выносных точек на период строительства дороги. Пикетные и плюсовые точки выносят с помощью теодолита перпендикулярно к оси в виде створов из двух или четырех точек. В зависимости от топографических условий местности и мест при-трассовой разработки грунта выноски устанавливают либо в одну сторону (правую или левую), либо в обе стороны от оси дороги. При этом расстояние от оси до ближайшей точки принимают постоянным в пределах 30–50 м.

3. На длинных прямолинейных участках трассы в местах установки теодолита ставят створные вехи на расстоянии 0,5–1 км друг от друга с условием обеспечения видимости смежных вех.

4. На коротких прямых вехи ставят в вершинах углов поворота или на продолжениях тангенсов.

5. На высоких точках закрепляют маячные вехи.

6. В вершинах углов поворота устанавливают столб с гвоздем для центрирования теодолита и указатель с надписью на его лицевой стороне, обращенной к вершине угла. Столб в вершине угла поворота окапывают канавой и обсыпают земляным холмиком.

7. Вершину угла поворота закрепляют четырьмя выносными столбами или свайками, расположенными либо в створе биссектрисы,

либо по продолжению линий тангенсов. Расстояние между выносными точками и вершиной угла поворота принимают не менее 20 м.

8. Главные точки кривых – начало переходной кривой (НПК) и ее конец (КПК) – закрепляют выносками из двух или четырех столбов или кольев по перпендикуляру к линии соответствующих тангенсов.

9. Промежуточные (пикетные) точки круговой кривой закрепляют выносными точками, располагаемыми на линии, перпендикулярной к касательной в данной точке кривой. Расстояния до выносных столбов или кольев принимают аналогичными расстояниям при закреплении пикетажа прямых.

10. Середину круговой кривой (СКК) закрепляют либо по линии биссектрисы с промером расстояния до первой выносной точки внутреннего угла, либо угловой засечкой с ближайших выносных точек закрепления пикетажа по кривой.

11. Оси искусственных сооружений на прямолинейных участках закрепляют выносками из сваек или столбов по линии, перпендикулярной к трассе.

12. Полосу отвода закрепляют межевыми знаками, бетонными свайками, затесами на деревьях, подлежащих рубке, пнях и т. д. Этими знаками пользуются как разбивочными при расчистке полосы отвода.

Вместе с трассировщиком или вслед за ним идет бригада угломерщиков, в обязанности которой входит проложение теодолитного хода по трассе с измерением или разбивкой углов поворота и определением расстояний между вершинами. Кроме того, угломерщик производит [8]:

– инструментальное вешение линий для облегчения разбивки пикетажа:

- определение неприступных расстояний;
- обход препятствий;
- разбивки больших углов для вписывания в них кратных кривых;
- определение элементов кривых по назначенному трассировщиком радиусу и измеренному углу поворота;
- руководство прорубкой визирок, если трасса проходит через лес или кустарник;
- плановую привязку трассы к пунктам геодезических сетей.

Затем идет звено пикетажиста, осуществляющее [8]:

- разбивку пикетажа;
- расчет кривых и их разбивку, а также другие работы.

Отдельное звено обычно назначается для закрепления трассы.

В целях обеспечения возможности работы проектировщиков по разбитому пикетажу производится нивелирование специально организованными бригадами. Пока трассировщик выбирает следующую поворотную точку, производится вешение предыдущего направления.

2.2. Работы подготовительного периода

Одним из наиболее важных периодов строительства автомобильных дорог является подготовительный период, включающий сгущение геодезических пунктов для закрепления трассы в плане, установку нивелирных реперов и определение их абсолютных отметок. Эти работы производят одновременно с детальной разбивкой земляного полотна в плане и по высоте. Работы подготовительного периода выполняют до начала возведения и разработки земляного полотна.

2.2.1. Восстановление и закрепление трассы

Непосредственно перед началом строительных работ проводят восстановление трассы. В состав работ по восстановлению трассы входят [9]:

- 1) инструментальное восстановление пикетажа с контрольным промером линий и углов и с детальной разбивкой кривых;
- 2) контрольное нивелирование по пикетажу с дополнительным сгущением сети рабочих реперов;
- 3) проверка осей искусственных сооружений;
- 4) закрепление трассы и осей искусственных сооружений с выносом знаков крепления за пределы зоны земляных работ.

При проведении комплекса дорожно-строительных работ за основу принимают трассу, окончательно выбранную и закрепленную в натуре в процессе предпроектных изысканий, при этом руководствуются документами рабочего проекта [9]:

- планом и профилем трассы;
- ведомостью прямых и кривых;
- схемой закрепления трассы.

При проведении дорожно-строительных работ определенные затруднения представляет тот факт, что между проектированием и строительством дороги проходит определенный промежуток времени, за который точки закрепления трассы частично утрачиваются. Поэтому перед началом строительных работ трассу восстанавливают, принимая за основную окончательно выбранную и закрепленную

на местности при полевом трассировании и определенную чертежами рабочей документации трассу. В случае последующего уничтожения знаков закрепления трассы их восстанавливают силами строительной организации.

При восстановлении трассы, планового и высотного обоснования точность выполняемых геодезических работ должна быть не ниже допусков, установленных «Инструкцией по инженерным изысканиям для линейного строительства», основные положения которой приведены в табл. 2.2 [8].

Таблица 2.2

Допустимые невязки геодезических измерений

Виды невязок геодезических измерений	Допустимая невязка измерений
Расхождение в измерении горизонтального угла	$2'$
Угловая невязка при n измеренных углах	$3' \sqrt{n}$
Относительная ошибка линейных измерений:	
в равнинной местности	1:1 000
в горной местности	1:500
Невязка в отметках высотного хода по трассе длиной L , км	$50 \sqrt{L}$, мм

Восстановление трассы начинают с отыскания на местности вершин углов поворота. Отдельные вершины, на которых не сохранились знаки крепления, находят промерами от постоянных местных предметов согласно абрисам их привязки или прямой засечкой по проектным углам из двух соседних вершин трассы. Если не сохранились знаки крепления на нескольких подряд расположенных углах поворота и не представляется возможным восстановить их от местных предметов, то приходится этот участок трассировать вновь, придерживаясь взятых с проекта углов поворота и расстояний [9].

Одновременно с восстановлением вершин измеряют углы поворота трассы и сравнивают полученные значения с проектными.

При обнаружении значительных расхождений направление трассы на местности не изменяют, а исправляют значение проектного угла поворота и пересчитывают по исправленному углу все элементы кривых. Затем приступают к контрольному измерению линий с разбивкой пикетажа. Пикеты и точки пересечения трассой водотоков и магистралей устанавливаются в створе при помощи теодолита. При этом стараются не допускать сплошной передвижки старого пикетажа.

При обнаружении промахов в линейных измерениях или при значительном накоплении ошибок делают неправильные (рубленные) пикеты, т. е. пикеты, не равные 100 м. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем восстанавливаемый пикетаж по возможности был ближе к пикетажу, разбитому при трассировании, по которому составлялся проектный продольный профиль. В противном случае рабочие отметки, данные в проекте, не будут соответствовать натуре [9].

Порядок выполнения работ по восстановлению знаков закрепления на трассе следующий [9].

1. На закруглениях трассы детально разбивают переходные и круговые кривые, причем для кривых с радиусом 500 м и более разбивка делается через 20 м, а при радиусе, меньшем 500 м, – через 10 м.

2. После восстановления пикетажа и детальной разбивки кривых трассу закрепляют. Знаки крепления устанавливают вне зоны земляных работ так, чтобы они сохранились на все время строительства.

3. Углы поворота обычно прочно закрепляют при трассировании. Если это закрепление повреждено, его возобновляют. В случае, когда вершина угла попадает в зону земляных работ, ее закрепляют двумя знаками на продолжении сторон.

4. Дополнительные углы, оси мостов, труб и пересечений, а также четные пикеты закрепляются створной плоскостью, перпендикулярной к оси трассы.

5. Знаки крепления окапывают и маркируют. При маркировке указывают наименование знака, в какую сторону от оси (по ходу пикетажа) знак вынесен и расстояние от осевой точки до знака закрепления. Все это записывают в журнал закрепления трассы.

6. Одновременно с закреплением трассы для удобства обслуживания строительных работ сгущают сеть рабочих реперов с таким расчетом, чтобы на 4–5 пикетов трассы был один репер. В качестве реперов стремятся использовать различные местные предметы, устойчивые по высоте, и знаки крепления, установленные ниже глубины промерзания.

7. В контрольное нивелирование трассы включают все пикетные и плюсовые точки и всю сеть постоянных и временных реперов. Для уточнения подсчета объемов земляных работ в местах, где поперечный уклон превышает 6° , разбивают и нивелируют дополнительные поперечные профили.

При восстановлении трассы может быть проведено некоторое ее корректирование и улучшение расположения на местности для уменьшения объема земляных работ и увеличения устойчивости

отдельных сооружений. Так, могут быть спрямлены некоторые участки, найден более удачный переход или обход мест, не устойчивых в геологическом отношении, более удачно размещены искусственные сооружения, несколько изменены радиусы кривых и уклоны продольного профиля. Все изменения, внесенные при восстановлении трассы, передаются в проектную организацию для утверждения [9].

Точность геодезических работ при восстановлении трассы должна быть не ниже точности этих работ на стадии детальных изысканий.

Необходимо учитывать тот факт, что при восстановлении трассы производится отвод и закрепление на местности полосы отчуждения.

2.2.2. Подготовка трассы для нивелирования

При решении многих задач, в том числе в дорожно-строительной отрасли, необходимо знать абсолютные и относительные отметки точек. Для вычисления абсолютных отметок измеряют превышения по отношению к точке с известной абсолютной высотой. Превышения определяются нивелированием.

В зависимости от применяемых приборов различают следующие виды нивелирования [19].

1. Геометрическое нивелирование. Выполняется нивелиром, работающим горизонтальным лучом визирования. Средняя квадратическая погрешность от $\pm 0,5$ до 50 мм на 1 км расстояния.

2. Тригонометрическое нивелирование. Выполняется теодолитом или тахеометром, наклонным лучом визирования. Превышение вычисляют по формулам тригонометрии после измерения расстояния между точками и угла наклона линии. Если применяется теодолит, то погрешность достигает ± 40 мм на 100 м расстояния.

3. Гидростатическое нивелирование. Основано на свойстве жидкости находиться на одинаковом уровне в сообщающихся сосудах. Метод имеет высокую точность, средняя квадратическая погрешность от $\pm 0,2$ до 2 мм при расстояниях между точками до 50 м. Применяется для определения небольших превышений при наблюдениях за осадками зданий и промышленных сооружений, при архитектурных измерениях, при монтаже технологического оборудования.

4. Барометрическое нивелирование. Выполняется барометром-анероидом (МД-49-2) или микробаронивелирами (МБНП). Превышение определяется по разности давлений, измеренной одновременно на базовой и съемочной точках. Основным недостатком барометрического нивелирования является невысокая точность метода (от 0,5 до 2,0 м на 1 км расстояния).

5. Лазерное нивелирование. Выполняется лазером ПИЛ-1. Позволяет видеть плоскость, линию, определять превышения с погрешностью ± 10 мм на расстоянии до 250 м.

6. Механическое нивелирование. Производится при помощи профилографов, устанавливаемых на велосипедах или автомашинах. Профиль вычерчивается в движении автоматически с погрешностью $\pm 0,1-0,3$ м на 1 км расстояния.

Из всех методов нивелирования наиболее часто применяют геометрическое нивелирование, при тахеометрической съемке рельефа – тригонометрическое нивелирование.

2.2.3. Геометрическое нивелирование трассы

Основным способом определения абсолютных и относительных отметок точек остается геометрическое нивелирование, называемое иногда нивелированием горизонтальным лучом. Геометрическое нивелирование выполняется с помощью нивелира и рейки. Рейки бывают складные или раздвижные длиной 3–5 м (деревянные, металлические, пластиковые). Чаще всего рейки имеют сантиметровые деления и подписываются дециметры (подписи дециметровых делений рейки могут иметь прямое или обратное изображение в зависимости от применяемых нивелиров).

Основными условиями выполнения геометрического нивелирования являются [19]:

- горизонтальное положение визирной оси зрительной трубы нивелира;
- вертикальное положение реек, устраиваемых на точках, нивелирование которых необходимо выполнить.

В настоящее время для технического нивелирования в инженерной геодезии наибольшее применение имеют глухие нивелиры (в том числе глухой нивелир 3Н-5Л, рис. 2.23), у которых зрительная труба и цилиндрический уровень наглухо скреплены между собой [19].

Устройство и порядок выполнения работ на малогабаритном нивелире 3Н-5Л [19]

Малогабаритный нивелир 3Н-5Л (см. рис. 2.23) относится к нивелирам технической точности. Нивелир имеет зрительную трубу прямого изображения с внутренней фокусировкой. Для снижения влияния одностороннего нагрева на величину угла i зрительная труба и цилиндрический уровень помещены внутри корпуса $I2$ (см. рис. 2.23, а)

верхней части прибора. Объектив *11* зрительной трубы выведен наружу, на его оправу можно надеть линзовую насадку для визирования на рейку, расположенную ближе 1,2 м.

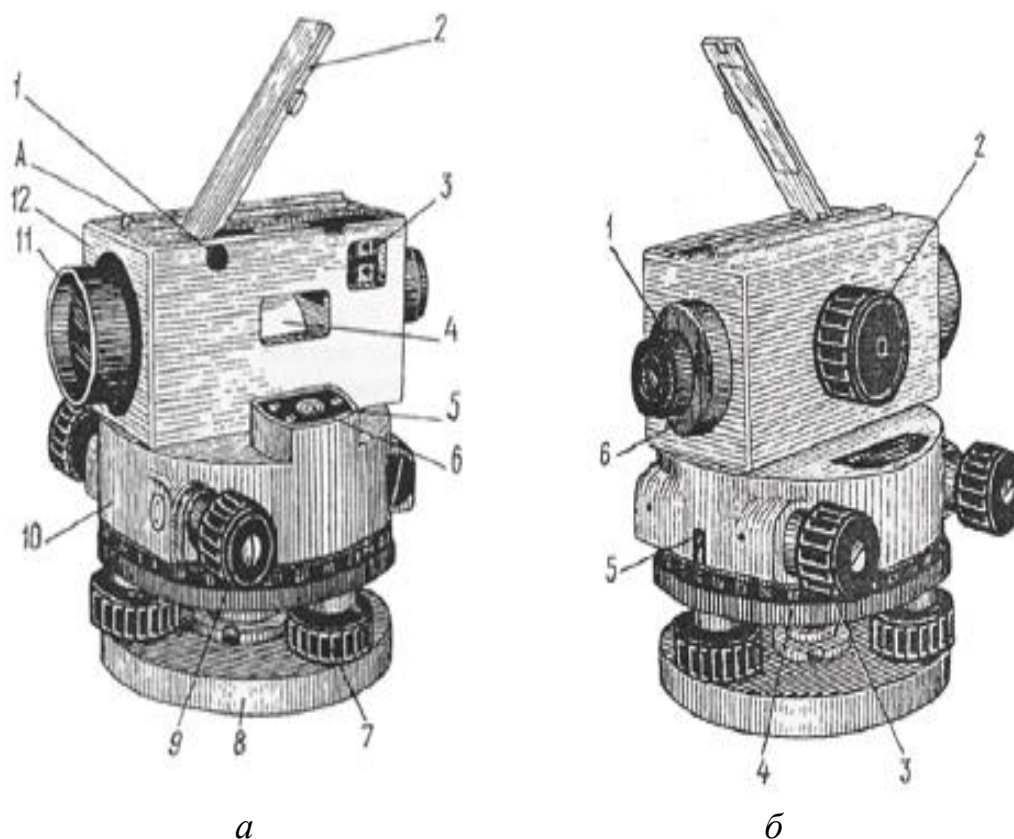


Рис. 2.23. Внешний вид нивелира 3Н-5Л:

- а* – вид справа: 1 – заглушка; 2 – зеркало; 3 – юстировочная гайка; 4 – белый экран; 5 – юстировочные винты круглого уровня; 6 – круглый уровень; 7 – подъемный винт; 8 – пластина подставки; 9 – наводящий винт; 10 – корпус подставки; 11 – объектив; 12 – корпус; А – продольный прилив (механический визир);
- б* – вид слева: 1 – диоптрийное кольцо; 2 – кремальера; 3 – элевационный винт; 4 – металлический лимб; 5 – индекс; 6 – гайка

Вращением диоптрийного кольца *1* (см. рис. 2.23, *б*) окуляр устанавливают по глазу до появления четкого изображения сетки нитей. Кремальерой *2* зрительную трубу фокусируют при наведении на рейку. На верхней плоскости корпуса *12* (см. рис. 2.23, *а*) имеется продольный прилив *А*, выполняющий роль механического визира для предварительного наведения нивелира на рейку.

Цилиндрический уровень подсвечивается белым экраном *4*. Зеркало *2* служит для удобства наблюдения за положением пузырька уровня. Угол *i* (непараллельность оси цилиндрического уровня

визирной оси зрительной трубы) приводят к нулю юстировкой уровня с помощью двух гаек 3, доступ к которым открыт через окно.

Верхняя часть нивелира связана с корпусом подставки 10 безлюфтовым пружинным шарниром и может наклоняться относительно подставки с помощью элевационного винта 3 (см. рис. 2.23, б). Осевая система нивелира расположена внутри корпуса 10 (см. рис. 2.23, а), снабжена червячной передачей и фрикционным устройством, позволяющим свободно вращать нивелир вокруг оси и в то же время выполнять точное наведение на рейку без ограничения угла поворота. Рукоятки наводящего винта 9 расположены по обе стороны прибора, что делает одинаково удобной работу как правой, так и левой рукой.

На верхней плоскости корпуса находится круглый уровень 6 для установки оси нивелира в отвесное положение. Юстировку круглого уровня выполняют винтами 5. Между корпусом подставки и пластиной 8 в нивелире ЗН-5Л расположен металлический лимб 4 (см. рис. 2.23, б), который можно вращать, взявшись за накатанный поясок, и установить в требуемое положение. Отсчет по лимбу берут с помощью индекса 5. При вращении нивелира лимб остается неподвижным.

Предварительная установка нивелира ЗН-5Л в рабочее положение осуществляется по круглому уровню выведением его пузырька на середину ампулы с помощью подъемных винтов.

Окончательная установка нивелира или готовность к взятию отсчетов по рейкам достигается выведением пузырька цилиндрического уровня на середину (в нуль-пункт) с помощью элевационного винта.

Необходимо помнить, что при производстве геометрического нивелирования используются двухсторонние рейки, на одной стороне которых нанесены сантиметровые деления черного и белого цвета, а на другой – красного и белого. Начало счета по черной стороне рейки – от нуля, а по красной – от 4600, 4700 или 4783. Поэтому отсчеты по красной и черной сторонам рейки, взятые на одном и том же пикете, будут разными, но разность отсчетов по черной и красной сторонам рейки должна равняться постоянному числу, равному началу оцифровки красной стороны рейки. Это условие является контролем взятия правильных отсчетов по рейкам на каждой из нивелируемых точек.

Для выполнения работ совместно с нивелиром в комплект входят две рейки. Целесообразно, чтобы обе рейки имели одинаковую оцифровку, т. е. имели одно и то же контрольное число.

При выполнении работ по определению высот отсчет по шкале шашечных реек проводится в миллиметрах (рис. 2.24).

Единицы миллиметров оцениваются глазомерно. Рейки могут быть двухсторонними или односторонними. При использовании односторонних реек контроль измерений можно выполнять повторным нивелированием с другим горизонтом прибора. Изображение цифр может быть как прямым, так и обратным. Однако рейку следует устанавливать так, чтобы направление шкалы было всегда снизу вверх.

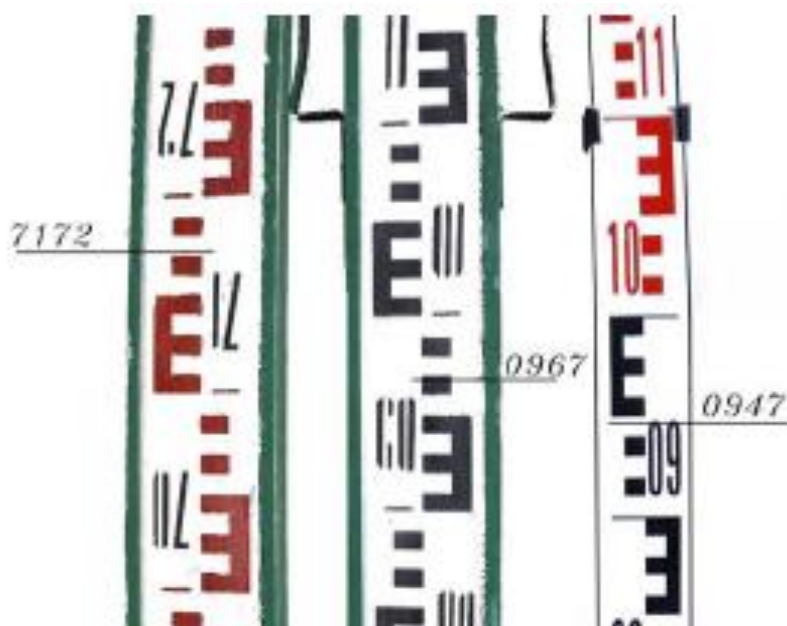


Рис. 2.24. Изображение цифр на нивелирных рейках

Для эффективной работы с прибором до начала нивелирования выполняют необходимые проверки [19].

1. Проверка по круглому уровню

Требуемое условие – ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

Проверка условия – контур пузырька установочного уровня располагается концентрично сетке уровня с помощью подъемных винтов, и верхняя часть прибора со зрительной трубой поворачивается на 180° . Если пузырек при этом выходит за пределы малого ограничительного кольца, то условие считается невыполненным.

Порядок исправления – на половину дуги смещения пузырек возвращается исправительными винтами уровня, а на другую половину возвращается подъемными винтами. После этого верхняя часть прибора вновь поворачивается на 180° . Если наблюдается отклонение пузырька, то проводят вторичное исправление.

II. Проверка по сетке нитей

Требуемое условие – средняя горизонтальная нить должна быть перпендикулярна оси вращения прибора.

Проверка условия – прибор приводится в рабочее положение и производятся отсчеты по рейке для левого и правого концов средней горизонтальной нити. Отсчеты должны совпадать.

Порядок исправления – окулярную трубку с сеткой нитей вращают вокруг геометрической оси до выполнения требуемого условия. Для обеспечения возможности вращения следует освободить, а затем закрепить винты, которыми окулярная трубка крепится к основному корпусу трубы.

III. Проверка по главному условию

Требуемое условие – для нивелира с уровнем при трубе визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (определение угла i).

Проверка условия – на местности на расстоянии 50–70 м друг от друга выбираются и закрепляются два пункта. В качестве таких пунктов можно принять две неподвижные нивелирные рейки. Устанавливают нивелир в створе двух реек точно посередине между ними.

Затем следует нивелир привести в рабочее положение, навести на одну рейку, элевационным винтом вывести пузырек цилиндрического уровня на середину и взять отсчет a_1 по рейке. Навести нивелир на вторую рейку, вывести пузырек уровня на середину и взять отсчет b_1 .

Далее следует перенести нивелир и расположить его за передней рейкой на расстоянии 2–4 м от нее и несколько в стороне от створа, чтобы можно было наблюдать как первую, так и вторую рейку.

Взять отсчеты a_2 по дальней и b_2 по ближней рейкам, не забывая при этом каждый раз выводить пузырек уровня на середину элевационным винтом.

Значение a'_2 , м, для дальней рейки определяется по зависимости

$$a'_2 = (a_1 - b_1) + b_2. \quad (2.13)$$

Вычисленное по зависимости (2.13) значение a'_2 не должно отличаться от фактического отсчета a_2 более чем на 4 мм.

Отсчеты a и b следует проводить по двум сторонам рейки или при двух горизонтах прибора. Если действительное значение угла i больше нормируемого, выполняют юстировку.

Порядок проведения работ [19]

После установки нивелира на правильно выбранной станции зрительную трубу наводят на рейку, установленную на задней связующей точке, и берут отсчеты по черной $Z_ч$ и красной $Z_{кр}$ сторонам рейки.

Отсчеты записывают в журнал нивелирования (прил. 1) и сразу вычисляют контрольное число рейки $P_з$ как разницу между отсчетами по красной и черной рейками ($P_з = Z_{кр} - Z_ч$). Если контрольное число рейки, полученное по отсчетам, отличается от действительного контрольного числа больше чем на ± 4 мм, то нивелирование задней связующей точки повторяют. Если же разница не превышает ± 4 мм, то зрительную трубу нивелира наводят на переднюю связующую точку, берут отсчеты по черной $П_ч$ и красной $П_{кр}$ сторонам рейки, записывают их в журнал, вычисляют контрольное число рейки ($P_n = П_{кр} - П_ч$), сопоставляют его с действительным контрольным числом передней рейки. Если разница превышает ± 4 мм, то нивелирование передней связующей точки повторяют. Если эта разница меньше ± 4 мм, то считается, что нивелирование связующих точек на данной станции выполнено достаточно точно. Приступают к вычислению превышений между этими связующими точками как разности отсчетов по черной и красной сторонам задней и передней реек по зависимостям [19]

$$h_ч = Z_ч - П_ч, \quad (2.14)$$

$$h_{кр} = Z_{кр} + П_{кр}, \quad (2.15)$$

$$h_{ср} = \frac{h_ч + h_{кр}}{2}. \quad (2.16)$$

Если превышение между парой связующих точек, полученное по черной и по красной сторонам реек, отличается более чем на ± 4 мм, то нивелирование на данной станции повторяют заново.

Если эта разница $h_ч - h_{кр} \leq \pm 4$ мм, то приступают к нивелированию поперечников, промежуточных точек на данной станции, а если их нет, то переходят на новую, следующую по трассе станцию и продолжают нивелирование по аналогии с описанным выше для предыдущей станции.

На следующей станции нивелирование начинают с последней связующей точки предыдущей станции. Поэтому при выборе места установки нивелира на любой следующей станции обязательным условием является видимость на предыдущую связующую точку.

Нивелирование промежуточных точек рекомендуется выполнять только по одной черной стороне рейки.

Когда трасса проходит по местности с большими перепадами высот и определить превышение между соседними пикетами с одной станции не представляется возможным, то между пикетами временно закрепляют X -точки (X_m).

Нивелирование по X -точкам проводится так же, как по связующим точкам (отсчеты берутся по обеим сторонам реек и на каждой станции определяют два значения превышений – по черной и красной сторонам реек).

При наличии реперов с известными геодезическими высотами в начале и конце трассы ее нивелирование проводится только в одном прямом направлении с обязательной привязкой к этим реперам.

Если имеется только один репер, то нивелирование трассы выполняется в прямом и обратном направлениях с обязательной двойной привязкой к этому реперу (от репера по трассе до конечного пикета и обратно по трассе до этого же репера). В обратном нивелирном ходе нивелируются только связующие точки трассы – пикеты и X -точки.

При работе с нивелиром (в процессе нивелирования) все полученные отсчеты и контрольные вычисления записываются в журнал технического нивелирования установленной формы (см. прил. 1). Журнал заполняется так, чтобы каждая его левая страница начиналась отсчетом на переднюю связывающую точку $П$ любой станции. Такая запись облегчает выполнение постраничного контроля.

Рекомендуется такая последовательность обработки результатов геометрического нивелирования трассы по пикетам [19].

1. Проверка записей и зарисовок, сделанных в полевом журнале.
2. Проверка вычислений превышений между связующими точками, полученных дважды в результате нивелирования по черной и красной сторонам реек.
3. Выполнение постраничного контроля по связующим точкам.

На каждой странице и по всему журналу нивелирования подсчитываются:

- суммы всех задних отсчетов $\sum Z$ по обеим сторонам реек, мм;
- суммы всех передних отсчетов $\sum П$ по обеим сторонам реек, мм;
- алгебраические суммы всех превышений $\sum(h_{ч} + h_{кр})$, полученных и по черным и по красным сторонам реек, мм;
- алгебраические суммы всех средних превышений $\sum h_{ср}$, мм.

Постраничный контроль должен отвечать условию, определяемому по зависимости [19]

$$\sum 3 - \sum \Pi = \sum (h_{\text{ч}} + h_{\text{кр}}) = 2 \sum h_{\text{ср}}. \quad (2.17)$$

4. Вычисление и распределение невязки нивелирного хода. Фактическую невязку нивелирного хода fh_{ϕ} , выполненного в прямом и обратном направлениях, определяют по зависимости [19]

$$\sum h_{\phi} = \sum h_{\text{пр}} - \sum h_{\text{обр}}, \quad (2.18)$$

где $\sum h_{\text{пр}}$ – сумма средних превышений между связующими точками в прямом ходе, мм;

$\sum h_{\text{обр}}$ – сумма средних превышений между связующими точками в обратном ходе, мм.

Невязку, вычисленную по зависимости (2.18), сопоставляют с допустимой невязкой, которая определяется по зависимости [19]

$$fh_{\phi} \leq 50 \sqrt{L}, \quad (2.19)$$

где L – длина хода в одном направлении, км.

Если $fh_{\phi} > fh_{\phi}$, то проверяют вычисления, а при необходимости повторяют нивелирование.

Если $fh_{\phi} < fh_{\phi}$, то половину фактической невязки распределяют с противоположным знаком поровну во все средние превышения прямого хода и вычисляют исправленные превышения по зависимости [19]

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{ср}} \pm \Delta h. \quad (2.20)$$

5. Вычисление геодезических высот связующих точек выполняют с использованием исправленных превышений и известной высоты начального репера или пикета H_n по зависимости [19]

$$H_{\text{ПК0}} = H_n + h_{0\text{испр}},$$

и т. д. (2.21)

$$H_{\text{ПК1}} = H_{\text{ПК0}} + h_{1\text{испр}}.$$

Проверку правильности вычислений высот всех связующих точек проводят по зависимости [19]

$$\sum h_{\text{испр}} = H_k - H_n, \quad (2.22)$$

где $\sum h_{\text{испр}}$ – алгебраическая сумма исправленных превышений, мм;

H_n, H_k – высота начальной и конечной точек нивелирного хода по трассе, мм.

6. После вычислений высот связующих точек приступают к вычислению высот всех промежуточных точек. Для этого определяют горизонт инструмента ГИ, т. е. высоту визирного луча на данной станции – горизонт инструмента на станции равен высоте связующей точки плюс отсчет по рейке на этой же точке:

$$ГИ_{СТ} = H_3 + a_3, \quad (2.23)$$

$$ГИ_{СТ} = H_{II} + a_{II}. \quad (2.24)$$

Отметка любой промежуточной точки на данной станции равна горизонту инструмента минус отсчет по рейке на этой же промежуточной точке:

$$H_i = ГИ_i - a_i. \quad (2.25)$$

2.2.4. Подготовка к проектированию продольного профиля

После выполнения работ для наглядного графического представления результатов нивелирования по трассе строят продольные профили на миллиметровой бумаге, используя данные пикетажного и нивелирного журналов вычисленных высот пикетов, связующих и промежуточных точек.

При построении продольного профиля вертикальный масштаб M_v принимается в 10 раз крупнее горизонтального M_z .

Обычно $M_v = 1:500$ (в 1 см 5 м), $M_z = 1:5\ 000$ (в 1 см 50 м).

При этом пользуются установленной типовой сеткой профиля (прил. 2), графы которого рекомендуется заполнять в определенном порядке [19].

1. Разбивают графу «Расстояние» на пикеты и снизу (в графе «Пикет, Элементы плана, Километры») подписывают номера пикетов. Положение плюсовых точек показывают в пикетах вертикальными линиями и записывают расстояния между точками.

2. Показывают в графе «Пикет, Элементы плана, Километры» километровые знаки, прямые и кривые плана трассы. На прямых участках сверху указывают их длину, а снизу – румб. Кривые в плане от начала закругления $HЗ$ до конца закругления $KЗ$ показывают скобками вверх при правом повороте, вниз – при левом. В точках $HЗ$ и $KЗ$ указывают расстояния до предыдущих пикетов. На свободном месте записывают номер и величину угла, значение радиуса, вираж и уширение.

3. Записывают в графу «Отметка земли» фактические отметки земли (вычисленные по горизонталям на карте).

4. Устанавливают условный горизонт $УГ$ для вычерчивания профиля (условный горизонт равен 2 см). Линию поверхности земли в самой нижней точке рекомендуется располагать на расстоянии 14–16 см от верхней линии сетки. Принятую величину $УГ$ заносят на верхнюю линию сетки продольного профиля.

5. По данным графы «Отметка земли» строят линию поверхности земли по оси дороги, откладывая против каждого пикета и плюсовой точки (по вертикали от верха рамки сетки) ординаты, равные H_3 – отметке поверхности земли.

6. Для заполнения графы «Тип местности по увлажнению» необходимо установить номер типа местности по признакам увлажнения верхнего слоя земли. Основные признаки увлажнения (сток поверхностных вод, уровень подземных вод и др.) устанавливаются по топографической карте (по результатам бурения скважин) и на основе характеристик района проложения трассы.

7. Оставшиеся графы заполняют по результатам принятых проектных решений.

8. При вычерчивании продольного профиля необходимо пользоваться соответствующими условными знаками.

Подготовка исходных данных для проектирования продольного профиля

Отметки поверхности земли снимают с топографической карты по оси проложенной трассы, вычисляя их на каждом пикете и плюсовых точках. Плюсовыми точками на карте являются точки пересечения оси дороги с горизонталью. Отметки земли вычисляют двумя способами: интерполяцией и экстраполяцией (рис. 2.26).

Если пикет или плюсовая точка расположены между соседними горизонталями, отметки вычисляют методом интерполяции.

Отметки точек, расположенных внутри замкнутой горизонтали или за пределами горизонталей, определяют методом экстраполяции.

Высота каждого пикета снимается с карты именно в той точке, где расположен соответствующий пикет на трассе. За плюсовые точки условно приняты точки пересечения трассы с горизонталями, поэтому высотами плюсовых точек будут являться высоты соответствующих горизонталей.

При снятии отметок с карты обязательным является фиксирование пикетажного положения плюсовых точек. Отметки земли (метод интерполяции и метод экстраполяции) определяются по зависимости [8]

$$H = H_i \pm \frac{a\Delta}{l}, \quad (2.26)$$

где H_i – высотная отметка горизонтали, м;

a – расстояние от пикета до горизонтали, мм: кратчайшее – метод интерполяции; по оси дороги – метод экстраполяции;

Δ – высота сечения горизонталей, м;

l – расстояние между горизонталями, мм: кратчайшее – метод интерполяции; по оси дороги – метод экстраполяции.

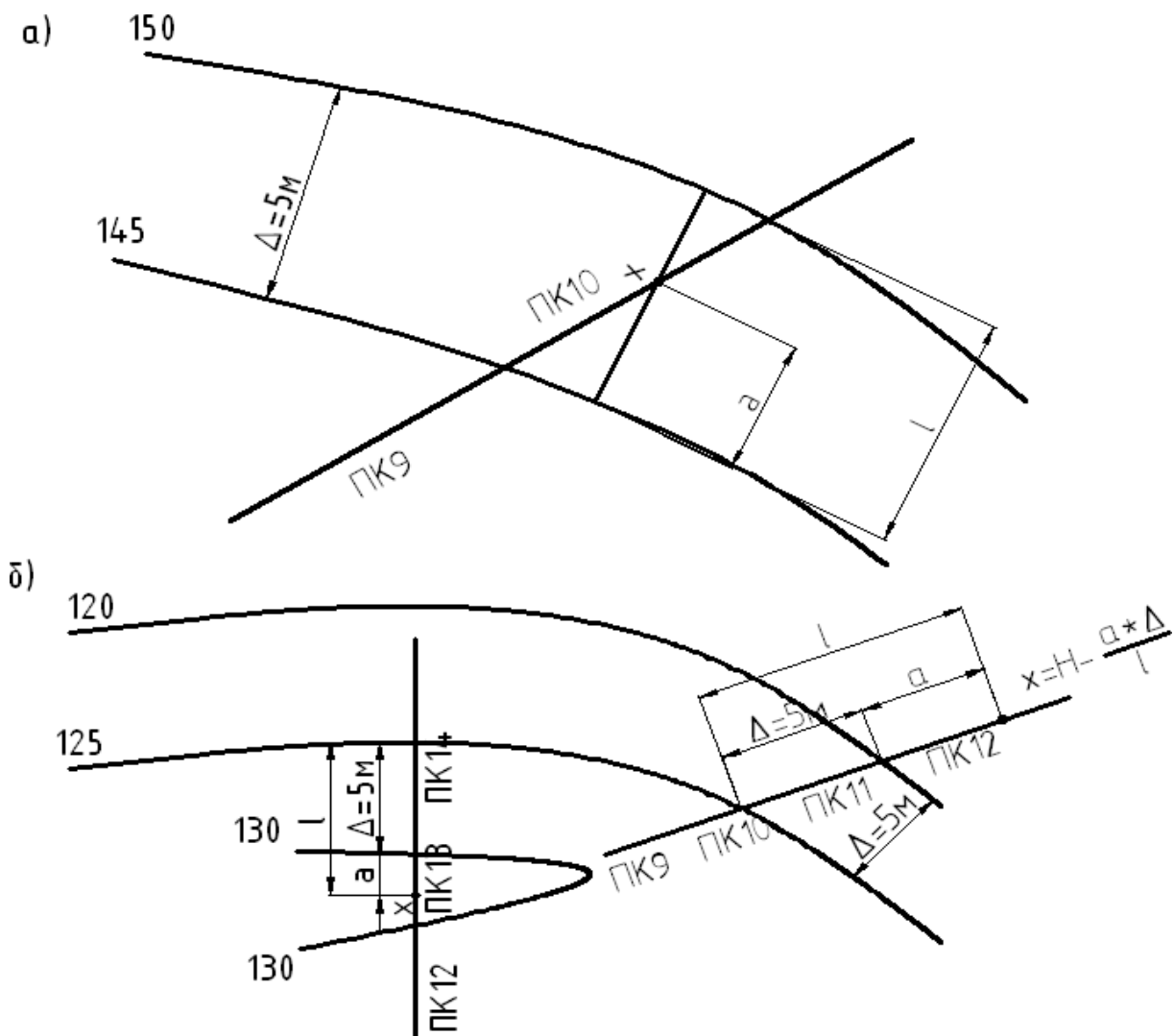


Рис. 2.26. Схема определения отметок земли:
а – метод интерполяции; б – метод экстраполяции

Пример

Метод интерполяции

Высотная отметка горизонтали $H_i = 145,00$ м. Кратчайшее расстояние от пикета до горизонтали $a = 18,0$ мм. Высота сечения горизонталей (рельефа) $\Delta = 5,0$ м. Кратчайшее расстояние между горизонталями $l = 27,0$ мм (см. рис. 2.26, а).

Необходимо определить высотную отметку *ПК 10*.

Высотную отметку *ПК 10* определим по зависимости (2.26) (см. рис. 2.26, а):

$$H = 145,00 + \frac{18,0 \cdot 5,0}{27,0} = 148,33 \text{ м.}$$

Метод экстраполяции

Высотная отметка горизонтали $H_i = 125,00$ м. Расстояние от пикета до горизонтали по оси дороги $a = 16,0$ мм. Высота сечения горизонталей (рельефа) $\Delta = 5,0$ м. Расстояние по оси дороги от искомой точки до последующей горизонтали $l = 36,0$ мм (см. рис. 2.26, б).

Необходимо определить высотную отметку *ПК 12*.

Высотную отметку *ПК 12* определим по зависимости (2.26) (см. рис. 2.26, б):

$$H = 125,00 + \frac{16,0 \cdot 5,0}{36,0} = 127,22 \text{ м.}$$

Проектирование продольного профиля в дорожно-строительной отрасли выполняется с целью выравнивания, т. е. сглаживания фактического профиля земной поверхности вдоль трассы для повышения эксплуатационных характеристик проектируемой дороги. Суть проектирования заключается в нанесении проектной линии на фактический профиль и в расчете параметров этой проектной линии, которая будет представлять высотное положение оси будущей дороги.

Проектная высота конца первого участка для предварительных расчетов принимается равной фактической высоте данной точки, а затем вычисляется, уточняется по определенному значению уклона этого участка.

Проектный уклон участка определяется по зависимости [19]

$$i = \frac{H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}}{l}, \quad (2.27)$$

где $H_{\text{кон}}$ и $H_{\text{нач}}$ – высотная отметка конца и начала участка, м;
 l – длина участка, м.

Пример

Дано: высотная отметка конца участка $H_{кон} = 148,33$ м; высотная отметка начала участка $H_{нач} = 127,22$ м; длина участка $l = 225,0$ м.

Необходимо определить крутизну соответствующей линии местности (уклон участка).

Уклон участка определяется по зависимости (2.27)

$$i = \frac{148,33 - 127,22}{225,0} = 0,0938 \text{ доли ед.}$$

Уклон i вычисляется до 0,0001, округляется до 0,001 и по округленному его значению вычисляется проектная высота конца участка по зависимости [19]

$$H_{кон} = H_{нач} + il. \quad (2.28)$$

Пример

Дано: высотная отметка начала участка $H_{нач} = 127,22$ м; уклон участка $i = 0,094$; длина участка $l = 225,0$ м.

Необходимо определить высотную отметку конца участка $H_{кон}$.

Высотная отметка конца участка $H_{кон}$ определяется по зависимости (2.28):

$$H_{кон} = 127,22 + 0,094 \cdot 225,0 = 148,37 \text{ м.}$$

Особенность в том, что проектная высота начала любого следующего участка принимается равной уточненной проектной высоте конца предыдущего участка.

Проектные высоты промежуточных точек на протяжении данного участка определяются по зависимости (2.28) и подписываются против каждой точки в соответствующей строке.

Рабочие отметки на всех точках вычисляют как разницу между проектными и фактическими высотами земной поверхности в одних и тех же точках по следующей зависимости [19]:

$$h_p = H_{пр} - H_{ф}. \quad (2.29)$$

Пример

Дано: проектная отметка, $H_{пр} = 148,37$ м; фактическая высота земной поверхности (отметка земли) в данной точке $H_{ф} = 146,16$ м.

Необходимо определить рабочую отметку.

Рабочая отметка h_p определяется по зависимости (2.29):

$$h_p = 148,37 - 146,16 = 2,21 \text{ м.}$$

Необходимо помнить, что положительные величины рабочих отметок означают высоту насыпи (их пишут над проектной линией), отрицательные – глубину выемки (их пишут под проектной линией).

Особой точкой на продольном профиле является точка нулевых работ – точка пересечения проектной линии профиля с фактической, т. е. с земной поверхностью. В этой точке рабочая отметка равна нулю, так как в ней находится граница между выемкой и подсыпкой грунта (рис. 2.27).

Горизонтальное расстояние от точек нулевых работ до ближайшего пикета или плюсовой точки определяется из подобия треугольников [19]:

$$\frac{x}{a} = \frac{d-x}{b} \text{ или } x = \frac{ad}{a+b}, \quad (2.30)$$

где a и b – рабочие отметки в точках, м;

d – расстояние между этими точками, м.

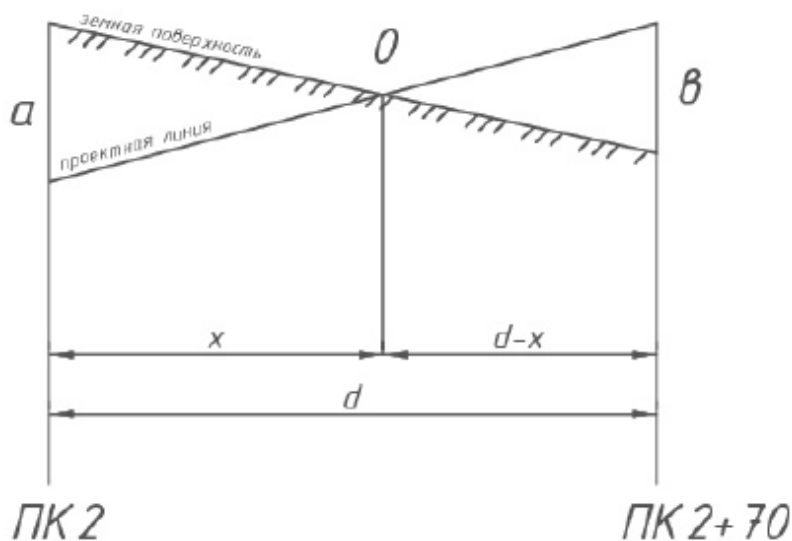


Рис. 2.27. Определение положения точки нулевых работ

Пример

Дано: рабочие отметки в точках $a = 2,21$ м и $b = 1,89$ м; расстояние между этими точками $d = 70$ м.

Необходимо определить расстояние до точки нулевых работ.

Расстояние до точки нулевых работ x определяется по зависимости (2.30):

$$x = \frac{2,21 \cdot 70}{2,21 + 1,89} = 37,73 \text{ м.}$$

2.2.5. Разбивка земляного полотна

В подготовительный период строительства одновременно с работами по восстановлению трассы производят детальную разбивку и закрепление земляного полотна (строительных поперечников), а также всех сопутствующих элементов строящейся дороги. При производстве разбивочных работ этого периода используют принятую от изыскателей схему закрепления трассы и журналы выносок и реперов.

Поперечный профиль дорожного полотна (рис. 2.28) автомобильной дороги (дорожная одежда, земляное полотно) состоит из проезжей части, обочин, откосов и кюветов [9].

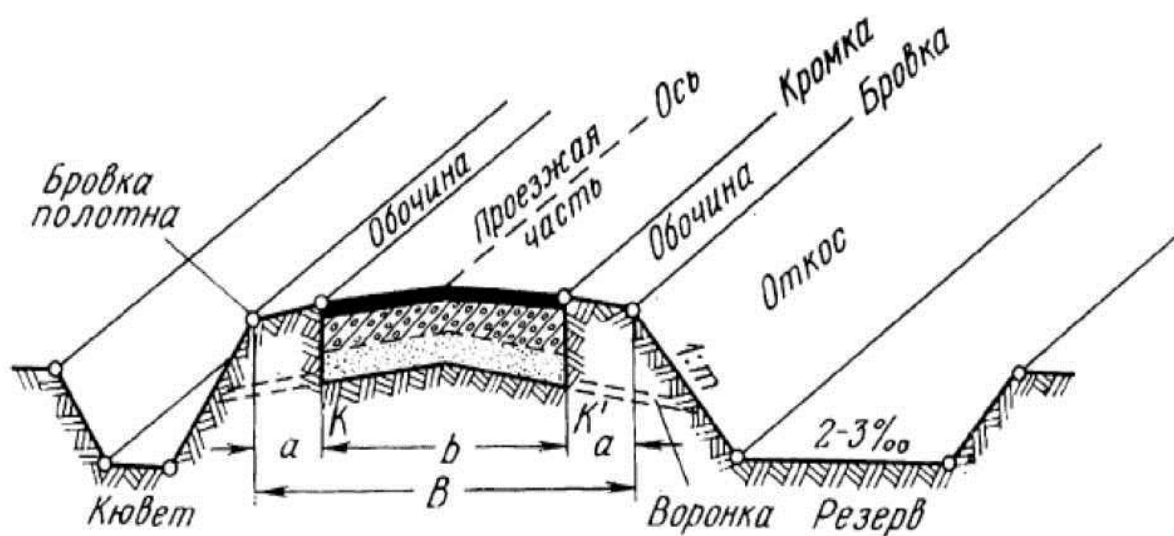


Рис. 2.28. Дорожное полотно автомобильной дороги

Геометрические размеры поперечного профиля, в том числе ширина проезжей части, зависят от категории дороги. Для укрепления проезжей части с обеих ее сторон устраивают обочины (ширина обочин зависит от категории дороги). К обочинам примыкают откосы. Линия, отделяющая обочины от откосов, называется бровкой земляного полотна. Проезжая часть входит в дорожную одежду (жесткую, нежесткую).

Основной задачей при проектировании дорог является решение вопросов водоотвода. Для быстрого стока воды проезжая часть имеет поперечный уклон от середины к бровкам.

Величина этого уклона назначается в зависимости от типа покрытия. На цементно-бетонных и асфальтобетонных дорогах проезжая часть имеет уклон 15–20, щебеночных и гравийных – 20–30, на мостовых – 30–40‰. Обочины имеют поперечный уклон (как правило) на 20 ‰ больше уклона проезжей части [9].

Вдоль земляного полотна устраивают боковые водоотводные канавы (насыпь) или кюветы (выемка). Продольный уклон дна канав принимают равным уклону земли, кювета – уклону проектной линии.

Ширина канавы (кювета) поверху (рис. 2.29) определяется по зависимости [9]

$$D = 2h_k m + c, \quad (2.31)$$

где h_k – глубина канавы (кювета),
 m – коэффициент крутизны откоса;
 c – ширина канавы (кювета) по дну.

К разбивочным работам приступают после расчистки полосы отвода от леса, пней, кустарника и удаления растительного слоя.

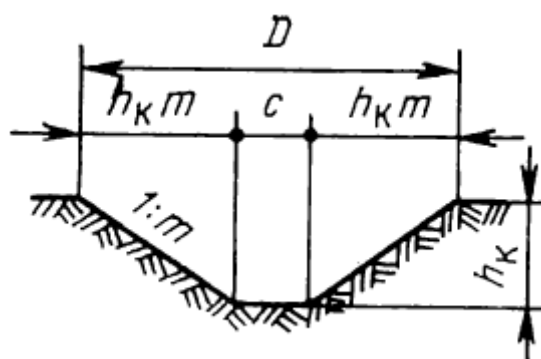


Рис. 2.29. Разбивка канавы (кювета)

Разбивки должны на 1,5–2 км опережать фронт земляных работ, производство которых начинают только после постановки всех необходимых разбивочных знаков. Работы по детальной разбивке выполняют в такой технологической последовательности [8].

1. Используя основные осевые точки и выноски их закрепления, намечают положение поперечников по трассе, которые в дальнейшем необходимы для производства детальной разбивки. Как правило, поперечники разбивают на всех пикетных и плюсовых точках. В пересеченной и горной местности поперечники разбивают не только в основных точках, но и в местах производства нулевых работ.

2. На прямолинейных участках трассы поперечники разбивают через 20–40 м и на всех переломах продольного профиля. Для этого с помощью теодолита и ленты строго в створе оси трассы разбивают плюсовые точки между пикетами, например +20, +40, +60, +80 м. Это будут осевые точки поперечников. Сами же поперечники разбиваются вправо и влево от этих точек перпендикулярно к оси трассы. Прямой угол строится с помощью гониометра или эскера, а необходимые

по проекту расстояния до характерных точек поперечного профиля откладываются лентой или рулеткой.

3. Помимо рассмотренного выше способа, для восстановления перпендикуляра можно использовать теодолит. Чтобы восстановить перпендикуляр к прямолинейному участку трассы с помощью теодолита, необходимо установить теодолит в соответствующей точке трассы, совместить нули лимба и алидады и ориентировать визирную ось по направлению трассы. Затем, повернув алидаду на 90° , следует закрепить по направлению визирной оси искомый створ. Для нахождения створа в противоположную от оси сторону нужно перевести трубу через зенит или повернуть алидаду на 180° .

4. Восстановление перпендикуляров к прямолинейным и криволинейным участкам трассы используется для нахождения на местности створов, по которым произведены разбивка и плано-высотное закрепление элементов земляного полотна.

5. Для восстановления перпендикуляра с помощью эккера необходимо эккер процентрировать над точкой, расположенной в створе двух вех (вехи A и B , рис. 2.30). Затем поворачивают эккер так, чтобы изображение одной из вех после отражения от двух зеркал было видно наблюдателю в окно эккера. По полученной линии визирования выставляют веху C . Продолжение линии CD получают ее провешиванием или аналогичным построением перпендикуляра в противоположную сторону.

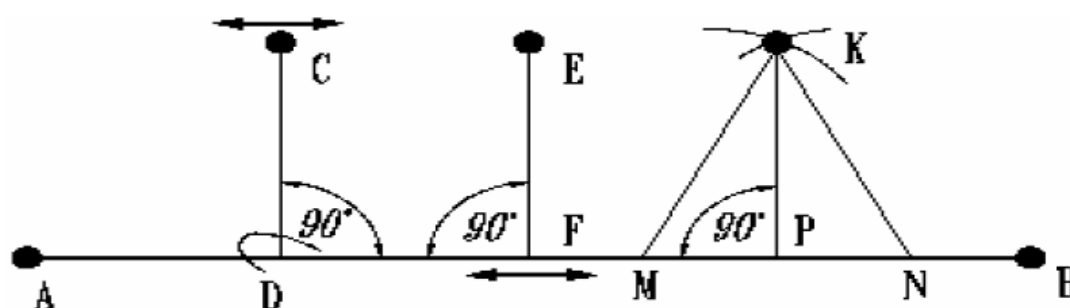


Рис. 2.30. Разбивка перпендикуляров на прямых

Последовательность восстановления перпендикуляра

Чтобы опустить перпендикуляр на ось трассы из точки E (см. рис. 2.30), передвижением наблюдателя с эккером вдоль оси AB добиваются совмещения видимого через эккер изображения вехи E с одной из вех створа AB . После этого отвесом проектируют на землю положение эккера F (этот прием используют также для восстановления пикетов по трассе от точек их закрепления) [8].

При построении перпендикуляра к оси способом линейных засечек (см. рис. 2.30) от соответствующей точки P трассы в обе стороны по оси откладывают равные расстояния $PM = PN$. Затем из точек M и N двумя рулетками одинаковой длины засекают точку K их пересечения. Створ KP представляет собой перпендикуляр к трассе.

На криволинейных (в плане) участках поперечники разбивают по линии, перпендикулярной к касательной в точках круговой кривой, расположенных через 5 м при радиусе до 100 м, через 10 м при радиусе от 100 до 500 м и через 20 м при радиусе свыше 500 м [8].

На вертикальных сопряжениях продольного профиля разбивку производят через 20 м на выпуклых кривых и через 10 м на вогнутых кривых [9].

На этих участках поперечники должны располагаться по направлению к центру кривой, т. е. перпендикулярно к касательной к кривой в точке разбивки поперечника. Так как обычно при разбивке кривой положение ее центра на местности не определяют, для разбивки поперечников на кривой применяют способ, основанный на том, что точки на кривой при ее детальной разбивке располагаются через равные отрезки ab , bc , cd и т. д. (рис. 2.31).

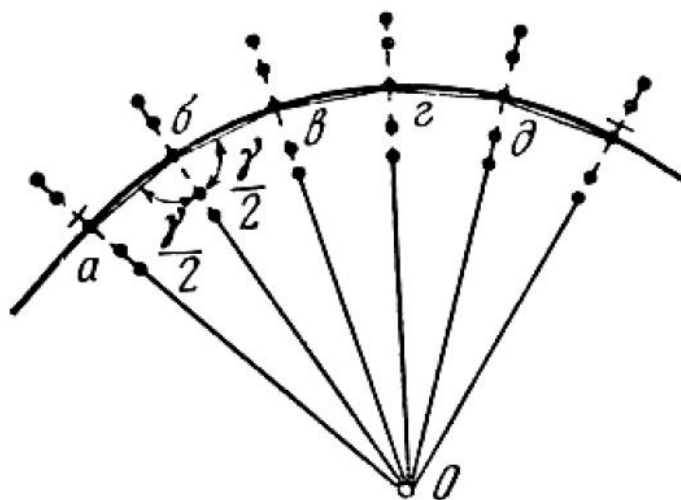


Рис. 2.31. Разбивка перпендикуляров к кривым

Последовательность выполнения работ [8]

1. Для разбивки поперечника в осевой точке кривой измеряют угол между хордами, соединяющими эту точку с двумя соседними точками. Затем, разделив угол пополам, строят на местности его биссектрису. Очевидно, что направление биссектрисы будет совпадать с направлением радиуса кривой, вдоль которого от осевой точки и разбивают поперечник.

2. На полученных поперечниках осуществляют детальную разбивку земляного полотна. Перенесению на местность подлежат проекции бровок земляного полотна, границы заложения откосов насыпей, выемок, резервов и водоотводных сооружений. В полученных точках плановой разбивки устанавливают вешки-визирки или другие знаки, на которые геометрическим нивелированием передают проектные отметки, соответствующие отметке бровки дорожного полотна в законченном виде.

3. Рабочие отметки, т. е. высоты насыпей или глубины выемок, равны разности проектных отметок по бровке и отметок местности по оси. При этом если проектная отметка больше отметки местности, то дорога идет по насыпи, а если меньше – в выемке.

4. Для удобства выноса в натуру проектных отметок и уклонов перед выходом в поле составляют так называемый писанный профиль, в котором на основании продольного профиля дороги (рабочего проекта) вычисляют для каждого разбиваемого в натуре поперечника проектные и рабочие отметки, глубины кюветов и другие данные.

При разбивке поперечных профилей в насыпи (рис. 2.32, 2.33) на местности закрепляют:

- положение осевой точки O' ;
- проекции бровок A' и A'_1 ;
- подошвы насыпи C, C_1 .

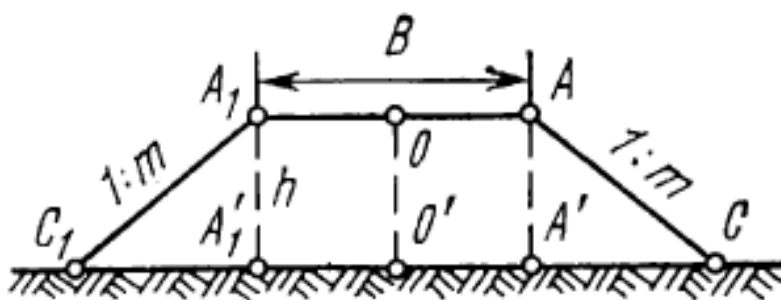


Рис. 2.32. Разбивка насыпи в равнинной местности

Если поперечный уклон местности не больше $3-4^\circ$, то можно принять [9]:

$$O'A'_1 = O'A' = B/2 \text{ и } A'C = A'_1C_1 = mh, \quad (2.32)$$

где B – проектная ширина дорожного полотна, м;

h – высота насыпи, м;

$1:m$ – крутизна (уклон) откоса (при высоте насыпи ≤ 3 м $m = 4$).

Горизонтальное расстояние от оси до подошвы насыпи $O'C$ или O_1C_1 определяется по зависимости [9]

$$l = B / 2 + mh. \quad (2.33)$$

Для высоких насыпей (см. рис 2.33) откос возводят ступенями, уменьшая к подошве через 6–12 м его крутизну [9]. Так, в песчаных и глинистых грунтах для насыпи:

- до 6 м принимают показатель крутизны $m = 1,5$;
- от 6 до 12 м – $m_1 = 1,75$;
- более 12 м – $m_2 = 2,00$.

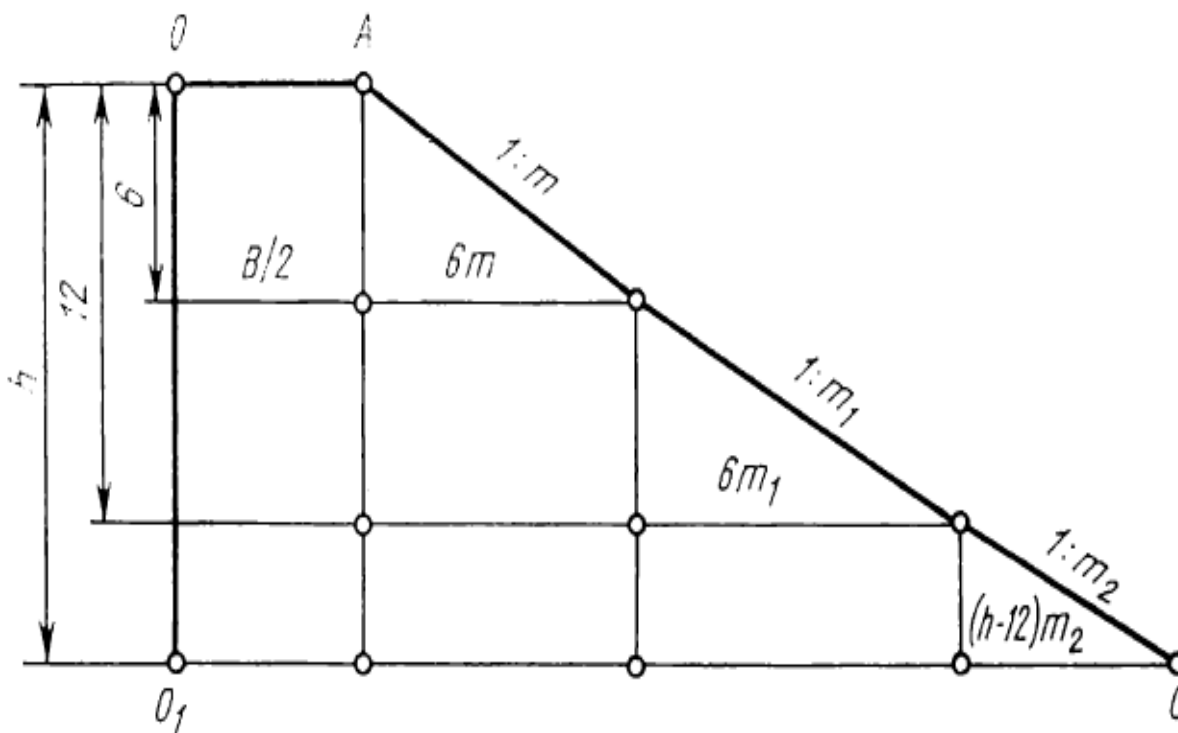


Рис 2.33. Разбивка высокой насыпи

Для насыпи с разными показателями крутизны зависимость (2.33), согласно рис. 2.34, будет иметь вид [9]

$$l = B / 2 + 6(m + m_1) + m_2(h - 12). \quad (2.34)$$

Пример

Дано: категория дороги – III; высота насыпи (рабочие отметки):

а) $h = 2,25$ м;

б) $h = 17,45$ м.

Необходимо определить расстояние от оси дороги до подошвы насыпи.

Расстояние от оси дороги до подошвы насыпи (l) определяется по зависимости: а) (2.33); б) (2.34).

$$а) l = 12 / 2 + 4 \cdot 2,25 = 15 \text{ м.}$$

$$б) l = 12 / 6 + 6(1,5 + 1,75) + 2(17,45 - 12) = 36,4 \text{ м.}$$

При значительном поперечном наклоне местности на косогорах разбивка насыпей существенно усложняется.

Вследствие наклона местности расстояния от оси O до подошвы насыпи C и C_1 будут различны (см. рис. 2.34).

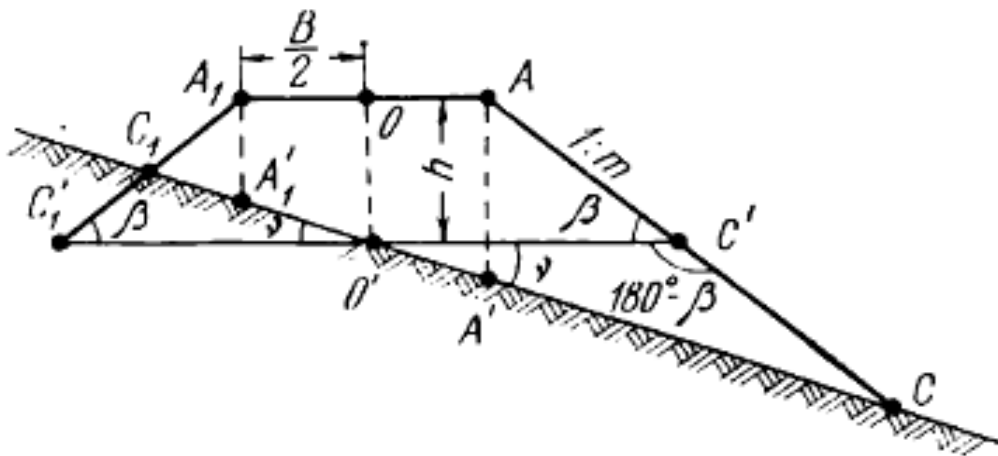


Рис. 2.34. Разбивка насыпи на косогоре

Положение точек C и C_1 может быть легко найдено, если отложить по наклонной местности отрезки $O'C$ и $O'C_1$. Из треугольника $O'C_1C_1$ (см. рис. 2.34) определяем наклонное расстояние от оси до верхней подошвы по зависимости [9]

$$O'C_1 = l_1 = (B/2 + mh) \sqrt{1 + n^2} / (n + m), \quad (2.35)$$

где n – уклон местности.

Расстояние $O'C$ от оси до нижней подошвы (см. рис. 2.34) определяется из треугольника $O'C'C$ по зависимости [9]

$$O'C = l_2 = (B/2 + mh) \left(\sqrt{1 + n^2} \right) / (n - m). \quad (2.36)$$

При уклоне местности, меньшем 1:10 ($\nu \approx 6^\circ$), величины l_1 и l_2 можно вычислить по упрощенным зависимостям [9]:

$$l_1 = (B/2 + mh) \left[n / (n + m) \right], \quad (2.37)$$

$$l_2 = (B/2 + mh) \left[n / (n - m) \right]. \quad (2.38)$$

Пример

Дано: категория дороги – III; высота насыпи (рабочая отметка) – $h = 2,25$ м; уклон местности ($1 : n$) – $1:18$.

Необходимо определить расстояние от оси дороги до подошвы насыпи с нагорной l_1 и подгорной l_2 стороны.

Расстояние от оси дороги до подошвы насыпи l определяется по зависимости: а) с нагорной стороны l_1 – (2.37); б) с подгорной стороны l_2 – (2.38).

$$a) l_1 = (12 / 2 + 4 \cdot 2,25) \left[18 / (18 + 4) \right] = 12,27 \text{ м.}$$

$$б) l_2 = (12 / 2 + 4 \cdot 2,25) \left[18 / (18 - 4) \right] = 19,29 \text{ м.}$$

Кроме рассмотренного выше способа, поперечные профили на косогорах могут быть также разбиты способом приближений при помощи рейки, уровня и откосного шаблона.

Основные точки при разбивке насыпи на местности закрепляются лекалами, которые устанавливают на пикетах и переломах проектного профиля. На оси или у подошвы насыпи зарывают визирку с таким расчетом, чтобы верхняя планка была на уровне проектной высоты земляного полотна. У подошвы насыпи устанавливают откосные лекала, характеризующие крутизну земляного полотна.

В процессе работы крутизну откосов и ширину земляного полотна периодически проверяют переносными шаблонами и промерами от восстанавливаемой оси. Когда насыпь вчерне закончена, для окончательной отделки полотна восстанавливают ось и выносят в натуру при помощи нивелира проектные высоты по поперечным профилям через 20 м, при этом высоты увеличивают с расчетом последующей осадки грунта [9].

В выемке на поверхности земли фиксируют осевую точку трассы O' , точки A' , A'_1 и бровки выемки C , C_1 (на первом этапе, когда земляное полотно создается вчерне), поперечный профиль в выемке задается в виде некоторой трапеции CAA_1C_1 (рис. 2.35).

В дальнейшем, при отделке земляного полотна, разбивают кюветы и обочины.

В сравнительно равнинной местности при небольшом перепаде высот расстояния изменяются незначительно, поэтому положение точек в натуре A' и A_i находят путем отложения от оси расстояний по зависимости [9]

$$O'A' = O'A'_i = B / 2 + D, \tag{2.39}$$

где B – ширина земляного полотна, м;

D – ширина кювета поверху.

Отмеряя от этих точек величину заложения откоса mh_0 , находят и закрепляют бровки выемки C и C_1 .

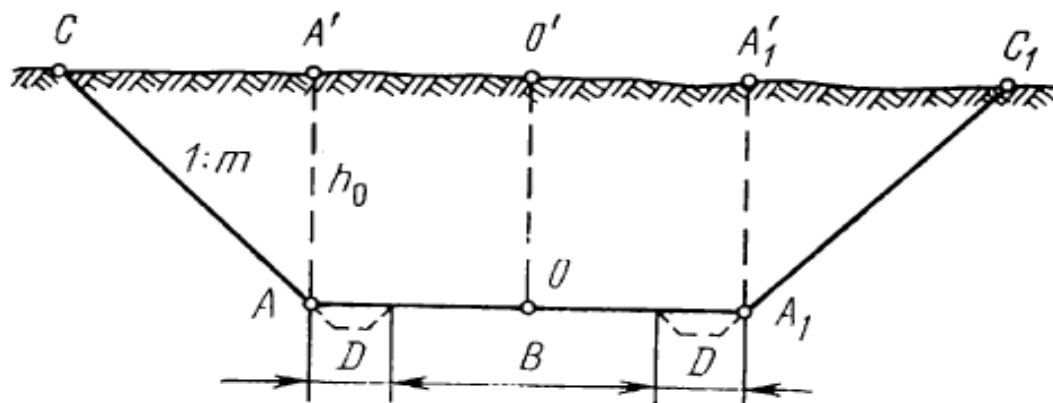


Рис. 2.35. Разбивка выемки в равнинной местности

На косогорах расстояние от оси до границы выемки будет меньшим в нагорную сторону l_1 и большим в подгорную сторону l_2 (рис. 2.36).

Наклонные расстояния от оси до бровок выемки в нагорную l_1 сторону и подгорную l_2 сторону могут быть определены по зависимостям [9]

$$l_1 = (B/2 + D + mh_0) \left(\sqrt{1+n^2} \right) / (n+m), \quad (2.40)$$

$$l_2 = (B/2 + D + mh_0) \left(\sqrt{1+n^2} \right) / (n-m), \quad (2.41)$$

где h_0 – глубина выемки, м.

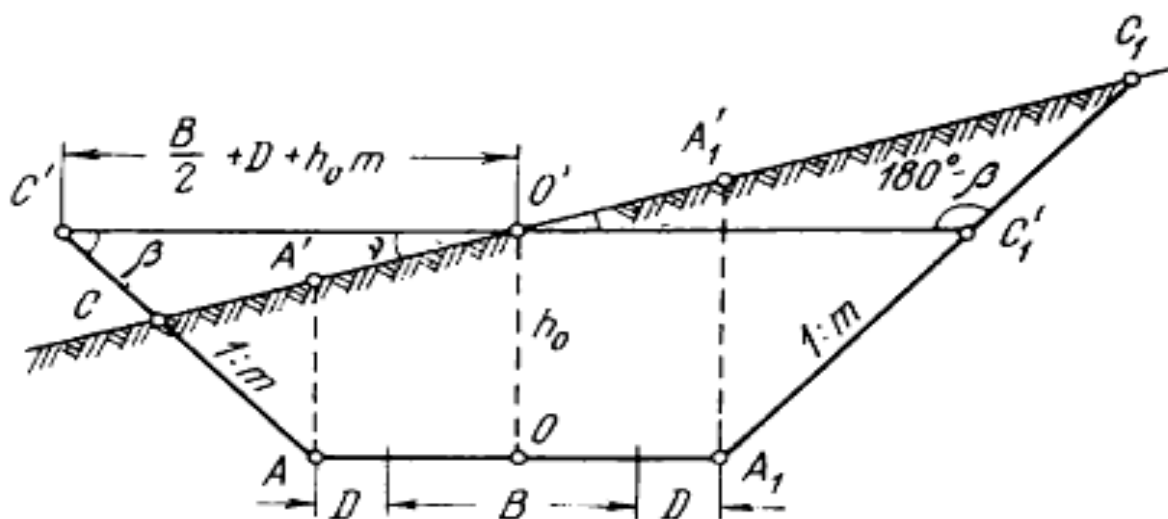


Рис. 2.36. Разбивка выемки на косогоре

При уклоне местности, меньшем 1:10 ($\nu \approx 6^\circ$), величины l_1 и l_2 можно вычислить по упрощенным зависимостям [9]:

$$l_1 = (B/2 + D + mh_0) \left[n / (n + m) \right], \quad (2.42)$$

$$l_2 = (B/2 + D + mh_0) \left[n / (n - m) \right]. \quad (2.43)$$

Пример

Дано: категория дороги – III; глубина выемки (рабочая отметка) $h_0 = 2,25$ м; уклон местности (1 : n) – 1:18.

Необходимо определить расстояние от оси дороги до подошвы выемки с нагорной l_1 и подгорной l_2 стороны.

Расстояние от оси дороги до подошвы выемки l определяется по зависимости: а) с нагорной стороны l_1 – (2.42); б) с подгорной стороны l_2 – (2.43).

$$a) l_1 = (12/2 + (0,7 \cdot 4 + 0,7 \cdot 1,5) + 0,4 + 1,5 \cdot 2,25) \left[18 / (18 + 1,5) \right] = 12,58 \text{ м.}$$

$$б) l_2 = (12/2 + (0,7 \cdot 4 + 0,7 \cdot 1,5) + 0,4 + 1,5 \cdot 2,25) \left[18 / (18 - 1,5) \right] = 14,86 \text{ м.}$$

2.3. Криволинейные сопряжения

Прямолинейные участки трассы допускается сопрягать круговыми кривыми при радиусе более 2000 м. При меньших радиусах сопряжение осуществляют сложной кривой с включением в нее круговой и двух переходных кривых. Поскольку для процесса строительства недостаточно пикетажного обозначения кривых, в подготовительный период осуществляют детальную разбивку кривых.

2.3.1. Измерение горизонтальных и вертикальных углов

В целях точного выполнения работ на всех точках замкнутого и диагонального теодолитных ходов измеряют горизонтальные и вертикальные углы. Углы на полигоне измеряют внутренние, правые или левые по ходу.

На каждой станции инструмент (рис. 2.37) устанавливают в рабочее положение, т. е. центрируют его над вершиной измеряемого угла при помощи шнурового отвеса с точностью до 5 мм, и ось вращения инструмента приводят в отвесное положение по цилиндрическому уровню горизонтального круга подъемными винтами [19].

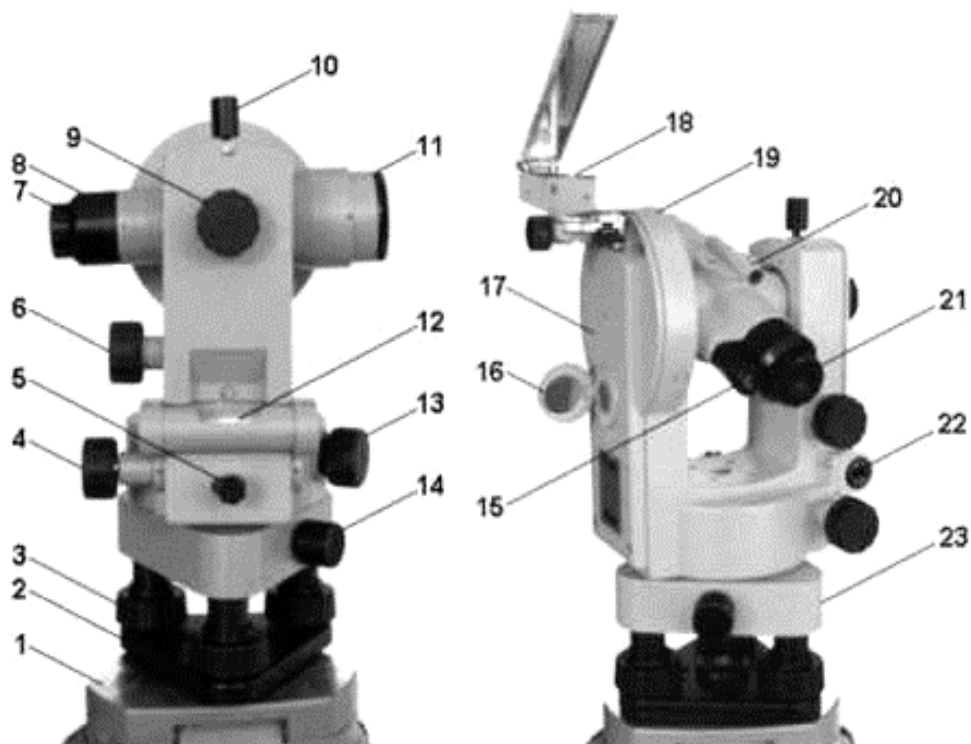


Рис. 2.37. Устройство теодолита 4Т30П:

1 – головка штатива; 2 – основание; 3 – подъемный винт; 4 – наводящий винт алидады; 5 – закрепительный винт алидады; 6 – наводящий винт зрительной трубы; 7 – окуляр зрительной трубы; 8 – предохранительный колпачок сетки нитей зрительной трубы; 9 – кремальера; 10 – закрепительный винт зрительной трубы; 11 – объектив зрительной трубы; 12 – цилиндрический уровень; 13 – наводящий винт лимба; 14 – закрепительный винт лимба; 15 – окуляр отсчетного микроскопа с диоптрийным кольцом; 16 – зеркальце для подсветки штрихов отсчетного микроскопа; 17 – колонка; 18 – ориентир-буссоль; 19 – вертикальный круг; 20 – визир; 21 – диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы; 22 – исправительные винты цилиндрического уровня; 23 – подставка

Устройство оптического теодолита 4Т30П [19]

Теодолит имеет:

- а) горизонтальный и вертикальный 19 круги;
- б) зрительную трубу 11 и отсчетное устройство.

Горизонтальный круг предназначен для измерения горизонтальных углов, состоит из лимба 13 и алидады 4.

Лимб является основной частью угломерного прибора в оптических теодолитах и представляет собой стеклянный круг с нанесенными на него градусными делениями. Деления нанесены через 10' (цена деления лимба), оцифрованы через 1° от 0 до 360° по ходу часовой стрелки.

Алидада является подвижной частью теодолита (вся вращающаяся часть теодолита), несущей систему отсчитывания по лимбу и визирное устройство (зрительная труба).

При общей оси вращения лимба и алидады конструкция теодолита обеспечивает возможность как их совместного вращения, так и вращения по отдельности. Для этого лимб и алидада снабжены закрепительными (зажимными *5*, *10*) и наводящими *6*, *13* (микрометренными) винтами. При вращении алидады вокруг своей оси совместно с верхней частью теодолита относительно неподвижного лимба (лимб закреплен в подставке зажимным винтом *14*, а закрепительный винт алидады *5* отжат) отсчет по горизонтальному кругу изменяется. При вращении алидады вокруг оси совместно с лимбом (закрепительный винт алидады *5* зажат, а лимба *14* откреплен) отсчет по горизонтальному кругу остается неизменным (таким образом осуществляют перестановку лимба на необходимый угол).

Горизонтальный круг имеет полую вертикальную ось, которая входит во втулку подставки, поэтому центрирование прибора можно осуществлять при помощи зрительной трубы. Зрительную трубу *11* устанавливают вертикально (объективом вниз) и через отверстие для центрирования визируют на вершину измеряемого угла.

На корпусе алидады горизонтального круга укреплен цилиндрический уровень *12*, используемый для горизонтирования теодолита. Для приведения линий нулей (нулевого диаметра) алидады при измерении углов наклона в горизонтальное положение на алидаде вертикального круга может быть закреплен цилиндрический уровень.

В современных оптических теодолитах используются две основные системы оцифровки вертикальных кругов:

– азимутальная (круговая), при которой деления круга подписаны от 0 до 360° по ходу часовой стрелки (теодолит Т5) либо против хода часовой стрелки (теодолит Т30);

– секторная, при которой вертикальный круг разбит на четыре сектора, из которых два диаметрально противоположных сектора имеют положительную оцифровку, а два других – отрицательную (2Т30, Т15, 2Т5 и др.).

Секторная система надписей более удобна, так как отсчеты градусов получаются одинаковыми по обеим сторонам вертикального угла, что упрощает вычисления углов наклона.

У теодолита 4Т30П вертикальный круг имеет секторную оцифровку от 0 до 75° и от 0 до -75° .

Зрительная труба является визирным устройством, с помощью которого точно наводятся на предмет. Оптический визир 20 на зрительной трубе используют для приближенного наведения на наблюдаемый предмет. Трубу фиксируют в заданном положении закрепительным винтом 10 (у теодолита $4Т30П$ труба дает прямое изображение предметов, но есть и теодолиты с обратным изображением). Перед наблюдением вращением кремальеры 9 получают резкое изображение предмета, это называется фокусированием.

Сетка нитей представляет собой систему штрихов, расположенных в плоскости изображения, даваемого объективом зрительной трубы. Вращением диоптрийного кольца 15 на окуляре зрительной трубы добиваются четкого изображения сетки нитей. Наводящим винтом зрительной трубы 6 осуществляют плавное изменение угла наклона трубы (зрительная труба переводится через зенит обоими концами).

В теодолитах в качестве отсчетных устройств используются штриховые и шкаловые микроскопы. Для того чтобы результаты измерений были удовлетворительными, теодолит должен соответствовать определенным механико-технологическим, оптическим и геометрическим условиям. Геометрические условия заключаются в правильном взаимном положении осей прибора.

Основные оси теодолита:

- а) основная вертикальная ось вращения теодолита VV ;
- б) ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга UU ;
- в) горизонтальная ось вращения зрительной трубы HH ;
- г) визирная ось зрительной трубы (мнимая линия, соединяющая центр объектива и перекрестие сетки нитей) PP .

Основной задачей при работе с теодолитом является измерение горизонтальных и вертикальных углов, которое начинают при круге «право» $KП$ и «лево» $KЛ$.

Последовательность при выполнении работ следующая [19].

1. На две смежные вершины теодолитного хода выставляют вешки с метками, установленными на высоте инструмента, которые втыкаются в землю строго в створе линии за кольшком. На заднюю вежу наводят трубу теодолита. Сначала вешку вводят в объектив теодолита при открепленном зажимном винте алидады и, закрепив его, наводящим винтом алидады вертикальную нить сетки совмещают с вешкой, а горизонтальную нить наводят по возможности на самый низ вехи

для избегания ошибок из-за ее наклона. При таком положении проводят отсчет по шкале горизонтального круга микроскопа.

2. Затем наводящим винтом зрительной трубы совмещают горизонтальную нить с меткой, определяющей высоту инструмента на станции. При приведенном на середину пузырьке уровня на алидаде горизонтального круга проводят отсчет по шкале вертикального круга микроскопа.

3. Открепив зажимной винт алидады, зрительной трубой визируют на переднюю точку и берут отсчеты по шкалам горизонтального и вертикального кругов микроскопа. При этом все операции выполняются аналогично описанным при наведении на заднюю точку.

Разность отсчетов по шкале горизонтального круга (задний минус передний) при *КП* или *КЛ* даст величину горизонтального угла β_1 из полуприема. Вторым полуприем начинают с перевода трубы через зенит и установки на лимбе отсчета, отличного от начального (при наведении на заднюю точку) примерно на 90° . При втором положении трубы углы измеряют аналогично описанному выше.

Разность отсчетов по шкале горизонтального круга микроскопа при втором положении трубы даст величину измеренного угла β_2 из второго полуприема. Разность углов из двух полуприемов не должна превышать двойную точность инструмента [19]:

$$\beta_1 - \beta_2 \leq 2t, \text{ т. е. } 1' \quad (2.44)$$

Окончательное значение угла принимается как среднее из двух полуприемов [19]:

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} \quad (2.45)$$

Нельзя забывать о том, что одновременно с измерением горизонтальных углов, как указывалось выше, измеряются и вертикальные углы, которые необходимы для расчета длины горизонтальной проекции измеренных линий и для расчета высот точек полигона методом тригонометрического нивелирования.

Углы наклона v линий при работе с теодолитом могут быть вычислены по зависимостям [19]

$$v = \frac{КЛ - КП \pm 180^\circ}{2}, \quad (2.46)$$

$$v = КЛ - МО, \quad (2.47)$$

$$v = МО - КП. \quad (2.48)$$

Особенность при работе с теодолитом заключается в том, что если высоту инструмента, отмеченную на вешке, не видно, то при измерении вертикальных углов визируют на верх вешки и обязательно измеряют и записывают длину вехи и высоту инструмента, что впоследствии необходимо для вычисления превышений между точками.

2.3.2. Круговые кривые

Круговая кривая представляет собой дугу круга и служит для плавного сопряжения в горизонтальной плоскости двух смежных прямых участков трассы (рис. 2.38).

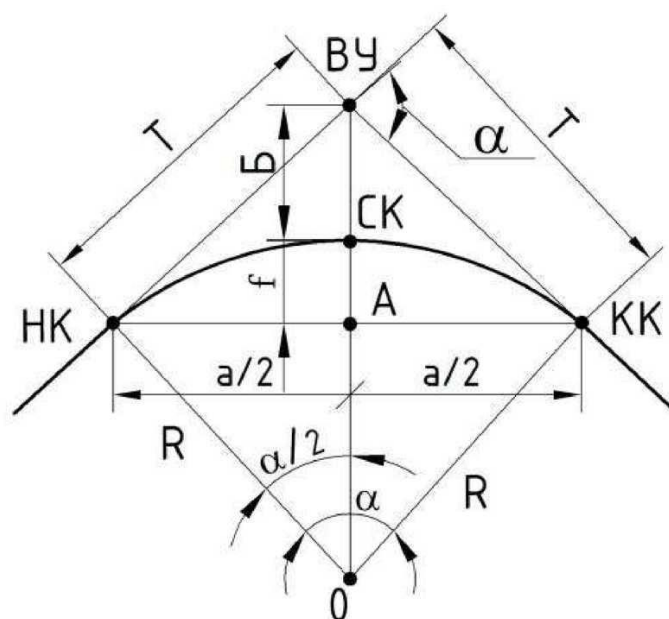


Рис. 2.38. Основные элементы круговой кривой

Круговые кривые применяют на участках обхода препятствий и развития трассы с целью уменьшения объемов земляных работ и стоимости строительства искусственных водопропускных сооружений (прил. 3).

Основными элементами круговых кривых являются [19]:

- R – радиус круговой кривой, м;
- T – тангенс, расстояние от BU поворота до начала круговой кривой HK или конца круговой кривой KK , м;
- K – кривая, длина круговой кривой от HK до KK , м;
- B – биссектриса, расстояние от вершины угла BU до вершины (середины) круговой кривой CK по биссектрисе горизонтального угла между смежными прямыми участками трассы, м;

- D – домер – величина, показывающая, насколько длина двух тангенсов $2T$ больше длины кривой K , м;
- α – величина угла поворота, $^\circ$.

Размеры основных элементов круговой кривой зависят от величины радиуса круговой кривой R , определяемого нормами проектирования (СНиП, СП) и угла поворота α .

Основные элементы круговой кривой рассчитываются по зависимостям [19]

$$T = R \operatorname{tg} \alpha / 2, \quad (2.49)$$

$$K = \pi R \left(\frac{\alpha}{180^\circ} \right), \quad (2.50)$$

$$B = R (\sec \alpha / 2 - 1) = R \left(\frac{1}{\cos \alpha / 2} - 1 \right), \quad (2.51)$$

$$D = 2T - K. \quad (2.52)$$

Пример

Дано: радиус круговой кривой $R = 2500$ м; угол поворота $\alpha = 30^\circ 00'$.

Необходимо определить основные элементы круговой кривой.

Основные элементы круговой кривой определяются по зависимостям (2.49) – (2.52).

$$T = 2500 \operatorname{tg} 30^\circ 00' / 2 = 669,87 \text{ м.}$$

$$K = \pi \cdot 2500 \left(\frac{30^\circ 00'}{180^\circ} \right) = 1309,00 \text{ м.}$$

$$B = 2500 \left(\frac{1}{\cos 30^\circ 00' / 2} - 1 \right) = 88,19 \text{ м.}$$

$$D = 2 \cdot 669,87 - 1309,00 = 30,74 \text{ м.}$$

Положение вершины угла № 1 (см. прил. 3) определяется по зависимости [19]

$$BV1 = HT + S_1, \quad (2.53)$$

где HT – начало трассы ($ПК0$);

S_1 – расстояние от начала трассы до вершины угла № 1 (измеренное на карте или по трассе).

Для каждого последующего угла поворота пикетажное положение вершины (см. прил. 3) определяется по зависимости [19]

$$B\mathcal{U}_n = ПКВ\mathcal{U}_{n-1} + S_n - D_{n-1}, \quad (2.54)$$

где $ПКВ\mathcal{U}_{n-1}$ – пикетажное положение вершины угла поворота предыдущего угла;

n – порядковый номер угла поворота;

S_n – расстояние между вершинами смежных углов поворота, м;

D_{n-1} – домер предыдущей круговой кривой, м.

Линейный контроль (см. прил. 3) проводится по зависимостям [19]

$$\sum 2T - \sum K = \sum D, \quad (2.55)$$

$$KT = \sum P + \sum K, \quad (2.56)$$

$$KT = \sum S - \sum D, \quad (2.57)$$

где P – прямая вставка, м.

Следует помнить, что длина прямой вставки (вставок) определяется как расстояние между началом трассы HT и началом круговой кривой HK , концом трассы KT и концом круговой кривой KK , концом первой круговой кривой KK_1 и началом второй круговой кривой HK_2 , концом второй круговой кривой KK_2 и началом третьей круговой кривой HK_3 и т. д.

Суть детальной разбивки круговой кривой (рис. 2.39) заключается в том, что на ней устанавливаются колышки через кратные промежутки (5, 10 или 20 м в зависимости от радиуса кривой) так, чтобы достаточно ясно обрисовывалось положение кривой на местности.

Для этой цели пользуются одним из следующих способов: прямоугольных координат, углов или продолженных хорд [8].

При детальной разбивке кривой способом прямоугольных координат (прил. 4, 5) положение каждой ее точки определяют на местности в системе прямоугольных координат. При этом за ось X принимают направление тангенса от начала или конца кривой к вершине угла поворота, за ось Y – перпендикулярное к оси X направление.

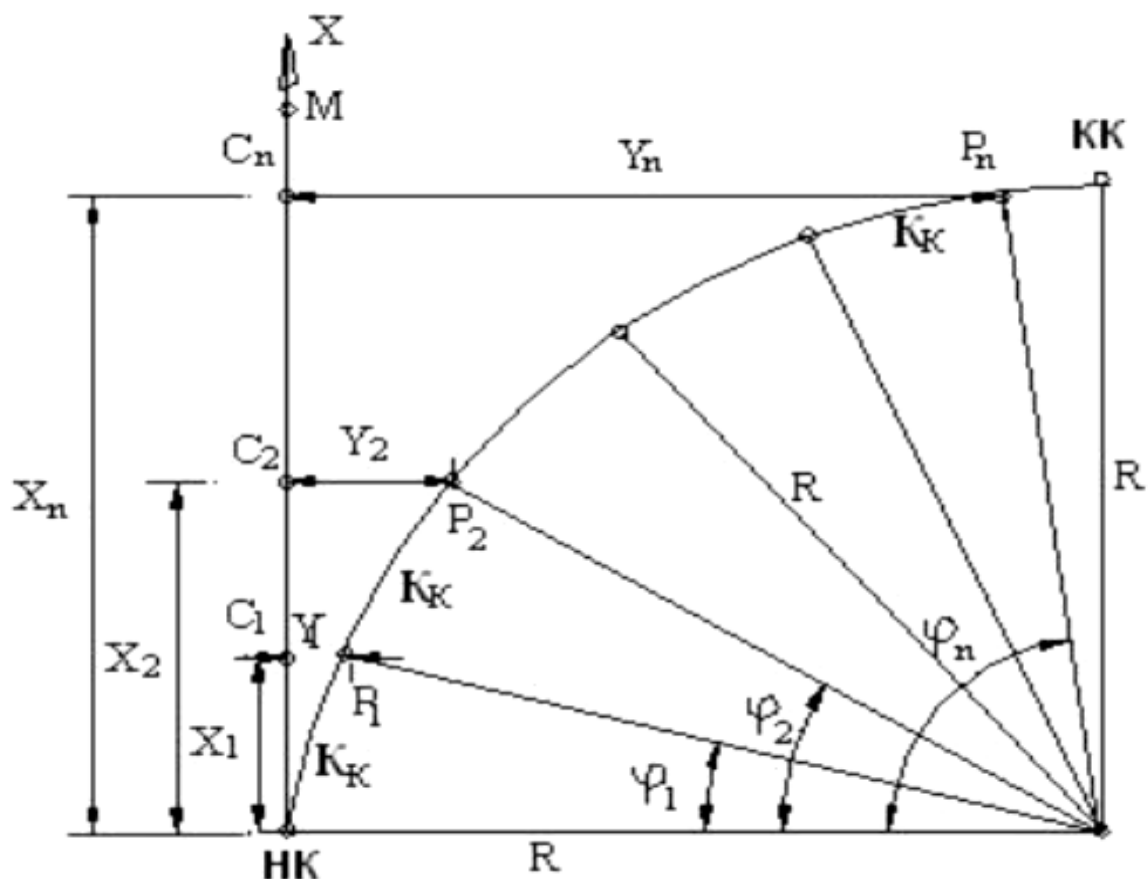


Рис. 2.39. Схема детальной разбивки круговой кривой

Координаты точек на кривой (см. прил. 5) определяют по зависимостям [8]

$$x = R \sin \varphi, \quad (2.58)$$

$$y = R (1 - \cos \varphi), \quad (2.59)$$

где φ – центральный угол, соответствующий дуге k (текущей длине кривой).

$$\varphi = \frac{180^\circ k}{\pi R}, \quad (2.60)$$

где k – текущая длина кривой (интервал разбивки кривой), м.

Пример

Дано: ПК 7 + 00, текущая длина кривой (интервал разбивки) $k = 169,87$ и ПК 18 + 00 текущая длина кривой (интервал разбивки) $k = 39,13$ (см. прил. 5); радиус круговой кривой $R = 2\,500$ м.

Необходимо определить координаты точек на кривой.

Координаты точек на кривой (см. прил. 5) определяются по зависимостям (2.58) – (2.60):

$$\varphi = \left(\frac{180^\circ \cdot 169,87}{3,14 \cdot 2500} \right) = 3,89^\circ,$$

$$x = 2500 \sin 3,89 = 169,74 \text{ м},$$

$$y = 2500 (1 - \cos 3,89) = 5,77 \text{ м},$$

$$\varphi = \left(\frac{180^\circ \cdot 39,13}{3,14 \cdot 2500} \right) = 0,8968^\circ,$$

$$x = 2500 \sin 0,8968 = 39,13 \text{ м},$$

$$y = 2500 (1 - \cos 0,8968) = 1800 \text{ м}.$$

2.3.3. Переходные кривые

На дороге при движении автомобиля на горизонтальном участке по прямой на дорожное полотно действует сила массы, направленная вертикально вниз. При переходе с прямого участка, где радиус равен бесконечности, на круговую кривую, где радиус имеет то или иное конечное значение, возникает центробежная сила, направленная радиально наружу, под действием которой автомобиль испытывает боковой толчок.

Для устранения этого толчка необходимо, чтобы центробежная сила нарастала постепенно [8].

Для обеспечения безопасного и плавного въезда в круговую кривую малого радиуса и выезда из кривой последние сопрягают с прямыми участками трассы посредством переходных кривых. Переходная кривая – это малая часть клотоиды, радиус кривизны которой изменяется от бесконечности (прямая линия) в начале до радиуса круговой кривой на расстоянии L (длина переходной кривой).

Клотоидой называется математическая кривая в форме радиоидальной спирали, радиус кривизны которой непрерывно изменяется от $R = \infty$ в начальной точке до $R = 0$ в бесконечном удалении от начала кривой (рис. 2.40).

Уравнение клотоиды обычно представляют в параметрическом виде [8]:

$$C = A^2 = RL, \quad (2.61)$$

где A – параметр клотоиды;

R – радиус кривизны на расстоянии L от начала клотоиды, м;

L – длина клотоиды (отрезка клотоиды, длина переходной кривой), м.

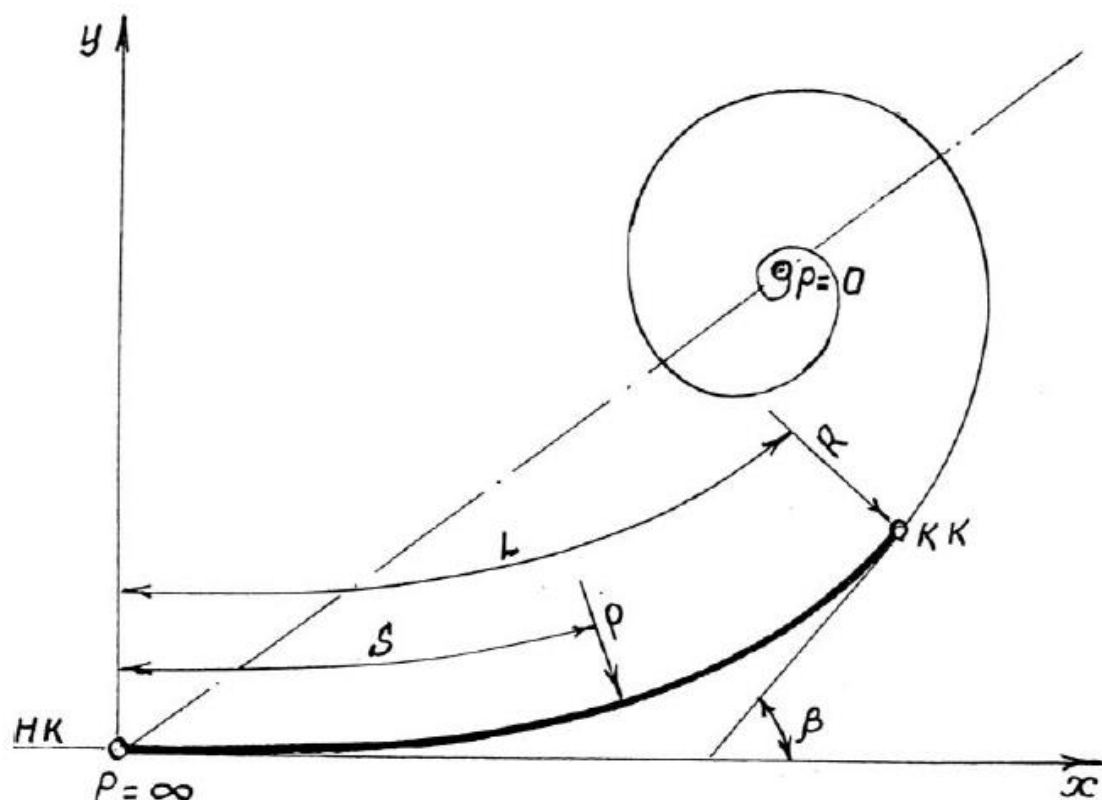


Рис. 2.40. Клотоида (переходная кривая)

Наименьшая длина переходной кривой (рис. 2.41) определяется из условия безопасного движения с расчетной скоростью и равномерного нарастания центробежной силы в пределах переходной кривой, по зависимости [8]

$$L = \frac{V_p^3}{47JR}, \quad (2.62)$$

где V_p – расчетная скорость движения для дороги соответствующей категории, км/ч;

R – радиус круговой кривой, м;

J – допускаемая скорость нарастания центробежного ускорения, м/с³, принимают в пределах 0,3–1,0 м/с³ (для дорог высоких категорий – меньшее значение, низких – большее).

Расчетную длину переходной кривой сравнивают с нормативной (табл. 2.3) и большее из них принимают для дальнейших расчетов (принятую длину рекомендуется увеличить в 1,5–2,0 раза).

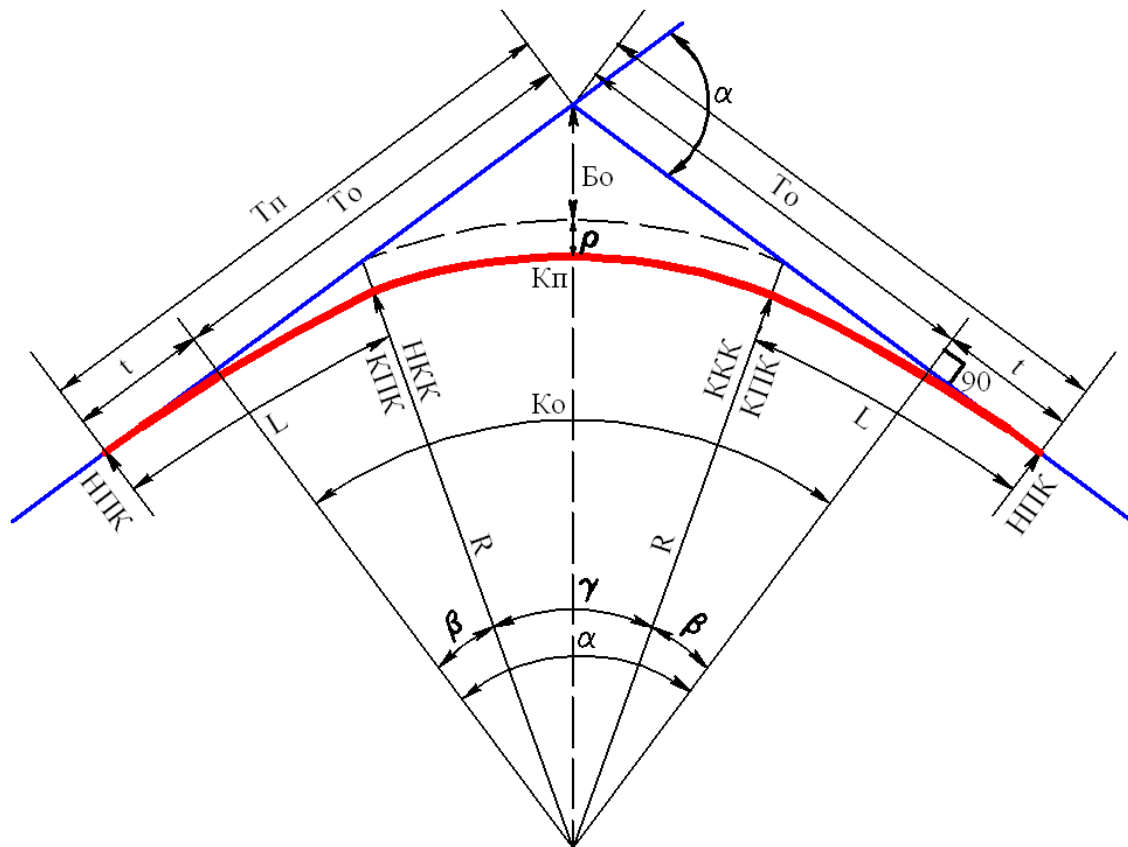


Рис. 2.41. Схема элементов переходной кривой, сопряженной с круговой кривой

Таблица 2.3

Нормативная длина переходной кривой в зависимости от радиуса круговой кривой

Радиус круговой кривой, м	30	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	600–1000	1000–2000
Длина переходной кривой, м	30	35	40	45	50	60	70	80	80	100	110	120	100

Разбивка переходной кривой по клотоиде необходима для определения следующих показателей [8]:

- возможности разбивки по клотоиде;
- величины смещения (сдвижки) круговой кривой во внутреннюю сторону закругления;
- нового пикетажного положения с учетом смещения (сдвижки) круговой кривой во внутреннюю сторону закругления;
- общей длины трассы с учетом сдвижки круговой кривой во внутреннюю сторону закругления.

Разбивка по клотоиде возможна при условии [8]

$$\alpha_{\min} = 2\beta < \alpha, \quad (2.63)$$

где β – угол, составленный касательной к концу переходной кривой и осью абсцисс, рад (1 рад = 180/π), определяется по зависимости

$$\beta = L / 2R. \quad (2.64)$$

Величина смещения (сдвижки) круговой кривой во внутреннюю сторону закругления и тангенс переходной кривой (см. рис. 2.41) определяются по зависимостям [8]

$$p = y_0 - R(1 - \cos \beta), \quad (2.65)$$

$$t = x_0 - R \sin \beta, \quad (2.66)$$

где x_0 – конечная абсцисса переходной кривой;
 y_0 – конечная ордината переходной кривой.

Вследствие небольшой длины переходных кривых их детальную разбивку производят обычно способом прямоугольных координат от тангенса (прил. 6, 7).

Особенность в том, что круговой элемент сложной кривой разбивают совместно с переходной. Чаще всего детальную разбивку всей сложной кривой производят от точки начала переходной кривой (начало координат), которую принимают за единое целое, производя разбивку закругления непрерывно без деления на круговую и переходные кривые.

На этом принципе составлено большинство таблиц, с помощью которых по значению радиуса круговой кривой и интервалу разбивки выбирают значения x_0 и y_0 , необходимые для осуществления деталь-ной разбивки [6].

Для определения координат в прямоугольной системе используют таблицы Ксенодохова или можно пользоваться тремя первыми членами следующих математических зависимостей [8]:

$$x_0 = S - \frac{S^5}{40C^2} + \frac{S^9}{3456C^4}, \quad (2.67)$$

$$y_0 = \frac{S^3}{6C} - \frac{S^7}{336C^3} + \frac{S^{11}}{42240C^5}, \quad (2.68)$$

где S – текущая (переменная) длина переходной кривой, м.

Новые элементы круговой кривой определяют по следующим зависимостям [8]:

$$R_0 = R + p, \quad (2.69)$$

$$T_0 = (R + p) \operatorname{tg} \alpha / 2, \quad (2.70)$$

$$B_0 = (R + p) (\sec \alpha / 2 - 1), \quad \sec \rightarrow 1 / \cos \alpha / 2, \quad (2.71)$$

$$K_0 = (\pi R_0 \gamma) / 180^\circ, \quad (2.72)$$

где γ – центральный угол оставшейся части круговой кривой (γ , град), определяемый по зависимости

$$\gamma = \alpha - 2\beta. \quad (2.73)$$

Тогда

$$T_n = T_0 + t, \quad (2.74)$$

$$B_n = B_0 + p, \quad (2.75)$$

$$K_n = 2L + K_0, \quad (2.76)$$

$$D_n = 2T_n - K_n. \quad (2.77)$$

Пикетажное положение начала *НЗ* и конца закругления *КЗ* определяется по зависимостям [8]

$$НЗ = ВУ - T_n, \quad (2.78)$$

$$КЗ = НЗ + K_n. \quad (2.79)$$

Контролем разбивки сложной кривой является совпадение разбиваемых точек с имеющимися пикетажными, а также получение точки середины круговой кривой с двух ветвей закругления.

Пример

Дано: категория дороги – III, радиус круговой кривой $R = 1500$ м, угол поворота $\alpha = 27^\circ 00'$, вершина угла поворота *ВУ – ПК 8 + 75*.

Необходимо определить координаты точек и основные элементы переходной кривой, сопряженной с круговой кривой.

Координаты точек (см. прил. 7) и основные элементы переходной кривой, сопряженной с круговой кривой, определяются по зависимостям (2.61) – (2.79).

$$C = 1500 \cdot 160 = 24000 \text{ м.}$$

$$L = \frac{100^3}{47 \cdot 0,5 \cdot 1500} = 28,37 \text{ м.}$$

$$\beta = \frac{160}{2 \cdot 1500} = 0,05 \text{ рад или } \beta = 0,05 \cdot 57,3 = 3^\circ 03'.$$

$$x_0 = 160 - \frac{160^5}{40 \cdot 240000^2} + \frac{160^9}{3456 \cdot 240000^4} = 159,54 \text{ м.}$$

$$y_0 = \frac{160^3}{6 \cdot 240000} - \frac{160^7}{336 \cdot 240000^3} + \frac{160^{11}}{42240 \cdot 240000^5} = 2,82 \text{ м.}$$

$$p = 2,82 - 1500(1 - \cos 3^\circ 03') = 0,71 \text{ м.}$$

$$t = 159,54 - 1500 \sin 3^\circ 03' = 79,99 \text{ м.}$$

$$R_0 = 1500 + 0,71 = 1500,71 \text{ м.}$$

$$T_0 = (1500 + 0,71) \operatorname{tg} \frac{27^\circ 00'}{2} = 360,12 \text{ м.}$$

$$B_0 = (1500 + 0,71) \left(\sec \frac{27^\circ 00'}{2} - 1 \right) = 42,64 \text{ м.}$$

$$K_0 = \frac{(3,14 \cdot 1500 \cdot 20^\circ 54')}{180^\circ} = 549,50 \text{ м.}$$

$$\gamma = 27^\circ 00' - 2 \cdot 3^\circ 03' = 20^\circ 54'.$$

$$T_n = 360,12 + 79,99 = 440,11 \text{ м.}$$

$$B_n = 42,64 + 0,71 = 43,55 \text{ м.}$$

$$K_n = 2 \cdot 160 + 549,50 = 869,50 \text{ м.}$$

$$D_n = 2 \cdot 440,11 - 869,50 = 10,72 \text{ м.}$$

$$HЗ = 875,00 - 440,11 = 434,89 \text{ м.}$$

$$KЗ = 434,89 + 869,50 = 1301,52 \text{ м.}$$

2.3.4. Вертикальные кривые

При проектировании продольного профиля в точках перелома вписывают вертикальные кривые параболического очертания, представляющие собой геометрическое место векторных точек, уклон которых изменится по уравнению параболы.

Векторной условно называют точку, через которую проектная линия может быть проложена не в любом направлении, а в строго определенном с заранее заданным уклоном. Иначе говоря, касательная к вертикальной кривой в каждой точке имеет один строго заданный уклон, численная величина которого зависит от радиуса кривой и изменяется постепенно.

Чем больше радиус параболической кривой, тем медленнее изменяются уклон и координаты векторных точек, а проектная линия становится более плавной, следовательно, безопасной [8].

Векторная точка, в которой касательная к кривой имеет уклон $i = 0$, является вершиной (центром) кривой (рис. 2.42).

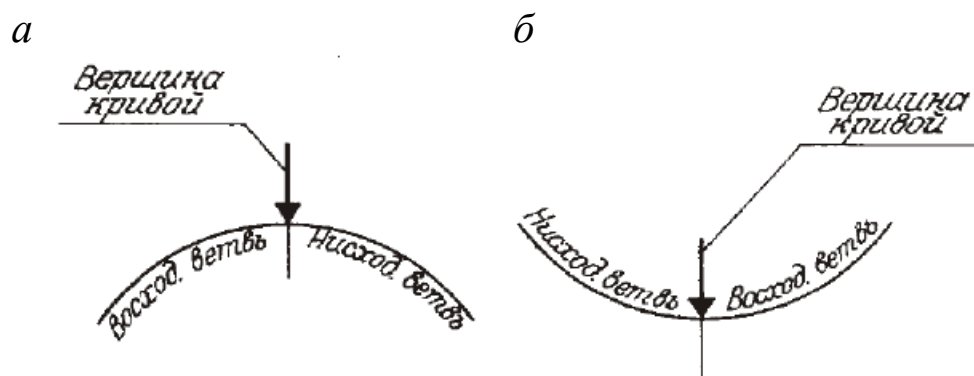


Рис. 2.42. Схема нисходящих и восходящих ветвей кривых:
а – выпуклая кривая; б – вогнутая кривая

Кривые параболического очертания могут быть выпуклые и вогнутые. Наименьшие радиусы вертикальных выпуклых кривых установлены в зависимости от категории дороги в пределах от 600 до 25 000 м, а вогнутых – от 200 до 8 000 м [8].

Расчет отметок промежуточных точек производят с использованием таблиц для разбивки вертикальных кривых.

При расположении начала координат в вершине кривой координаты параболической кривой связаны уравнением [8]

$$Y = X^2 / 2R, \quad (2.80)$$

где X и Y – координаты параболы, м;

R – радиус кривизны, м.

В дорожном проектировании принято допущение о равенстве длины элемента профиля его горизонтальной проекции (на рис. 2.43 отрезок кривой $MO = l$), поэтому для привязки вертикальной кривой в продольном профиле пользуются уравнением [8]

$$h = i^2 / 2R, \quad (2.81)$$

где h – превышение вершины параболической кривой над любой (произвольно взятой) точкой M в пределах этой кривой, м;

i – уклон в любой (произвольно взятой) точке M в пределах этой кривой, ‰.

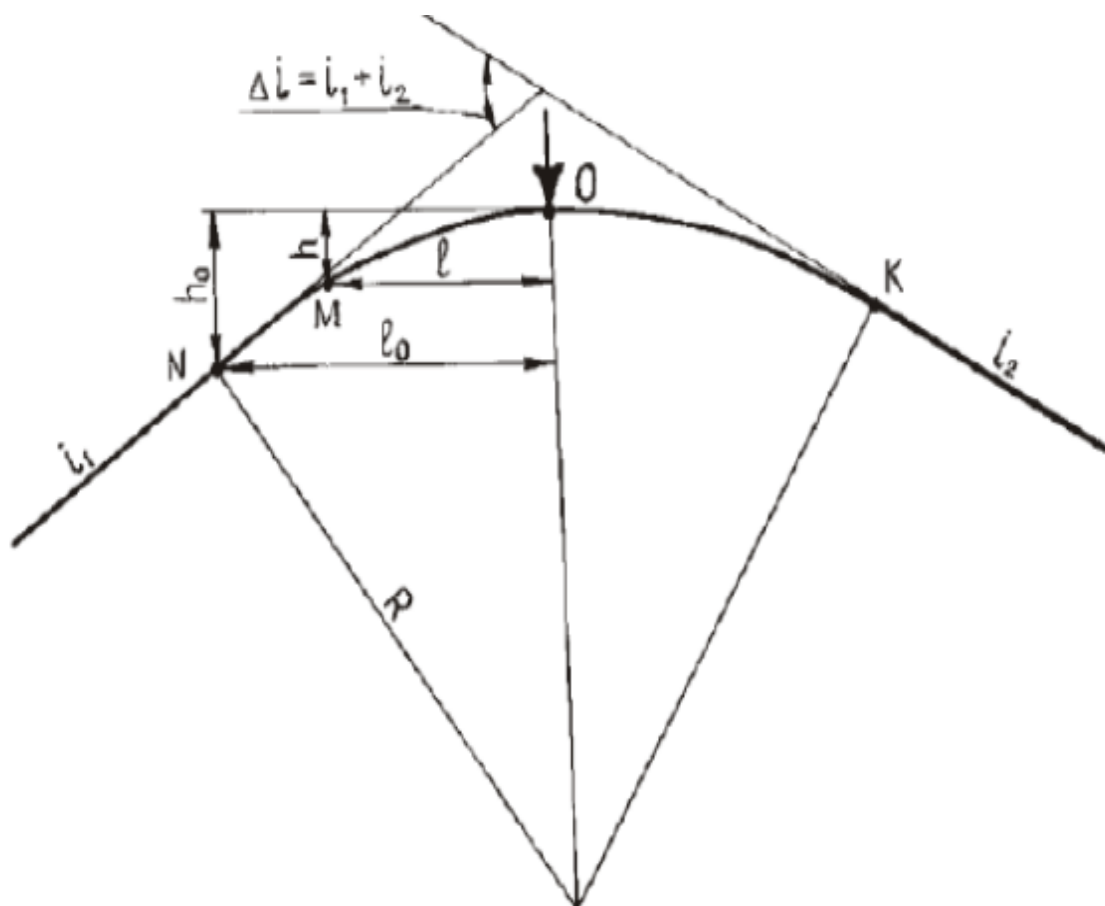


Рис. 2.43. Расчетная схема параболической кривой (выпуклая кривая)

Расстояние между двумя любыми точками параболической кривой (см. рис. 2.43) с уклонами i_2 и i_1 определяется по зависимости [8]

$$L = (i_2 - i_1) R, \quad (2.82)$$

где i_2 – уклон точки, расположенной справа от вершины кривой, доли ед.;

i_1 – уклон точки, расположенной слева от вершины, доли ед.

Контрольные вопросы

1. Что такое геодезия?
2. Что значит инженерная геодезия?
3. Какие методы использует инженерная геодезия?
4. Что принимают за форму Земли?
5. Что значит исходная уровненная поверхность?
6. Что необходимо для определения положения точки, находящейся на физической поверхности Земли относительно исходной уровненной поверхности?
7. Что означает в геодезии метод проекций?
8. Какими бывают высоты и их характеристика?
9. От чего ведется счет абсолютных высот в нашей стране с 1946 г.?
10. Что значит нивелирование?
11. Что такое топографические условные знаки и масштабы?
12. Что делают для облегчения чтения топографических карт?
13. Что такое горизонталь?
14. В чем заключается прямая и обратная геодезические задачи?
15. Что входит в состав инженерных изысканий?
16. Из каких операций состоят геодезические работы, связанные с проложением трассы на местности?
17. Назовите и дайте краткую характеристику работам подготовительного периода.
18. Назовите и дайте краткую характеристику основным видам криволинейных сопряжений.

Глава 3

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Планировочными работами заканчивается комплекс действий по возведению земляного полотна. От точности выполнения этого вида работ зависят соответствие натурных очертаний полотна его проектным параметрам и качество профиля вышележащих слоев дорожной одежды.

3.1. Устройство земляного полотна и дорожной одежды

Разбивочные и контрольные работы строительного периода выполняют более тщательно в целях недопущения фактических отклонений больше допустимых значений, регламентированных нормами СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги» [12]. Основные нормативные требования, которые надлежит выполнять и контролировать при сооружении земляного полотна, методы контроля, приведены в прил. 8.

Виды и методика выполнения работ [8]

1. Нельзя забывать, что перед началом планировочных работ осуществляют инструментальное восстановление оси и бровок земляного полотна, определение отметок полотна и установку плановых и высотных разбивочных знаков, необходимых для производства и контроля выполнения планировочных работ.

2. Выполнение одного из основных видов работ – восстановление оси – необходимо для нахождения ее проектного положения на подготовленном для планировочных работ земляном полотне. Вынесенную и закрепленную кольями ось дороги в дальнейшем используют для отложения от нее проектных параметров полотна, разбивки створов для прохода планирующих механизмов, а также фиксирования проектного продольного профиля. В равнинной местности при невысоких насыпях и неглубоких выемках положение точек оси получают отложением соответствующих расстояний от выносных точек закрепления по створу поперечника. В местах закрепления оси способом угловых засечек восстановление осевых точек осуществляют

отложением соответствующих углов от створа базиса закрепления. При использовании двух теодолитов устанавливают вешки или кольца на пересечении их визирных осей. При использовании одного теодолита после отложения одного из углов по направлению полученной линии визирования в пределах земляного полотна укладывают рулетку. Затем переставляют теодолит на вторую точку базиса, откладывают соответствующее значение угла и перемещением вешки вдоль рулетки устанавливают ее на пересечении с визирной линией. Значения откладываемых углов выбирают из журнала разбивочных работ. Аналогично восстанавливают осевые точки на криволинейных участках полотна.

3. Особенность выполнения работ на прямолинейных участках трассы в том, что положение промежуточных осевых точек фиксируют примерно через 50 м створным вешением с помощью теодолита между выставленными точками оси. Аналогичное вешение производят по коротким расстояниям между вершинами углов поворота и точками в местах нулевых работ.

4. В отличие от прямолинейных участков на криволинейных участках трассы восстанавливают положение главных точек кривых и точек круговой кривой через двухсотметровые интервалы. Положение промежуточных точек между ними получают одним из способов детальной разбивки кривых.

5. После восстановления на полученных точках оси забивают кольца. Положение бровок полотна на насыпях получают отложением величин $B/2$ по перпендикуляру к оси. В выемках по этому же направлению откладывают величину $B/2 + c$. Для определения положения границ откосов выемок и насыпей с помощью рулетки от выносных точек закрепления откладывают соответствующие расстояния, взятые из журнала разбивочных работ. Восстановление бровок полотна и границ откосов необходимо для разбивки линий движения откосопланировочных машин.

6. Необходимо помнить, что продольный профиль земляного полотна фиксируют деревянными или металлическими кольями в устанавливаемых точках оси и бровок, устанавливая их верх на проектные отметки профиля. Для этой цели используют вешки-визирки, которые закрепляют на откосе на расстоянии до 1,5 м от бровки полотна.

7. Особенность в том, что отметки земляного полотна определяют нивелированием из середины с удалением рейки от инструмента не более чем на 100 м. Нивелирные ходы должны начинаться

и заканчиваться на реперах трассы. Независимо от кривизны земляного полотна в плане и профиле отметки на каждую осевую точку, на точки бровок, а также на горизонтальные планки вешек-визирок передают геометрическим нивелированием через значение горизонта инструмента путем вычисления соответствующего отсчета по рейке.

8. Если в процессе выполнения планировочных работ произошло смещение или уничтожение кольев, их положение на линиях с однообразным уклоном может быть восстановлено способом наклонного луча визирования с применением теодолита или нивелира. Для этого на одной из точек с вынесенными проектными отметками устанавливают нивелир, а на другой – рейку. Трегер нивелира фиксируют с таким расчетом, чтобы один из подъемных винтов был расположен по створу разбивки.

9. После приведения нивелира в рабочее положение подъемным винтом наводят горизонтальную нить сетки на отсчет по рейке, равный высоте инструмента. Полученная линия визирования будет параллельной проектному профилю. Кол закрепляют на проектной отметке, забивая его до тех пор, пока отсчет по рейке, установленной на его верхнем срезе, не будет равен значению высоты инструмента.

При выполнении работ вместо рейки можно применять вешку-визирку с горизонтальной планкой, закрепленной от ее пятки на высоте, равной значению высоты инструмента.

Этот же способ применим для определения величин срезок или досыпок в нивелируемых точках. Для этого в каждой точке берут отсчеты O_n , а искомую величину срезки или досыпки h' определяют по зависимости [8]

$$h' = O_n - v, \quad (3.1)$$

где v – высота прибора, м.

В случае отсутствия второй точки с известной отметкой визирную ось теодолита устанавливают по величине угла наклона. При использовании нивелира вычисляют величину смещения r визирной оси по следующей зависимости [8]:

$$r = id, \quad (3.2)$$

где i – проектное значение выносимого уклона, доли ед.;

d – расстояние до нивелирной рейки, м.

Сместив визирную ось от горизонтального положения на величину r , получают ее положение, параллельное проектному уклону.

Методика выполнения работ по планировке земляного полотна и его откосов [8]

1. Планировку земляного полотна, как правило, производят, используя бульдозеры с поворотным отвалом. При этом движение бульдозера в плане ориентируют по кольям оси и бровок, а высотное положение отвала определяется машинистом визуально по горизонтальным планкам двух впереди стоящих визирок с помощью ходовой визирки, установленной на отвале бульдозера.

2. При выполнении работ автогрейдером контроль создания поперечного уклона и планировки земляного полотна осуществляют с помощью вешек-визирок. Для этого на поперечниках в местах установки осевых кольев и на обоих откосах закрепляют вешки-визирки, при этом горизонтальные планки располагают на 1,5 м выше проектной отметки верха полотна.

3. Затем визирки вешек понижают на следующую величину [8]:

$$\delta = i \left(\frac{B}{2} + r \right), \quad (3.3)$$

где i – величина поперечного уклона полотна, доли ед.;

r – расстояние от бровки полотна до места установки визирки, м.

4. Необходимо помнить, что перед началом планировочных работ отвал автогрейдера наклоняют в поперечном направлении под необходимым уклоном i по показаниям его уклономера. В процессе работы после каждого прохода автогрейдера контролируют планировку с помощью двух ходовых реек высотой 1,5 м, одну из которых устанавливают на осевой кол, а вторую – в контролируемом месте земляного полотна. Аналогичный контроль осуществляется не только в поперечном, но и в продольном направлении. При этом проверку пикетных и плюсовых точек проводят геометрическим нивелированием, а промежуточных точек – по вешкам-визиркам.

5. Контроль планировки вертикальных кривых осуществляют путем установки вешек-визирок через 20 м на выпуклых кривых и через 10 м на вогнутых.

6. Рациональным является также способ контроля планировочных работ по специальным деревянным или металлическим двухцветным кольям. Верхнюю часть кола (высотой 30 см) окрашивают в белый

цвет, оставшуюся часть – в черный или красный. При этом способе по оси и бровкам полотна с интервалом в 20 см выставляют такие колья с расчетом, чтобы их верхний срез был расположен на 30 см выше проектной отметки в месте их установки.

По величине превышения границы раздела окраски кола над фактической поверхностью земли определяют величину срезки или отсыпки. На торец отвала автогрейдера (рис. 3.1) в верхней его части подвешивают жесткий металлический флажок, вращающийся на оси. При этом высота флажка и кола от границы окраски должна быть в сумме равна высоте отвала автогрейдера.

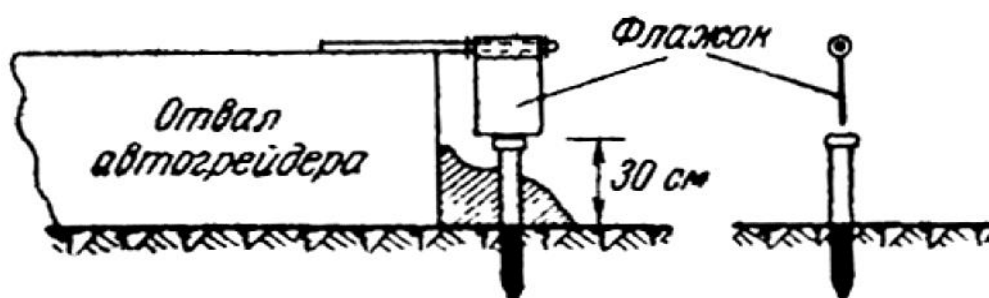


Рис. 3.1. Планировка полотна с контролем по кольшкам

Если не используется АСУ (автоматизированная система управления отвалом), при прохождении автогрейдером расстояния от низа флажка до верха кола машинист контролирует величину срезки или досыпки планируемой поверхности. Устанавливаемые колья используют не только для высотного контроля, но и для ориентирования движения машины в плане. Планировку начинают с прохода по осевым кольям и заканчивают по кольям, установленным на бровках. Излишний грунт сбрасывают под откос.

7. Если не используется АСУ, контроль планировки осуществляют с помощью нивелира и визирки, помещаемой на отвале автогрейдера. Нивелир устанавливают над точкой с известной отметкой, его визирной оси придают проектное значение уклона. К отвалу автогрейдера крепят вешку-визирку, горизонтальную планку которой закрепляют от режущей плоскости отвала на уровне, равном высоте установки нивелира. Движение автогрейдера осуществляют только в сторону нивелира. Визируя на горизонтальную планку вешки, наблюдатель у прибора с помощью флажков передает информацию машинисту автогрейдера о высотном положении отвала относительно планируемой поверхности.

8. При производстве планировочных работ, кроме АСУ, можно использовать систему ПУЛ (прибор управления лучом). Вначале выполняют плановое и высотное восстановление оси с интервалом до 450 м, что соответствует длине сменной захватки планировочных машин. Восстановление осуществляют существующими способами и инструментами от выносных точек закрепления и реперов трассы. Разбивку бровок земляного полотна не производят, так как они автоматически ограничиваются в процессе дальнейшей отделки полотна (при планировке откосов в насыпи и нарезании кюветов в выемке). Кроме того, отпадает необходимость в определении отметок полотна продольным нивелированием, забивке кольев на проектные отметки и установке вешек-визирок. При использовании системы ПУЛ проектную отметку верха полотна передают на осевые кольца только в местах установки направляющей станции.

9. Помимо использования АСУ, контроль продольного профиля полотна осуществляют системой ПУЛ, направляющую станцию которой устанавливают на земляном полотне, а приемную – на автогрейдер, приспособленном для работы с этой системой.

10. При планировке откосов насыпей и выемок используют автогрейдер или бульдозер с навесным оборудованием, специальный откосопланировщик с поворотным удлинителем отвала длиной 4,2 м, планировочный ковш на стреле экскаватора, а также экскаватор-драглайн.

11. Особенность планировки откосов невысоких насыпей и неглубоких выемок (до 4 м) заключается в том, что их планируют в два этапа: вначале верхнюю часть откоса с опущенным вниз откосопланировщиком, затем нижнюю с поднятым откосопланировщиком. Положение планирующего оборудования на откосе проверяют контрольным шаблоном или по уклономеру, установленному на рабочем органе машины. Как правило, нарезание откосов совмещают с планировкой земляного полотна или осуществляют вслед за выполнением основных планировочных работ.

12. Планировку откосов высоких насыпей и глубоких выемок производят планировочными ковшами или драглайном после нарезки автогрейдером или бульдозером верхней и нижней частей откосов.

13. Для правильной верховой проходки автогрейдера с откосопланировщиком на насыпи по оси его движения выставляют вешки направления, первую из которых устанавливают на расстоянии до 100 м от начала движения машины, а другую – в 20–30 м от нее.

14. Для разбивки земляного полотна используют сохранившиеся кольца оси и бровок, а также вешки-визирки на откосах. Вешки направления устанавливают с таким расчетом, чтобы они находились от бровки полотна на расстоянии, равном половине ширины следа захвата отвала автогрейдера, после установки вешек направления вешки-визирки с откосов снимают.

15. При производстве данного вида работ для ориентирования движения автогрейдера к его раме по направлению продольной оси вертикально приваривают два металлических стержня диаметром 8–10 мм и длиной 0,6–1,0 м. Ориентируясь по створу линии, водитель автогрейдера направляет машину на вешки направления, которые по мере продвижения автогрейдера переставляют. При этом верховой откос полотна и граница бровки нарезаются параллельно линии движения автогрейдера.

16. Особенность производства работ в том, что для низовой проходки автогрейдера при высоте насыпи до 4 м разбивку линии движения не делают, так как происходит взаимное перекрытие планируемых откосов с верховой и низовой сторон. В этом случае отвал автогрейдера с удлинителем устанавливают по уклономеру под требуемым углом наклона и при движении машины ориентируют верхним концом вдоль откоса, нарезанного с верховой проходки.

17. Необходимо отметить тот факт, что при высоте насыпи более 4 м разбивку и планировку верховой проходки осуществляют аналогично, а для низовой стороны устанавливают кольца через 20 м с полевой стороны по линии движения колес или торца отвала автогрейдера. Разбивку производят от сохранившихся точек границ откосов насыпи. При отсутствии сохранившихся точек границ откосов расстояние до линии движения торца или колес автогрейдера рассчитывают и откладывают от выносных точек закрепления оси земляного полотна.

18. При выполнении работ для ориентирования движения бульдозера с откосопланировщиком с верховой стороны насыпи устанавливают кольца на линии движения торца отвала или наружной стороны гусениц по расстояниям, откладываемым от оси полотна с интервалом до 20 м.

Аналогично проведению работ по устройству земляного полотна и дорожной одежды (при соблюдении норм и регламентов, соответствующих нормам и требованиям) выполняют работы по разбивке верхнего строения автомобильной дороги (СП 34.13.13300–2021) [12].

3.2. Разбивка верхнего строения автомобильной дороги и автоматизация управления строительными процессами

Следующий этап производства работ заключается в том, что на возведенном земляном полотне выполняют детальную разбивку для строительства верхнего строения автомобильной дороги (дорожной одежды).

Дорожная одежда возводится на подготовленный рабочий слой земляного полотна, являющегося естественным основанием.

В общем виде дорожная одежда устраивается из следующих материалов:

- а) искусственного основания (песка, гравия, гравийно-песчано-щебенистых или песчано-гравийно-щебенистых смесей);
- б) несущего слоя (бетон, камень, щебень, черный щебень);
- в) покрытия (асфальтобетонная и цементобетонная смеси).

Общая толщина дорожной одежды может составлять от 32 до 90 см (в зависимости от категории дороги).

На подготовленном рабочем слое земляного полотна намечают по теодолиту ось дороги и кромки проезжей части, обращая особое внимание на тщательность разбивки криволинейных участков дороги. Одновременно с плановой разбивкой при помощи нивелира устанавливают эти точки на уровень проектной высоты верха покрытия или несущего слоя.

Для более качественного выполнения работ такие поперечные профили разбивают на всех пикетах, переломах продольного профиля и плюсовых точках примерно через 20 м на прямолинейных участках и через 10 м на кривых.

Полученные при разбивке точки служат плановой и высотной основой для укладки камня или для установки опалубки при бетонировании дороги. В случае применения бетоноукладывающих машин в качестве опалубки укладывают рельсовые направляющие (рельс-формы).

Плановая разбивка точек для более качественного выполнения работ производится со средней точностью от 3 до 5 мм, высотная – от 2 до 3 мм.

Механизированные и автоматизированные методы производства строительных работ требуют использования специальных геодезических приборов и устройств, позволяющих производить разбивочные

работы и вынос проекта в натуру, элементы которых соединены с управляющими устройствами рабочих органов дорожно-строительных машин и механизмов.

При этом для автоматизации процессов производства строительных работ используют такие приборы и устройства, которые обеспечивают непрерывную установку рабочих органов дорожно-строительных машин и механизмов в такое положение, при котором они строго следуют по заданному направлению, уклону и на проектной высоте.

Необходимо отметить тот факт, что в настоящее время в практике строительства автомобильных дорог и сооружений на них нашли применение несколько методов управления работой машин и механизмов [8].

1. Системы копирования:

а) основная идея применения систем копирования параллельно проектной поверхности (с использованием геодезических приборов – нивелиров, теодолитов и т. д.) в том, что устанавливают натянутую копирную струну, по которой движется соединенный с дорожно-строительной машиной датчик, преобразующий в электрические сигналы отклонение рабочего органа машины от заданного положения;

б) далее электрические сигналы воздействуют на механизмы управления рабочими органами машин и механизмов, возвращая их в проектное положение (для планирования земляного полотна в отечественной практике дорожно-строительных работ по копирной струне используют систему автоматического геодезического управления работой отвала автогрейдера);

в) при этом для стабилизации рабочего отвала автогрейдера в продольном направлении используют датчик, устанавливаемый в подъемном устройстве отвала и контролирующей положение отвала по высоте через щуп относительно натянутой в заданном направлении копирной струны (система имеет также стабилизатор отвала в поперечном направлении).

2. Система продольного уклона:

а) основа работы данной системы в том, что лыжа скользит по спланированной поверхности земляного полотна;

б) при этом электрические сигналы (передающиеся от датчика уклона) фиксируют отклонение рабочего органа машины от заданного положения, воздействуют на механизмы управления, устанавливают его в проектное положение.

3. Системы сравнения толщины слоя (используют при планировочных работах и разработках выемок автомобильных дорог):

а) особенность данных систем в том, что на удлиненной базе землеройной машины (бульдозера, автогрейдера или скрепера) размещены две лыжи, одна из которых следует по естественному грунту перед ножом отвала, а другая – по уже спланированной поверхности сзади машины;

б) суть работы системы в том, что с помощью датчиков корректируется положение планирующей части машины и таким образом автоматически обеспечивается нужная толщина снимаемого слоя грунта.

4. Лазерные системы:

а) данные системы особенно эффективны при планировке участков местности большой площади (например, городские площади, аэродромы и т. д.) и обеспечения одновременного контроля и управления работой многих землеройных машин и механизмов. Применяют лазерные системы (нивелиры), создающие опорные световые горизонтальные, вертикальные или наклонные плоскости, а также импортные лазерные системы;

б) основа работы системы в том, что при контроле продольного профиля послойной отсыпки насыпи с помощью прибора управления лазерным лучом используют следующий порядок:

– направляющую станцию устанавливают над осевой точкой с таким расчетом, чтобы горизонтальная ось прожектора (его РСЗ – горизонтально расположенная равносигнальная зона) была выше проектной отметки слоя отсыпки на величину от 1,0 до 1,6 м;

– осуществляют вращение корпуса прожектора вокруг вертикальной оси, по визире совмещают границу раздела светофильтров с осевой вехой трассы, расположенной на расстоянии до 500 м от направляющей станции;

– произведя фиксацию шкалой барабанчика проектного значения уклона, микрометрическим винтом корпуса прожектора приводят пузырек уровня в нуль-пункт, чем достигают наклона РСЗ луча под требуемым уклоном i . Такая установка направляющей станции позволяет контролировать продольный профиль, а также ширину земляного полотна путем промеров от «видимой оси», которую обозначит на местности граница раздела светофильтров прожектора.

Методика и особенность выполнения работ при контроле разравнивания грунта земляного полотна и рабочего слоя земляного полотна с использованием прибора управления лазерным лучом (ПУЛ-3) [8]

1. Первый шаг – фотоприемник приемной станции крепят к штанге, приваренной к одному из торцов отвала бульдозера на высоте от его режущей части, равной высоте горизонтальной оси прожектора над проектной отметкой контролируемого слоя в точке стояния направляющей станции.

2. Второй шаг – отвал бульдозера поворачивают под необходимым углом захвата и устанавливают его торец на линии движения (ось полотна) на расстоянии от 10 до 20 м от направляющей станции, а фотоприемник с помощью визира ориентируют на прожектор.

3. Третий шаг – подъемом или опусканием отвала машинист вводит фотоприемник в луч прожектора (об этом свидетельствует загорание одной из ламп пульта управления).

4. Четвертый шаг – после включения автоматической системы фотоприемник системой автоматики устанавливается в РСЗ луча и постоянно удерживается в ее плоскости.

5. Пятый шаг – при движении бульдозера грунт разравнивается в соответствии с уклоном, заданным прожектором направляющей станции. Наличие поворотного отвала бульдозера позволяет при разравнивании грунта отодвигать его излишки от оси к бровке насыпи без изменения прямолинейного движения машины.

6. Шестой шаг – при выполнении разравнивания в полуавтоматическом режиме контроль продольного профиля машинист осуществляет по сигналам цветных ламп пульта управления, корректируя положение отвала с помощью кнопок «вверх» и «вниз».

7. Седьмой шаг – для ориентирования движения машины в плане используют видимую границу раздела светофильтров, рассматривая ее по боковому зеркалу заднего вида (преобладание одного из цветов луча свидетельствует о смещении торца отвала с оси).

8. Восьмой шаг – действуя рычагами поворота, машинист устанавливает границу раздела по центру зеркала, что соответствует положению отвала на оси полотна.

9. Девятый шаг – движение бульдозера организуют по круговой схеме в обе стороны от направляющей станции. Особенность в том, что в этом случае при достижении бульдозером максимально возможного удаления (500 м) после его разворота на смежную полосу

движения вдоль оси с другой ее стороны ориентируют фотоприемник на 180° относительно вертикальной оси штанги крепления, не меняя его высоты.

10. Десятый шаг – после прохода бульдозером направляющей станции оператор по лимбу прибора поворачивает корпус прожектора на 180° и устанавливает противоположное по знаку значение проектного уклона (контроль разравнивания второй половины захватки осуществляют так же, как и первой).

Особенность производства работ при такой организации в том, что бульдозер разравнивает полосу земляного полотна, равную двойной ширине захвата его отвала, на расстоянии до 100 м. Оставшуюся площадь отсыпанного слоя разравнивают крайними проходками бульдозера без использования системы ПУЛ. При этом машинист ориентирует движение бульдозера в плане по следу смежной проходки, перекрывая ее, а положение отвала по высоте контролируют по профилю выполненного разравнивания смежной полосы. За это время увеличивают высоту прожектора на толщину слоя отсыпки (если разравниваемый слой промежуточный) или направляющую станцию переносят и устанавливают для производства работ на очередной захватке (если разравниваемый слой последний).

Контрольные вопросы

1. Какими работами заканчивают комплекс действий по возведению земляного полотна?
2. Какие плановые и высотные разбивочные работы выполняют перед началом планировочных работ?
3. Как определяют отметки земляного полотна?
4. Что делают после приведения нивелира в рабочее положение?
5. Назовите способы восстановления положения смещенных или утраченных в процессе планировочных работ кольев на линиях с однообразным уклоном.
6. Как осуществляют контроль грубой планировки земляного полотна бульдозером?
7. Что необходимо сделать перед началом планировочных работ автогрейдером?
8. Как осуществляют контроль планировочных работ автогрейдером и создания им поперечного уклона?
9. Как осуществляют контроль планировки вертикальных кривых?
10. Как осуществляют контроль при производстве планировочных работ с помощью системы ПУЛ (прибор управления лучом)?
11. Какие машины и какое контрольное оборудование используют при планировке откосов насыпей и выемок?
12. В чем особенность планировки откосов невысоких насыпей и неглубоких выемок (до 4 м)?
13. В чем особенность планировки откосов высоких насыпей и глубоких выемок (свыше 4 м)?
14. Что необходимо для ориентирования движения бульдозера?
15. Что необходимо для ориентирования движения автогрейдера?
16. Что требуют механизированные методы производства строительных работ?
17. Какие методы управления работой машин и механизмов в настоящее время нашли применение в практике строительства автомобильных дорог и сооружений на них?
18. В чем особенность методики выполнения работ при контроле разравнивания грунта с использованием прибора управления лазерным лучом (ПУЛ-3)?

Глава 4

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
И СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОЦЕССОВ НА МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДАХ**

Проложение любого линейно протяженного сооружения (дороги) через природное препятствие (крупные и малые реки, водоемы, заболоченные долины рек, глубокие овраги, горные ущелья и др.) или сооружение антропогенного происхождения (городские кварталы, функционирующие автомагистрали и железные дороги, трубопроводы большого диаметра и др.) требует строительства мостового перехода или тоннеля. Строительство любого мостового перехода невозможно без геодезических работ и геодезического сопровождения строительных процессов на мостовых переходах.

**4.1. Основы геодезических изысканий
мостовых переходов и путепроводов**

Мостовой переход является наиболее ответственной частью дороги и представляет собой комплекс инженерных сооружений, возводимый в границах разлива высоких вод (рис. 4.1).

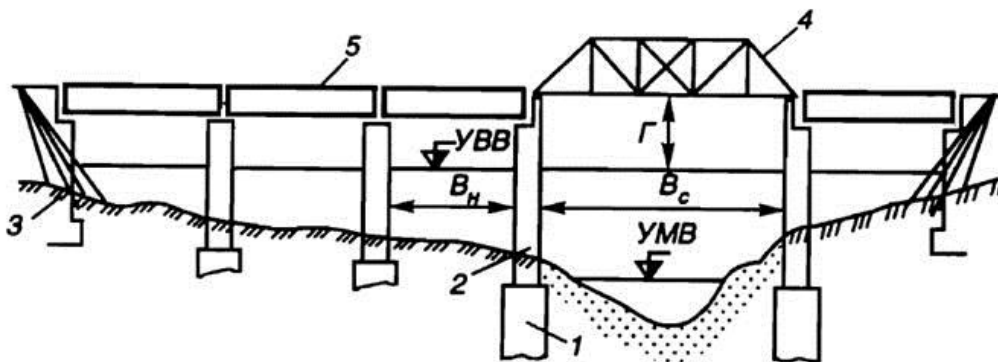


Рис. 4.1. Постоянный мост через реку:

- 1 – фундамент опоры; 2 – опора моста; 3 – береговой устой;
- 4 – металлическое пролетное строение с ездой понизу;
- 5 – железобетонное пролетное строение с ездой поверху

Мостовой переход (см. рис. 4.1) состоит из следующих элементов [20]:

- а) моста – опоры и пролетные строения;
- б) подходов к мосту – пойменные насыпи с укрепленными откосами;

в) регуляционных и защитных сооружений, используемых для плавного и безопасного пропуска водного потока (траверсы, струенаправленные дамбы).

Значение моста и подходов к нему (рис. 4.2) определяется тем, что они являются основными сооружениями транспортного назначения, по которым осуществляется движение транспортных потоков. При этом регуляционные и защитные вспомогательные сооружения являются неотъемлемой частью мостового перехода, которые обеспечивают сохранность и нормальную работу основных сооружений перехода.

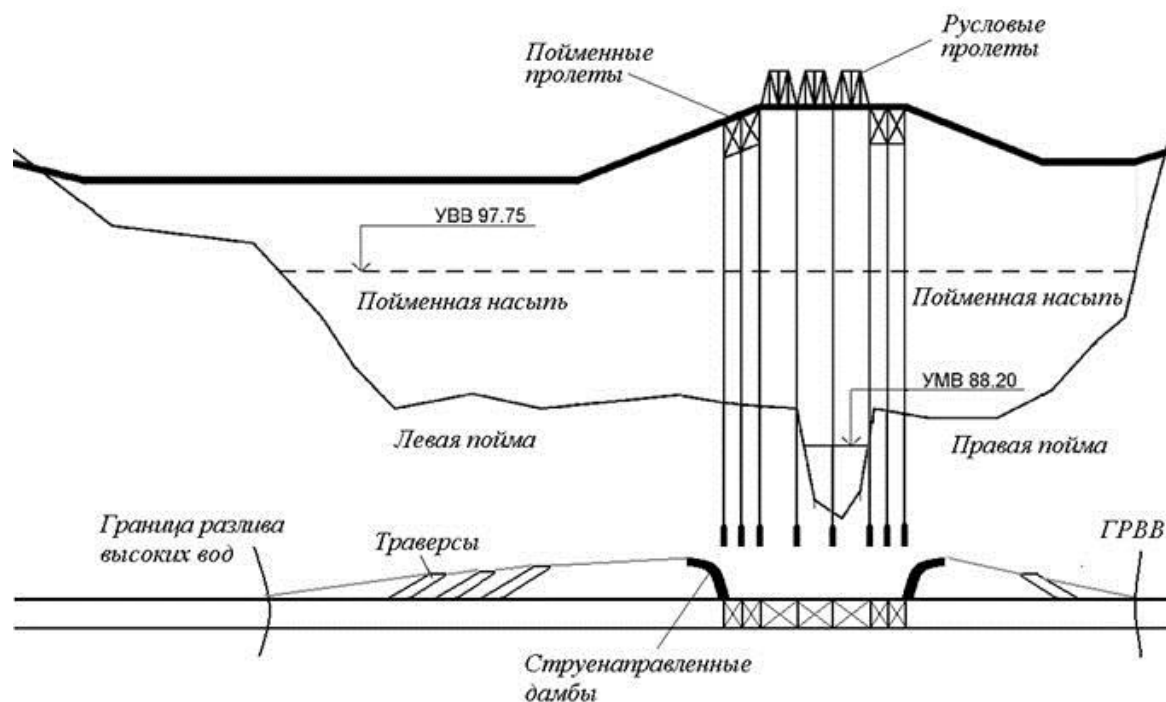


Рис. 4.2. Продольный профиль и план мостового перехода

Разработка проектов мостовых переходов невозможна без использования материалов инженерно-геодезических изысканий.

Состав изыскательских работ, масштабы, точность и объемы топографических съемок во многом зависят от стадии проектирования (ТЭО – технико-экономическое обоснование, ИП – инженерный проект, РД – рабочая документация или РП – рабочий проект).

Основной задачей является выбор оптимального места устройства мостового перехода, выполняемого на основе топографо-геодезической и геологической информации. Выбранный мостовой переход должен также хорошо увязываться с общим направлением трассы и обеспечивать наименьшее отклонение от кратчайшего направления дороги.

Особенностью является то, что для любой стадии проектирования мостовых переходов в том или ином объеме при изысканиях выполняют следующие виды основных работ [20]:

а) инженерно-геодезические работы, связанные с трассированием мостовых переходов, созданием планово-высотного обоснования съемок, выполнением теодолитных и топографических съемок, съемками продольных и поперечных профилей и т. д.;

б) гидрологические обследования, связанные со сбором материалов, характеризующих режим водотока, морфометрическими обследованиями речной долины; гидрометрические работы, заключающиеся в съемках речного дна русла, определении скоростей течения, расходов воды, уклонов свободной поверхности, характеристик руслового процесса и т. д.;

в) инженерно-геологические работы по составлению геолого-литологических разрезов, почвенно-грунтовым, гидрогеологическим обследованиям, поиску местных дорожно-строительных материалов;

г) прочие работы, связанные с обследованиями для проектирования мостовых переходов в условиях взаимодействия с другими гидротехническими сооружениями, установлением условий судоходства и лесосплава и т. д.

Нельзя забывать, что все перечисленные основные виды изыскательских работ проводят с обязательным использованием методов геодезии. Для выполнения изыскательских работ создают специализированные партии (экспедиции), укомплектованные необходимыми геодезическими приборами и другим оборудованием.

Отличительная особенность изыскания всех мостовых переходов в том, что они осуществляются в три этапа [20].

1. Подготовительный.
2. Полевой.
3. Камеральный.

Виды выполняемых работ в подготовительный период:

а) изучают перед выездом в поле имеющиеся материалы на район изысканий: топографические, гидрометеорологические, геологические, геоморфологические и экономические. В первую очередь собирают и изучают имеющиеся картографические и аэрофотосъемочные материалы на район изысканий;

б) осуществляют предварительное трассирование вариантов мостового перехода;

- в) устанавливают объемы полевых изыскательских работ;
- г) укомплектовывают изыскательскую партию (экспедицию) персоналом и оборудованием.

Особенность работ в полевой период прежде всего в том, что на первоначальном этапе выполняют топографические съемки с целью получения ситуационных и топографических планов, а также цифровой модели местности (ЦММ) в объеме, достаточном для обоснования выбора наиболее рационального створа перехода и для проектирования всех его основных сооружений (мост, подходы, регуляционные сооружения).

В тех случаях, когда имеющиеся картографические и аэрофото-съемочные материалы по объему недостаточны или уже устарели, снимают ситуационный план в масштабе не мельче 1:5 000 в пределах зоны, охватывающей все принципиальные варианты трассы мостового перехода (рис. 4.3).

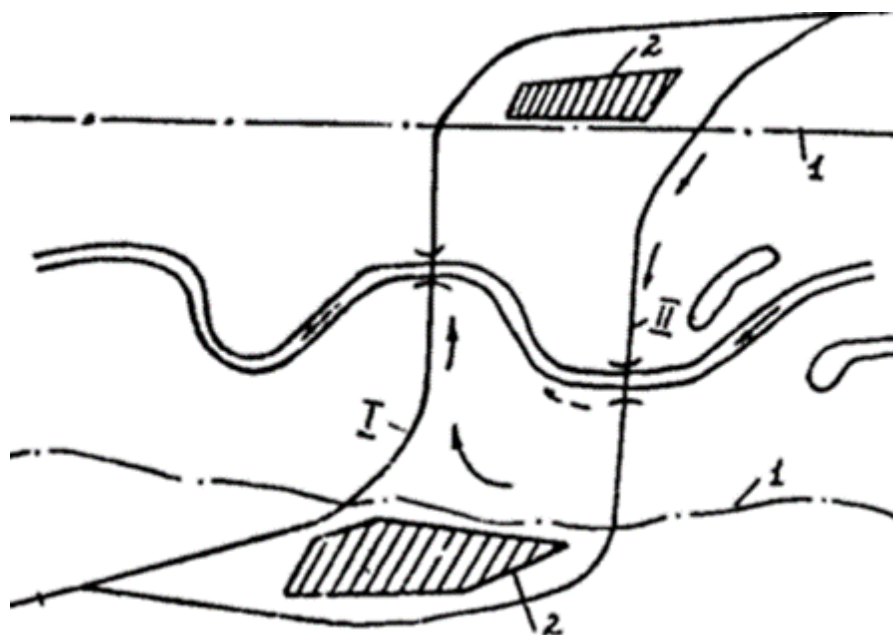


Рис. 4.3. Варианты мостового перехода:
1 – граница разлива высоких вод; 2 – населенные пункты

Основное требование и особенность съемки для ситуационного плана в том, что ее производят на всю ширину разлива реки в паводки с запасом на 200 м в стороны за линии урезов при расчетном уровне высокой воды (РУВВ). Длину участка съемки по речной долине вверх и вниз от оси каждого варианта трассы принимают не менее 1,5 ширины разлива. При сравнительно близко расположенных вариантах трассы мостового перехода снимают общий план, охватывающий все

принципиальные варианты плюс по 1,5 ширины разлива вверх и вниз по реке от крайних вариантов трассы мостового перехода.

Особенность и основное требование – на ситуационных планах фиксируют все варианты трассы мостового перехода [20]:

- а) русло реки, староречья, протоки и озера;
- б) линии границы разлива реки в паводки;
- в) населенные пункты, отдельные здания и сооружения на пойме;
- г) существующие автодорожные и железнодорожные мостовые переходы и другие гидротехнические сооружения;
- д) воздушные и подземные коммуникации, морфостворы и гидростворы, водомерные посты и т. д.

Общие ситуационные планы мостовых переходов снимают малогабаритными оптическими теодолитами (типа 2Т30, 2Т30П, 4Т30П и т. д.), электронными тахеометрами, аэрокосмическими методами или наземно-космическими методами с помощью систем спутниковой навигации GPS.

Детальную топографическую съемку для составления крупномасштабных планов и ЦММ выполняют, как правило, для окончательно установленного направления варианта мостового перехода.

Особенность и необходимость проектирования мостового перехода и подхода к нему (струенаправляющих дамб, струеотбойных траверсов, срезов пойменных берегов, спрямлений русел, берегоукреплений и т. д.) определяют размеры детальной топографической съемки. При этом необходимо учитывать расположение, размеры и техническую оснащенность строительных площадок, цементобетонных (ЦБЗ) и асфальтобетонных (АБЗ) заводов, площадок военизированной охраны (ВОХР) и других объектов.

Одна из самых сложных и трудоемких операций при съемке мостового перехода – подводная съемка. Размеры подводных съемок назначают исходя из необходимости оценки русловой ситуации в районе мостового перехода, типа и количественных характеристик руслового процесса, оценки условий судоходства и сплава.

Топографические съемки выполняют обычно в масштабах 1:2 000 для больших мостовых переходов и 1:1 000 для средних и малых мостовых переходов.

Создание съемочного обоснования предшествует и является необходимым и обязательным условием ситуационных и топографических съемок. Чаще всего съемочное обоснование мостовых переходов

создают в виде замкнутых полигонов с диагональными и при необходимости висячими ходами и микротриангуляцией (рис. 4.4).

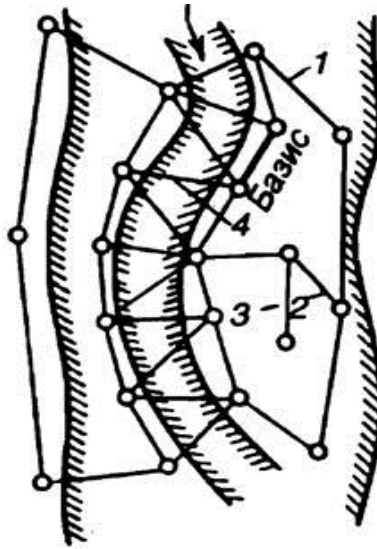


Рис. 4.4. Съемочное обоснование мостового перехода:
 1 – замкнутый полигон; 2 – диагональный ход; 3 – висячий ход;
 4 – микротриангуляция

При создании съемочного обоснования измерения горизонтальных углов ведут полным приемом с допустимой угловой невязкой, определяемой по зависимости [9]

$$f_B = \pm 1,5\sqrt{n}, \quad (4.1)$$

где n – число горизонтальных углов, шт.

Пример

Дано: число горизонтальных углов $n = 5$ шт.

Необходимо определить допустимую угловую невязку.

Допустимую угловую невязку определим из следующего выражения:

$$f_B = \pm 1,5\sqrt{5} = 3,35.$$

При создании съемочного обоснования измерение длин сторон полигона производят светодальномерами, компарированными лентами или рулетками с допустимой относительной невязкой 1:2 000.

В настоящее время (скорее всего, и в будущем) эффективным является измерение длин линий светодальномерами или электронными тахеометрами, что особенно важно в связи с необходимостью измерения неприступных расстояний через водные преграды.

При создании съемочного обоснования высоты съемочных точек, как правило, определяют геометрическим нивелированием с допустимой невязкой по зависимости [20]

$$fh = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (4.2)$$

где L – длина двойного нивелирного хода, км.

Пример

Дано: длина двойного нивелирного хода $L = 1,6$ км.

Необходимо определить допустимую невязку.

Допустимую невязку определим из следующего выражения:

$$fh = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{1,6} = 63,25 \text{ мм}.$$

Необходимым и обязательным условием является то, что привязку съемочного обоснования производят к пунктам государственной геодезической сети или чаще – к трассе мостового перехода, при этом последнюю включают в съемочное обоснование.

При создании съемочного обоснования, кроме топографической съемки планов, в состав геодезических работ при изысканиях мостовых переходов входят [20]:

а) разбивка вариантов трассы (вешение линий, закрепление трассы, разбивка пикетажа, двойное нивелирование по оси трассы, съемка поперечников);

б) разбивка морфостворов и гидростворов, необходимых для выполнения гидравлических расчетов по морфометрическим характеристикам русла и пойм, а также для производства гидрометрических работ. Разбивку морфостворов и гидростворов часто производят методом тригонометрического нивелирования;

в) съемка продольного профиля реки, на который наносят профиль дна по фарватеру, профиль свободной поверхности потока при межени и высокой воде, бровки русла по правому и левому берегам, зафиксированные точки уровней высоких и исторических паводков и т. д.;

г) геодезическое обоснование гидрометрических работ (измерение скоростей течения и расходов воды; промеры глубин; измерение траекторий судов, плотовых составов, льдин и поплавков);

д) геодезическое обоснование инженерно-геологических работ (планово-высотная привязка геологических выработок, съемки карьеров и резервов грунта);

- е) геодезические работы по обследованию существующих инженерных сооружений;
- ж) съемка пересекаемых коммуникаций.

На современном этапе при производстве геодезических работ в ходе изысканий мостовых переходов широко применяют аэрофото-съемку (аэротопографические, аэроморфометрические и аэрогидрометрические работы), наземную фотограмметрию (фототеодолитные съемки, особенно эффективные при морфометрических работах и обследовании существующих инженерных сооружений), электронную тахеометрию и наземно-космические съемки с использованием систем спутниковой навигации GPS. Эти современные методы сбора информации о местности позволяют резко повысить производительность полевых работ и максимально автоматизировать процесс камеральной обработки материалов изысканий.

Одним из наиболее ответственных и трудоемких принято считать камеральный период производства работ. В этот период ведут обработку данных полевых работ, готовят ситуационные и топографические планы, профили, ЦММ, отчеты о проведенных полевых работах.

На современном этапе в ходе камерального периода производства работ широкое использование систем автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированных систем цифровой фотограмметрии (АСЦФ), компьютерной техники и сопутствующих устройств (лазерных принтеров, графопостроителей, сканеров и других средств автоматизации) является необходимым и обязательным.

4.1.1. Состав геодезических работ на мостовых переходах и путепроводах

Наиболее ответственным и трудоемким компонентом изысканий дорог является устройство мостовых переходов.

В настоящее время мостовым переходом называют расстояние между двумя точками на оси моста, расположенными на противоположных берегах в незатопляемых местах.

При изысканиях и строительстве мостовых переходов, как правило, выполняют следующие геодезические работы [8]:

- 1) вынос и закрепление на местности продольной оси моста;
- 2) определение длины мостового перехода;

- 3) съемку района перехода, геодезическое обеспечение гидрометрических и инженерно-геологических изысканий;
- 4) высотную основу разбивки моста, передачу отметок через водотоки;
- 5) создание плановых опорных сетей;
- 6) разбивку кессонов, опускных колодцев или свай-оболочек и наблюдение за их опусканием;
- 7) разбивку центров опор;
- 8) разбивочные работы на опоре;
- 9) геодезический контроль монтажа и установки пролетных строений.

Основной проект мостового перехода разрабатывается на основе материалов комплексных изысканий, в процессе которых изучают топографические, инженерно-геологические условия района перехода и гидрологический режим реки.

В состав работ при изысканиях мостовых переходов, в том числе больших, входят разные виды работ [9].

1. Топографо-геодезические работы:
 - а) трассирование вариантов, выбор места перехода, закрепление;
 - б) составление ситуационного (генерального) плана района перехода, съемка детального плана с промерами глубин;
 - в) определение длины мостового перехода, привязка опор к пикетажу трассы;
 - г) построение плановой разбивочной основы;
 - д) создание высотной основы, передача высоты через водоток.
2. Инженерно-геологические изыскания:
 - а) крупномасштабная инженерно-геологическая съемка района перехода;
 - б) детальная геологическая разведка места перехода, составление геологического профиля;
 - в) разведка карьеров строительных материалов.
3. Гидрометрические измерения:
 - а) определение высот характерных уровней воды;
 - б) измерение скоростей течения, направления струй;
 - в) определение живого сечения, уклонов, расходов водотока;
 - г) наблюдения на морфометрических створах.

Важнейшей и одной из самых трудных задач изысканий является выбор места мостового перехода. Выбранный мостовой переход

должен хорошо увязываться с общим направлением трассы и удовлетворять следующим требованиям [9].

1. Ось перехода по возможности должна располагаться нормально к направлению течения, причем участок реки в месте перехода должен быть по возможности прямолинейным, с параллельным направлением течения в главном русле и на пойме, неизменным в течение ряда лет при различных уровнях воды. Желательно, чтобы отклонение оси мостового перехода от нормали к направлению течения не превышало 10° , а на судоходных и сплавных реках – 5° . Однако если это приводит к большому излому трассы, то допускают косое пересечение, которое учитывается при расчете отверстия моста, проектировании опор и регуляционных сооружений.

2. Трасса по возможности должна пересекать реку в самой узкой и возвышенной части поймы, на участке, где нет рукавов, отмелей и островов, вдали от перекатов, избегая мест, имеющих крутые повороты русла.

3. Место перехода по возможности должно иметь благоприятные геологические условия с неглубоким залеганием коренных пород и пологим рельефом на берегах. Русло реки должно быть устойчивым и не меняться с течением времени. Следует избегать мест с оползневыми и карстовыми явлениями, с мокрыми косогорами, а на пойме – с озерами и староречьями.

На основании изучения материалов перехода и многолетнего опыта эксплуатации существующих на водотоке мостов выбирают оптимальный вариант перехода, который закрепляют на обоих берегах и на подходах железобетонными знаками с определением пикетажного значения точек крепления.

Малые водопропускные сооружения, как правило, могут быть размещены при любых сопряжениях элементов плана и профиля дороги. По возможности их также стремятся расположить перпендикулярно к направлению водотока, однако при этом не следует сильно искривлять трассу. Часто бывает выгоднее при пересечении малых водотоков устроить новое искусственное русло, перпендикулярное к трассе, или применить косую укладку труб вдоль естественного тальвега, не искривляя дороги. Иногда можно перенести малое водопропускное сооружение с низкой точки тальвега несколько выше по склону, где более благоприятные условия для строительства моста или трубы, и к этому месту подвести с обеих сторон новое русло водотока, засыпав (с уплотнением материала засыпки) старое.

Основой для расчета малого водопропускного сооружения при производстве изысканий являются следующие устанавливаемые материалы [8]:

- 1) водосборная площадь водотока (водосборный бассейн);
- 2) длина водосборного бассейна и средний уклон тальвега или русла;
- 3) продольный уклон русла непосредственно у сооружения;
- 4) поперечный профиль водотока на месте перехода.

Кроме вышеперечисленного, необходимо собрать сведения о залесенности и заболоченности бассейна, впитываемости (водопроницаемости) грунтов.

Основой для определения водосборной площади являются карты наиболее крупного масштаба, имеющиеся на данную территорию. По горизонталям наносят водораздельную линию и планиметром измеряют площадь бассейна. Наличие материалов аэрофотосъемки дает возможность определить водосборную площадь по фотопланам или фотосхемам, причем водораздельная линия и тальвег намечаются при рассмотрении материалов стереоскопических аэрофотоснимков.

Основой на планах бассейнов является выделение бессточных участков, определяется и намечается главный тальвег, по которому протекает основная масса воды. По этому тальвегу измеряют длину бассейна от проектируемого водопропускного сооружения до водораздельной линии и определяют по горизонталям или нивелированием на местности средний уклон тальвега.

Следует отметить, что в месте перехода водотока перпендикулярно к трассе составляют подробный поперечный профиль и определяют уклон русла на протяжении примерно 200 м вверх и 100 м вниз по течению от места перехода. Все работы в плановом и высотном отношении привязываются к пикетам и государственной геодезической сети.

В период испытания и сдачи моста в эксплуатацию производят исполнительную съемку профиля и плана пролетных строений, сопоставляют с проектом и определяют изменения и отклонения отдельных элементов сооружения от их проектного положения. В период эксплуатации производят геодезические наблюдения за деформацией моста.

Степень сложности и точности выполнения перечисленных работ, как правило, зависит от размеров сооружения, материала, грузоподъемности и срока службы моста, типа пролетных строений,

способов возведения береговых устоев и опор, гидрологических, климатических и топографических условий местности.

Следует отметить, что для выполнения разбивочных работ исполнитель должен иметь следующую техническую документацию [8]:

а) схему и каталог координат геодезических пунктов (плановых и высотных) на район строительства, включая пункты, созданные в процессе изысканий объекта;

б) проект мостового перехода и сопряженных с ним регулирующих сооружений с указанием размеров и допусков;

г) топографический план местности в масштабе 1:1 000 с сечением рельефа 0,5 м с нанесенным на нем проектируемым сооружением и его осями.

4.1.2. Разбивка и закрепление мостовых переходов и путепроводов

Основой для разбивки и закрепления мостовых переходов, как правило, являются разбивочные сети. При этом разбивочные сети служат для обеспечения выноса проектов мостов и путепроводов в натуру. Вынос проектов осуществляют в соответствии с основным принципом геодезии – «от общего к частному», т. е. от точных измерений всей длины перехода к локальным разбивкам опор и пролетов.

Не следует забывать, что от пунктов разбивочной сети выносят в натуру и контролируют центры опор, от которых разбивают оси опор, и от осей – конструкции на опоре.

При проектировании разбивочной геодезической сети моста или путепровода необходимо учитывать [8]:

а) удобство разбивки и контроля центров опор;

б) сохранность пунктов сети в ходе строительства и после его завершения;

г) технологию строительства и его очередность при создании разбивочной сети в несколько этапов;

д) необходимость увязки расположения пунктов сети с генеральным планом строительства с целью их сохранности и на период эксплуатации.

Не следует забывать, что геодезические измерения в разбивочных сетях на мостовых переходах имеют специфические особенности и связаны с необходимостью измерений над водной поверхностью

и необеспеченной видимостью вдоль берегов из-за застройки, особенностей рельефа или залесенности.

При этом по сравнению с государственными геодезическими сетями разбивочные сети мостов отличаются сравнительно короткими длинами сторон (от 0,2–0,5 до 1–2 км). Однако требуемая точность измерений остается весьма высокой. Так, средняя квадратическая ошибка угловых измерений не должна превышать 1,2–2,0". Для того чтобы служить основой для производства разбивочных работ, опорные сети должны быть определены с точностью в 2 раза большей, чем разбиваемые с них центры опор. Учитывая, что допустимая средняя квадратическая ошибка определения положения центров опор нормирует не более ± 12 мм, положение пунктов плановой геодезической сети должно быть определено с допустимой ошибкой не более ± 6 мм [8].

Основная особенность разбивочных сетей мостов и путепроводов в том, что они создаются методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии, а также путем специальных построений, учитывающих специфику местных условий на мостовом переходе и обеспечивающих максимальное удобство разбивочных работ.

При этом пункты, закрепляющие ось моста и базисы разбивки, составляют разбивочную сеть. Закрепление пунктов разбивочной сети осуществляют с помощью капитальных знаков – железобетонных монолитов.

Кроме того, учитывая тот факт, что положение пунктов разбивочных сетей со временем может измениться в результате оползневых явлений, прохода паводков, морозного пучения, а также в результате проведения строительных работ, необходимо периодически проводить контрольные измерения.

Необходимо помнить, что незыблемость пунктов сети контролируется перед началом строительства, после каждого большого паводка, а также в ходе строительства не реже двух раз в год.

В ходе проведения контрольных измерений определяются дополнительные или утраченный пункты сети, а также включают в сеть центры уже построенных опор и береговых устоев [8].

Основной фигурой мостовой триангуляции является сдвоенный геодезический четырехугольник с двумя измеренными базисами b_1 и b_2 (рис. 4.5) и горизонтальными углами $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{16}$.

Основа разбивочной сети моста включает при этом ось моста AB и два базиса для разбивки центров опор CD и EG (см. рис. 4.5).

В силу того, что мост является вытянутым поперек реки сооружением, базисы разбивки принимают приблизительно параллельными оси моста [8].

Не следует забывать, что разбивка центров опор мостов при использовании разбивочных сетей, построенных по принципу мостовой триангуляции, ведется способом засечек, соотношение короткой стороны геодезического четырехугольника (например, AC) принимают равной приблизительно половине длинной стороны CD (т. е. длины береговых сторон примерно вдвое короче длин, пересекающих реку).

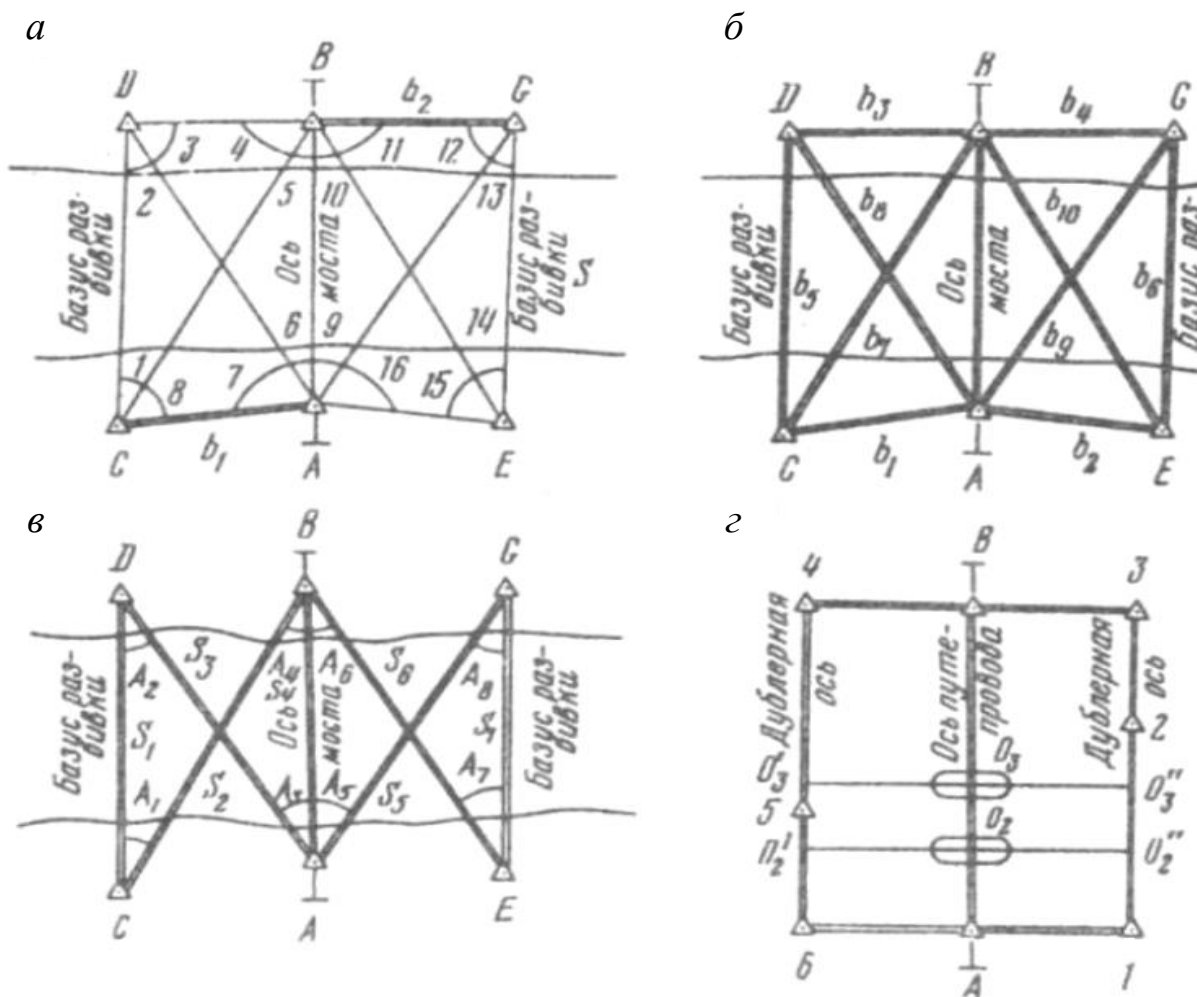


Рис. 4.5. Разбивочные сети мостов и путепроводов:
 а – триангуляция; б – трилатерация; в – линейно-угловая сеть
 из базовых треугольников; г – полигонометрия

Отношение короткой береговой стороны геодезического четырехугольника d к базису разбивки S называют *продвигом*. Величина продвига обычно лежит в пределах $d/S = 0,4 \dots 0,6$ [8].

Особенность в том, что посредством мостовой триангуляции решают в основном две задачи:

- 1) разбивка центров опор и береговых устоев;
- 2) определение точной длины перехода между точками *A* и *B*.

При построении мостовой триангуляции эту длину находят расчетом как сторону сети. При этом повышение точности измерений мостовой триангуляции достигается:

- 1) за счет организации работ в пасмурные дни с легким ветром;
- 2) в утренние, в вечерние часы и в ночное время для уменьшения влияния боковой рефракции;
- 3) многократными измерениями с повторным центрированием прибора и визирных целей.

При этом предельная ошибка определения длины перехода не должна превышать [8]

$$\Delta L = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{10000} \right)^2} + 0,5n, \quad (4.3)$$

где l_i – длина i -го пролета, см;

n – число пролетов.

Пример

Дано: длина i -го пролета $l_i = 100$ м, число пролетов $n = 12$.

Необходимо определить предельную ошибку длины перехода.

Предельную ошибку длины перехода определим из следующего выражения:

$$\Delta L = \sqrt{\sum_{i=1}^{12} \left(\frac{100}{10000} \right)^2} + 0,5 \cdot 12 = 6,04 \text{ см.}$$

Неблагоприятными для угловых измерений условиями у мостовых переходов являются следующие:

- 1) угловые измерения производят в неоднородном поле боковой рефракции (одно направление – вдоль берега, второе – над водой);
- 2) появление высокоточной светодальномерной техники привело к тому, что в разбивочных работах на мостовых переходах стали внедрять линейную триангуляцию – трилатерацию.

Основное преимущество в том, что светодальномерные наблюдения можно организовать при таких метеорологических условиях, когда проведение угломерных наблюдений крайне затруднительно.

При построении трилатерации на мостовых переходах, так же как и в мостовой триангуляции, основной формой сети служит сдвоенный геодезический четырехугольник, в котором измеряют длины всех сторон b_1, b_2, \dots, b_{11} [8].

При этом для удобства расчетов и организации разбивочных работ часто принимают в качестве основной фигуры геодезический прямоугольник, форма которого характеризуется продвигом $d/S \approx 0,5$.

В результате проведенного анализа достоинств и недостатков мостовой триангуляции и трилатерации для мостовых переходов разработан новый метод построения разбивочных сетей – линейно-угловые сети из базовых треугольников. Основной фигурой сети служат два базовых треугольника, в которых измеряют углы A_1, A_2, \dots, A_8 и стороны S_1, S_2, \dots, S_7 . В таких сетях рационально сочетаются угловые линейные измерения, что создает благоприятные условия для организации разбивочных работ на мостовом переходе.

Часто затруднением при создании линейно-угловых сетей является тот факт, что основные приборы, используемые для работы, – это светодальномеры, высокоточные и точные оптические теодолиты и электронные тахеометры.

Основная особенность и сложность линейно-угловых сетей состоит в том, что измерения базисов вдоль берегов не ведут, поскольку такие измерения сопряжены с известными трудностями вследствие застройки, залесенности, пересеченности местности и т. д.

К достоинствам линейно-угловых сетей относят [8]:

- а) обеспечение достаточной точности при ограниченном объеме угловых линейных измерений;
- б) отсутствие коротких направлений вдоль берегов, что повышает точность угловых измерений, которые ведутся при однородном поле рефракции;
- в) отсутствие необходимости строительства дорогостоящих знаков, так как видимость через реку обеспечивается с земли;
- г) большие возможности при выборе базисов разбивки опор, так как отпадает необходимость обеспечения видимости вдоль берегов.

При строительстве эстакад и путепроводов необходимо учитывать тот факт, что основными методами создания разбивочных сетей является мостовая полигонометрия. Эти сети позволяют предельно упростить разбивочные работы и легко их производить с максимальной точностью и контролем.

Основная сложность при создании полигонометрической разбивочной сети состоит в том, что базисы разбивки строят в виде строго параллельных дублерных осей.

При разбивке центров опор эстакад и путепроводов дублерные оси целесообразно размещать на половине расстояния между пунктами A и B . При разбивке способом прямоугольных координат (основным в мостовой полигонометрии) дублерные оси нужно располагать по возможности ближе к оси $A - B$ при условии обеспечения сохранности пунктов сети при строительстве. Для этого дублерные оси размещают на расстоянии 80–100 м от оси путепровода [9].

При этом пункты сети закрепляют капитальными знаками (железобетонными монолитами) с привязкой к государственной геодезической сети. Углы измеряют полным приемом высокоточными теодолитами. Расстояние измеряют 50-метровой компарированной рулеткой, натягиваемой динамометром или лазерными дальномерами. Обязательным условием является тот факт, что к головкам знаков необходимо приваривать металлические пластины размером 10×10 см.

Задавшись положением центра знаков, производят угловые и линейные измерения и вычисляют их точные координаты. Затем центры перемещают по пластине в проектное положение с обеспечением строгой параллельности дублерных осей путепровода [8].

В настоящее время целесообразным представляется использование полигонометрии при создании разбивочной сети, стороны которой не попадают в зону строительных работ, но максимально приближены к оси путепровода. Это обеспечивает удобство и необходимую точность разбивки центров опор способом прямоугольных координат [8].

Основным элементом является продольная ось моста – линия, проходящая по его середине. Линия, проходящая по центру (середине) опоры (быка) перпендикулярно к продольной оси моста, называется осью опоры и принимается за поперечную ось моста [8].

Следующим элементом является длина моста L – расстояние между шкафными гранями береговых устоев [8].

Длиной мостового перехода L_0 называется расстояние между задними гранями береговых устоев.

На местности закрепляются конечные точки (A и B) мостового перехода.

Для малых мостов основная особенность состоит в том, что закрепление осуществляется двумя деревянными столбами (по одному

на каждом берегу); для средних мостов – четырьмя столбами (по два на каждом берегу), устанавливаемыми в створе по теодолиту.

Не следует забывать про тот факт, что один из столбов (обычно на высоком берегу) принимается за исходный, от которого в дальнейшем ведутся все измерения и выполняется отложение проектных значений длины моста, расстояний до центров опор и т. д. Этот столб обычно привязывается к пикетажу по оси дороги, и ему присваивается соответствующее пикетажное обозначение (номер пикета и плюс).

Основной задачей и сложностью при этом является то, что знаки закрепления оси моста устанавливают в незатопляемых местах с таким расчетом, чтобы они всегда были доступны для установки на них теодолита или вех. В сомнительных для сохранности столбов местах (например, в местах интенсивного движения транспорта) вокруг знаков закрепления делают ограждение или привязывают их засечками к постоянным местным предметам.

Основным условием является то, что подготовку исходных данных для выноса проекта малого моста в натуру выполняют графически по топографическому плану масштаба 1:1 000.

Для этого с помощью поперечного масштаба измеряют на плане три линии от точек A и B до трех контурных точек или точек геодезического обоснования, нанесенных на плане и имеющих на местности. Желательно, чтобы эти линии были не более длины мерного прибора и пересекались под углами $30\text{--}150^\circ$ [8].

Вынос проекта в натуру производится линейной засечкой с помощью рулетки (лазерного дальномера). Для этого радиусом, равным длине линии, поочередно из каждой контурной точки как центра проводят дуги окружностей. Пересечение трех дуг, или центр тяжести получившегося на местности треугольника погрешности, принимают за искомую точку мостового перехода.

Основная особенность при подготовке исходных данных для выноса проекта среднего моста в натуру состоит в том, что эти работы производят графоаналитическим способом.

Для выполнения данного вида работ с помощью поперечного масштаба определяют по топографическому плану координаты x и y точек A и B .

При этом из каталога координат на район строительства выбирают координаты пунктов I, II, III, IV, от которых будет производиться вынос проекта в натуру. Далее решением обратной задачи находят

расстояния d_1, d_2, d_3, d_4 и углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ (рис. 4.6) соответствующих треугольников [8].

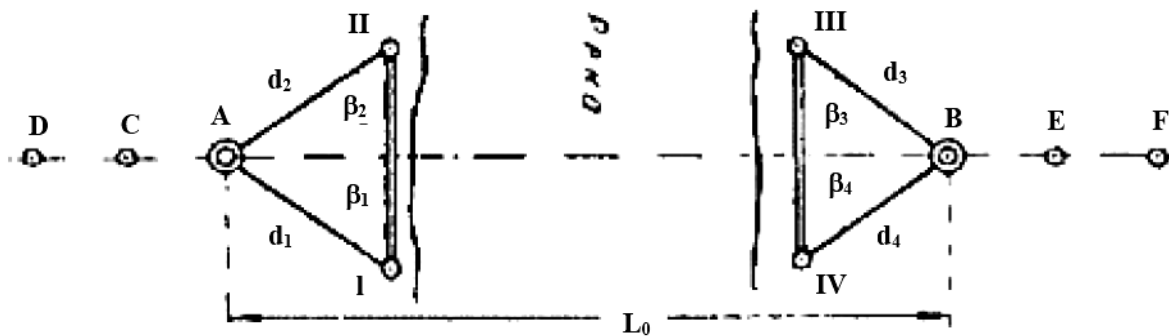


Рис. 4.6. Схема выноса и закрепления оси мостового перехода

Вынос проекта в натуру производят с помощью теодолита и мерной ленты (лазерного дальномера). Для этого последовательно устанавливают теодолит в точках I, II, III, IV, откладывают найденные значения углов β и расстояний d и дважды на местности получают положение точек A и B. За окончательное положение принимается среднее, которое и закрепляется столбом. Вынесенную на местность ось мостового перехода AB фиксируют дополнительно створными выносками, точки закрепления которых D, C, E, F устанавливают в створе с помощью теодолита [8].

4.2. Съёмка мостового перехода

Основная особенность и сложность в том, что для проектирования большого мостового перехода (длиной больше 100 м) необходимо составить ситуационный план района перехода и детальный крупномасштабный план непосредственно участка строительства моста.

Ситуационный план служит основой для разработки генерального плана мостового перехода и его сопряжения с трассой, выбора схемы расположения регуляционных сооружений, гидрометрических и морфометрических створов, для производства инженерно-геологической съёмки, этот план используют при составлении проекта организации строительных работ и проекта производства геодезических работ.

Ситуационный план снимают в масштабе 1:5 000 для средних рек (с шириной реки в межень до 500 м) и 1:10 000 для больших рек и захватывают участок вверх по течению от оси перехода на полторы ширины разлива реки и вниз по течению на одну ширину разлива.

По бокам снимают всю пойму до высоты, превышающей уровень высоких вод на 1–2 м. Съёмка может выполняться в системе координат мостового перехода, но должна обеспечить, как правило, получение абсолютных высот точек. Основным методом съёмки – тахеометрический [9].

На ситуационном плане изображают главным образом контуры ситуации и элементы рельефа, влияющие на направление и скорость течения потока [9]:

- а) коренное русло с островами и перекатами;
- б) пойму с протоками, староречьями, озерами, болотами;
- в) населенные пункты;
- г) имеющиеся на реке гидротехнические и мостовые сооружения;
- д) лесные массивы;
- е) наиболее характерные элементы рельефа с высотами берегов и урезом воды.

Наносят также элементы специальной нагрузки [9]:

- а) постоянные и временные водомерные посты;
- б) намеченные гидрометрические створы;
- в) увязанные с трассой варианты переходов;
- д) границы разлива и направление течения высоких вод.

Особенность и преимущество съёмки района перехода больших рек в том, что она может выполняться аэрофотограмметрическим методом, дающим наиболее полное представление о месте перехода, степени меандрирования реки, интенсивности отложения наносов и подмывания берегов. Кроме того, аэрофотосъёмка в период паводка позволяет определить важнейшие гидрологические характеристики реки при высоком уровне воды. В горных районах применяют наземную стереофотограмметрию.

Геодезической основой (с учетом привязки к государственной геодезической сети) для съёмки широких пойм служат сети в виде ряда треугольников. Пункты размещают на разных берегах, а высоты передаются тригонометрическим нивелированием. В залесенных районах применяют ходы светодальномерной или короткобазисной полигонометрии с расположением смежных пунктов на противоположных берегах.

Особое значение имеет наличие на район перехода топографической карты масштаба 1:10 000 или материалов прежних аэрофотосъёмок.

В этом случае ситуационный план может быть составлен в камеральных условиях с необходимыми дополнениями и исправлениями в натуре [9].

Детальный план перехода необходим для составления рабочих чертежей мостовых сооружений и разработки проекта подходов трассы к мосту.

Масштабы плана имеют разные значения в зависимости от длины перехода. Их принимают 1:1 000 с высотой сечения рельефа горизонталями 0,5 м при длине перехода до 300–500 м и 1:2 000 с высотой сечения рельефа 1 м при большей длине.

Обязательно в съемку включают коренное русло и прилегающую пойму до отметки на 1–2 м выше расчетного уровня высоких вод. Значения вверх и вниз принимают от 1,0 до 1,5 величины отверстия моста с таким расчетом, чтобы детально изобразить рельеф и ситуацию в местах, где проектируют мост, подходы, регуляционные сооружения, а при близком расположении – строительные площадки и базы [9].

Топографической основой рабочего проектирования сооружений мостового перехода является детальный план, поэтому точность съемки и геодезического обоснования должна соответствовать требованиям масштаба плана. Обязательным условием при этом является то, что съемка выполняется в той же системе координат и высот, которые были использованы при съемке ситуационного плана.

При этом если район перехода был заснят аэрометодами, то материалы аэрофотосъемки могут быть использованы и для составления детального плана.

Особенность в том, что при наземных методах в открытой пойме применяют мензурную съемку или тахеометрическую, а в закрытой – съемку по поперечникам. В обоих случаях основой для съемки служат теодолитно-нивелирные магистрали, прокладываемые от оси перехода по обеим сторонам русла. Концы магистралей привязывают к геодезическим пунктам, а при отсутствии последних создают замкнутые полигоны [9].

При выполнении съемки необходимо учитывать тот факт, что если оба берега реки высокие или один из них высокий, а другой пологий с открытой поймой, то можно план перехода составить методом наземной стереофотограмметрической съемки. Для этого вдоль обоих берегов намечают места станций, чтобы с них произвести съемку без разрывов противоположного берега вместе с полосой водной поверхности и чтобы их легко было привязать в плановом

и высотном отношении к магистрали. Положительный момент в том, что при обработке стереопар рисовка рельефа и поперечные профили хорошо контролируются по урезу воды.

Промеры глубин выполняют зимой со льда, летом с лодки. В каждой промерной вертикали определяют [9]:

- а) глубину реки;
- б) плановое положение вертикали;
- в) отметку уровня воды в момент промера.

Особенность в том, что глубину реки измеряют при помощи рейки (наметки) или речного эхолота. Плановое положение промерных вертикалей определяют засечками с базиса, расположенного на берегу и привязанного к магистрали.

Как показывает практика, при наличии на участок мостового перехода фотоплана задача планового определения промерных вертикалей несколько упрощается, так как отпадает необходимость измерения базиса и привязки точек крепления поперечников к магистрали. Промерные поперечники («фотогалсы») намечают по фотоплану между четко изобразившимися контурными точками. На местности эти точки закрепляют вехами, в створе которых движется лодка.

Промерные вертикали засекают прибором, установленным на близкой контурной точке и ориентированным по какой-либо другой контурной точке [9].

На широких реках и заливах плановое положение промерных вертикалей определяют точными радиогеодезическими системами с установкой в береговых опорных пунктах базисных станций и на подвижном катере – задающей станции [9].

Особенность проведения и трудоемкость выполнения работ в том, что в период промеров глубин ведут наблюдения на временных водомерных постах за колебаниями уровня воды. С учетом этих колебаний определяют высоты урезов воды на момент промерных работ. По результатам промеров вычисляют высоты дна и наносят их на план.

Основная трудность промеров глубин заключается в том, что водная поверхность реки имеет некоторый поперечный уклон, вызванный вращением Земли и влиянием центробежной силы на поворотах. Кроме того, резкое искажение поперечного профиля водной поверхности вызывается боковым ветром и быстрым изменением уровня воды в период паводка.

При проведении промерных работ на больших реках рекомендуется нивелировать урезы воды на обоих берегах [9].

4.2.1. Определение длины мостовых переходов и путепроводов

Особую важность и значение имеет тот факт, что при проектировании мостового перехода необходимо знать расстояние между двумя исходными пунктами перехода, расположенными на противоположных берегах в незатопляемых местах. Это расстояние, называемое длиной мостового перехода, используется для аналитической привязки проекта мостовых сооружений к исходным пунктам и пикетажу трассы (рис. 4.7).

Точность измерения в натуре длины L мостового перехода определяется необходимой точностью построения моста [9].

Также важное значение имеет то, что применение стандартных элементов моста, изготавливаемых индустриальными методами, требует высокой точности определения общей длины моста.

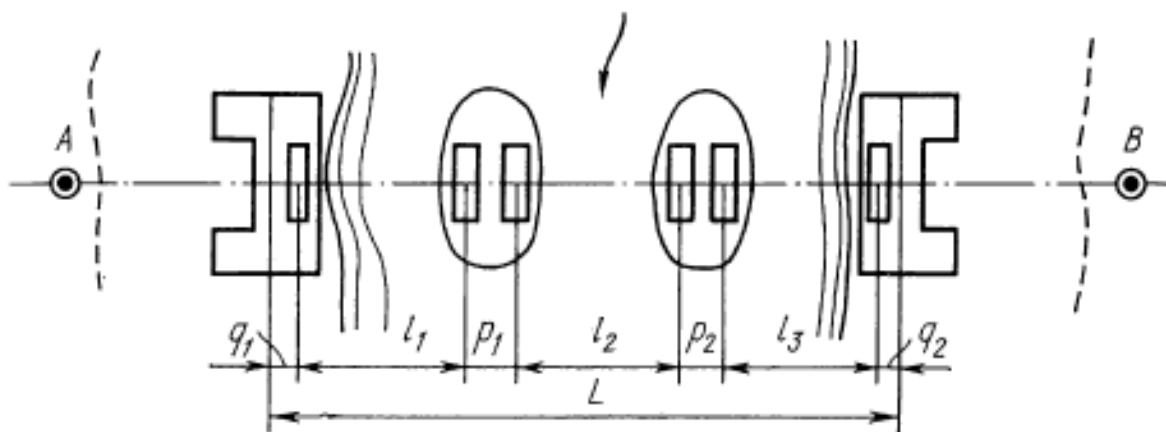


Рис. 4.7. Длина мостового перехода

В соответствии с требованиями норм длина малых и средних мостовых переходов, мостов и труб должна быть определена с относительной ошибкой не более 1:5 000, т. е. с абсолютной ошибкой ± 2 см на 100 м [8].

Под малыми подразумеваются мосты длиной до 25 м, под средними — длиной до 100 м.

Длина моста с равными пролетами (см. рис. 4.7) определяется по зависимости [8]

$$L = nl + (n - 1)q + 2p, \quad (4.4)$$

где l — расчетная длина пролета ферм, м;

n — число пролетов, шт.;

q – расстояние между осями опорных частей смежных пролетных строений, м;

p – расстояние между шкафной стенкой устоя и осью опорной части крайнего пролета, м.

Пример

Дано: расчетная длина пролета ферм $l = 100$ м; число пролетов $n = 12$ шт.; расстояние между осями опорных частей смежных пролетных строений $q = 48$ м; расстояние между шкафной стенкой устоя и осью опорной части крайнего пролета $p = 36$ м.

Необходимо определить длину моста с равными пролетами L .

Длину моста с равными пролетами L определим из следующего выражения:

$$L = 12 \cdot 100 + (12 - 1) \cdot 48 + 2 \cdot 36 = 1800 \text{ м.}$$

Особое значение и ответственность при проведении работ определяется тем, что по техническим требованиям установка опорных узлов производится с ошибкой ± 5 мм.

Непосредственное измерение расстояния между точками закрепления оси моста может быть обеспечено лазерным дальномером (светодальномером) или построением звена параллактической полигонометрии или сети микротриангуляции.

Длину мостового перехода необходимо знать для общей компоновки проекта, привязки его к местности, привязки геологических выработок.

При этом, проводя изыскания, вполне достаточно определить длину мостового перехода со среднеквадратической относительной ошибкой не более 1:5 000.

Общая длина мостового перехода может определяться из непосредственных измерений или косвенным путем. Наиболее просто и всегда с достаточной точностью длина мостового перехода может быть измерена светодальномером.

Если мост расположен на суходоле, в зимнее время по льду или при наличии временного моста длина перехода может быть измерена шкаловыми лентами или инварными проволоками. Измерения по льду проводят по штативам или по обноскам, замороженным в лед [8].

При использовании параллактической полигонометрии (рис. 4.8, а) базис располагают по возможности посередине реки (на острове, на льду), создавая наиболее точное симметричное звено [8].

На больших реках для измерения длины мостового перехода (рис. 4.8, б) применяют сложное звено [8].

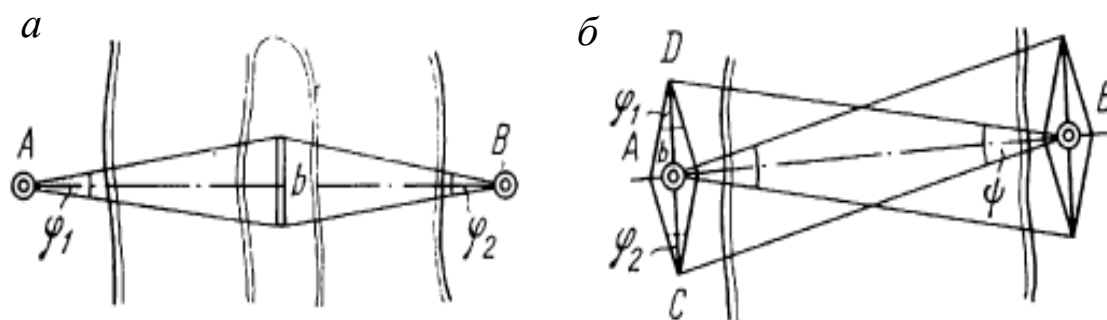


Рис. 4.8. Определение длины мостового перехода методом короткобазисной полигонометрии:
а – простое ромбическое звено; *б* – сложное звено

Как вариант из оптических дальномеров при определении длины мостового перехода может быть использован оптический топографический дальномер (ОТД) двойного изображения, позволяющий измерять расстояния от 40 до 400 м со средней квадратической относительной ошибкой 1:5 000 [8].

Основное преимущество измерения длины мостового перехода на больших мостах в том, что оно непосредственно может быть осуществлено зимой по льду. Для этой цели измеряемую линию разбивают на секции. Концы секций закрепляют вмороженными в лед кольями с фиксируемыми гвоздем центрами. При применении дальномера или оптического дальномера длины секций могут составлять от 300 до 400 м. При измерениях проволоками на весу длина секции лимитируется наличием базисных штативов.

При непосредственных измерениях компарированными лентами или рулетками длина секции делается на 2–5 см меньше длины мерного прибора. Иногда применяют параллактический и короткобазисный способы [8].

При невозможности непосредственного определения длины мостового перехода ее находят как расстояние по известным и широко применяемым схемам. При этом должно быть измерено обязательно два базиса.

В треугольниках измеряют все три угла. Величины углов стремятся делать не менее 30° [8].

Особенность заключается в том, что более точное знание длины мостового перехода требуется непосредственно перед строительством, когда проект моста уже составлен и предстоят разбивочные работы.

Требуемая точность (предельная ошибка) определения длины мостового перехода определяется по зависимости [8]

$$\Delta_L = \sqrt{\sum_1^n \left(\frac{l_i}{T}\right)^2} + 0,5n, \quad (4.5)$$

где l_i – длина пролета с номером i , м;

n – число пролетов, шт.;

T – коэффициент, характеризующий точность изготовления и монтажа пролетных строений (для мостов сложных конструкций принимают $T = 10\,000$, для простых $T = 6000$).

Пример

Дано: расчетная длина пролета ферм $l = 100$ м; число пролетов $n = 12$ шт.; коэффициент, характеризующий точность изготовления и монтажа пролетных строений $T = 10\,000$.

Необходимо рассчитать предельную ошибку длины мостового перехода Δ_L .

Предельную ошибку длины мостового перехода Δ_L определим из следующего выражения:

$$\Delta_L = \sqrt{\sum_1^{12} \left(\frac{10000}{10000}\right)^2} + 0,5 \cdot 12 = 2,45 \text{ см.}$$

Основная сложность в том, что такая точность может быть обеспечена светодальномером. На практике же на этой стадии работ достаточно точное определение длины мостового перехода осуществляется путем включения в опорную сеть стороны, закрепляющей ось моста.

4.2.2. Высотная основа мостовых переходов и путепроводов

Согласно требованиям ПНСТ (СНиП, ГОСТ), при строительстве больших мостовых переходов на каждом берегу должно быть установлено не менее двух постоянных реперов (на средних и малых мостах по одному).

Реперы размещают по возможности ближе к главной оси, но вне зоны земляных работ и в геологически устойчивых породах с целью их сохранности на весь период строительства [9].

В настоящее время средняя квадратическая ошибка определения высот реперов не должна превышать 3–5 мм, что обычно обеспечивается проложением ходов нивелирования III класса. Для вычисления абсолютных высот ходы привязывают к пунктам государственной геодезической сети (желательно, чтобы пункты были расположены на разных берегах реки). Когда геодезические пункты расположены на разных берегах реки возникает задача передачи высоты через водную преграду.

В зимнее время эта задача решается нивелированием по льду, летом – методом двойного нивелирования, тригонометрическим или гидростатическим нивелированием [9].

Чтобы осуществить нивелирование по льду, в лед вмораживают колья, на которых устанавливают ножки штатива прибора и рейки. В колья для реек вбивают гвозди со сферическими головками. Так как лед обычно имеет подвижки по высоте, то во время нивелирования необходимо наблюдать за состоянием льда. Для этого в 75–100 м от каждого берега вмораживают в лед рейку и по ней периодически берут отсчеты нивелиром, установленным на берегу. Однако лед в разных частях реки колеблется по-разному, особенно значительные колебания бывают на середине реки, поэтому нивелирование по льду обычно не дает удовлетворительных результатов.

Опыты последних лет показывают, что для точной передачи высот необходимо для установки реек забивать в дно реки сваи, проделав во льду лунки. В процессе наблюдений следят, чтобы вода в лунках не замерзала, для чего следует обкалывать лед вокруг свай. Нивелирование с использованием свай весьма усложняет работу, особенно на глубоких реках.

Для выявления вертикального перемещения самого нивелира во время работы отсчеты по рейкам производят в следующем порядке [9]: задняя – передняя – задняя, т. е. отсчет по задней рейке повторяют.

Следует отметить, что удовлетворительные по точности и производительности результаты можно получить одновременным нивелированием по льду всей ширины реки несколькими наблюдателями с нивелирами. При этом трассу разбивают на участки для каждого нивелира (по 150–200 м), вмораживая в лед колья для штатива и реек. По сигналу на всех участках реки наблюдатели одновременно берут отсчеты на задние, передние и снова задние рейки.

Таких приемов делают несколько и по их расходимости судят о точности результатов нивелирования [9].

Наибольшее практическое распространение получил метод передачи высот через водную преграду двойным нивелированием.

Суть этого метода в том, что на обоих берегах примерно на одинаковой высоте закладывают реперы (реп. 1 и реп. 2) в местах, где визирный луч проходил бы не ниже 2–3 м над водой, и в 10–20 м от них выбирают станции для нивелира J_1 и J_2 (рис. 4.9).

При этом должно соблюдаться равенство расстояний, определяемое по зависимости [9]

$$d_3^I = d_{II}^{II}; d_3^{II} = d_{II}^I. \quad (4.6)$$

Методика выполнения работ следующая: установив нивелир в точке J_1 , берут отсчет Z_1 по ближней задней рейке, установленной на реп. 1, и после перефокусирования отсчет Π_1 по дальней рейке, установленной на реп. 2 [9]. Затем прибор снимают и осторожно, чтобы не нарушить фокусировку трубы, перевозят его на другой берег и устанавливают на второй станции J_2 [9]. Не меняя прежней фокусировки, берут отсчет Z_2 по дальней (задней) рейке и затем отсчет Π_1 по ближней (передней) рейке [9].

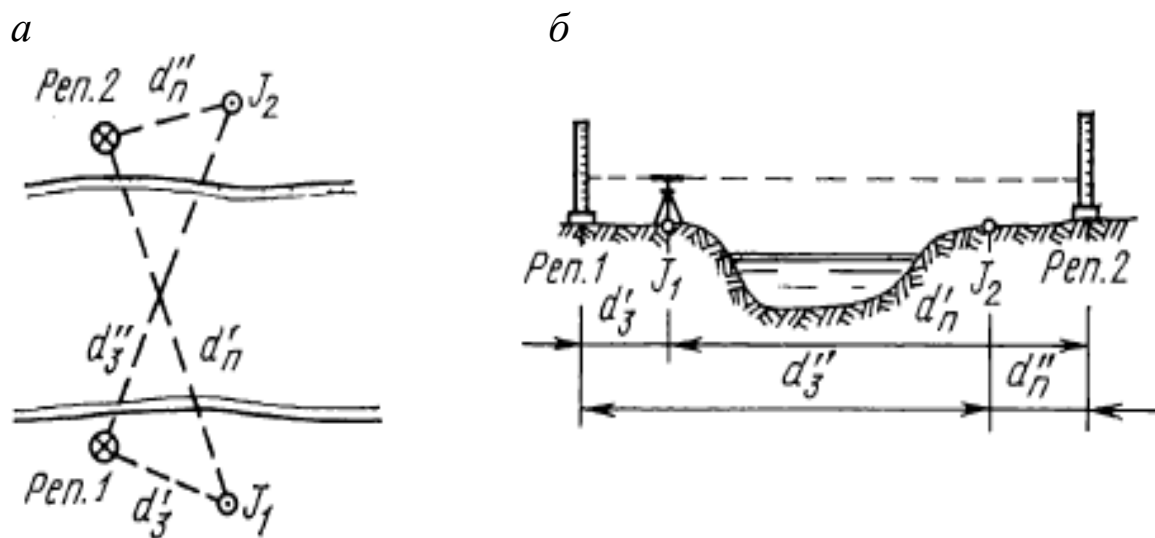


Рис. 4.9. Передача высоты через реку:
а – план; б – разрез по линии нивелирования

На этом заканчивается один прием. При этом таких приемов делают несколько в зависимости от ширины реки и требуемой точности определения превышения.

Особенность проведения работ в том, что отсчеты по дальней рейке производят при помощи передвижных щитков с утолщенными

штрихами (при расстоянии 500 м штрихи наносят шириной 10 мм, интервалы между ними 50 мм).

Применяя данную методику, пузырек уровня приводят в нуль-пункт, и реечник по сигналам наблюдателя передвигает щиток до тех пор, пока соответствующий штрих не будет точно располагаться в биссекторе нивелира, после чего он замечает отсчет по рейке [9].

Следует отметить основной недостаток, заключающийся в том, что в методе двойного нивелирования резко нарушено равенство расстояний до передней и задней реек, следовательно, полученные превышения будут сильно искажены влиянием кривизны Земли и рефракции, а также влиянием непараллельности визирной оси трубы и оси уровня.

Главным образом будут искажены отсчеты по дальней рейке. Отсчеты по ближней рейке в связи с небольшим расстоянием до нее искажаются незначительно.

Превышение из первого полуприема определится по следующей зависимости [9]:

$$h_1 = Z_1 - П_1. \quad (4.7)$$

Отсчеты по рейкам Z_1 и $П_1$ определяются по следующим зависимостям [9]:

$$Z_1 = a_1 + d_3^I \frac{i_1''}{\rho''}, \quad (4.8)$$

$$П_1 = b_1 + d_{II}^I \frac{i_1''}{\rho''} + (k + r_1), \quad (4.9)$$

где a_1 и b_1 – неискаженные отсчеты по рейке, м;

$d \frac{i_1''}{\rho''}$ – влияние угла i между осью уровня и линией визирования трубы;

$(k + r_1)$ – влияние кривизны Земли и рефракции.

Подставляя значения отсчетов Z_1 и $П_1$ из формул (4.8) и (4.9) в (4.7), получим следующую зависимость [9]:

$$h_1 = a_1 - b_1 + (d_3^I - d_{II}^I) \frac{i_1''}{\rho''} - (k + r_1). \quad (4.10)$$

Превышение из второго полуприема, когда нивелир перевезен через реку, определяется по зависимости [9]

$$h_2 = Z_2 - П_2. \quad (4.11)$$

Анализируя вышеприведенный материал, можно сделать вывод, что отсчеты по рейкам Z_2 и $П_2$ определяются по следующим зависимостям [9]:

$$Z_2 = a_2 + d_3'' \frac{i_2''}{\rho''} + (k + r_2), \quad (4.12)$$

$$П_2 = b_2 + d_{II}'' \frac{i_2''}{\rho''}. \quad (4.13)$$

Следовательно, превышение h_2 рассчитывается по следующей зависимости [9]:

$$h_2 = a_2 - b_2 + (d_3'' - d_{II}'') \frac{i_2''}{\rho''} + (k + r_2). \quad (4.14)$$

Среднее превышение между реп. 1 и реп. 2 из первого приема определяется по зависимости [9]

$$h = \frac{(h_1 + h_2)}{2}. \quad (4.15)$$

Подставив в уравнение (4.15) значения h_1 и h_2 из формул (4.10) и (4.14) и приняв во внимание, что при двойном нивелировании соблюдается равенство расстояний (4.6) и влияние кривизны Земли k в обоих полуприемах одинаковое, превышение будет определяться по следующей зависимости [9]:

$$h = \frac{(a_1 - b_1) + (a_2 - b_2)}{2} + \frac{1}{2} \left[\frac{d_3'}{\rho''} (i_1'' - i_2'') + \frac{d_{II}'}{\rho''} (i_2'' - i_1'') + (r_2 - r_1) \right]. \quad (4.16)$$

Из анализа зависимости (4.16) видно, что если при наблюдениях на первой и второй станциях угол между осью уровня и визирной осью не изменялся ($i_1 = i_2$) и если влияние рефракции сохраняло свою величину и знак ($r_1 = r_2$), то среднее превышение в приеме свободно от ошибок, вызванных влиянием этих факторов, и определяется по зависимости [9]

$$h = \frac{(a_1 - b_1) + (a_2 - b_2)}{2}. \quad (4.17)$$

Основной недостаток применения данной методики в том, что уже незначительные изменения угла i между полуприемами вызывают ощутимые систематические ошибки в превышениях, поэтому надо принимать все меры предосторожности, чтобы под влиянием температуры или сотрясений при перевозке нивелира не изменялась величина угла i . При этом изменение температуры на 1° вызывает изменение величины i в среднем на $0,5''$.

Следовательно, учитывая применение вышеизложенной методики, каждый прием необходимо проводить в возможно короткое время при благоприятных внешних условиях (в пасмурную погоду), когда рефракционные влияния на разных берегах примерно равны. Кроме того, для ослабления влияния рефракции двойное нивелирование следует производить одновременно двумя нивелирами с противоположных берегов, меняя затем приборы местами.

4.2.3. Передача высот через водотоки

Как показала практика, для передачи высот методом тригонометрического нивелирования зенитные расстояния измеряют в период спокойных изображений точными оптическими теодолитами (Т1, Т2).

Наблюдение выполняют в прямом и обратном направлениях одновременно двумя приборами. Точки A и B (рис. 4.10), между которыми передается высота через реку, являются пунктами мостовой разбивочной основы и оборудуются как реперы [7].

Суть предложенного метода в том, что теодолиты и визирные цели помещают в вершинах параллелограмма, соблюдая равенство расстояний AD и BC . Желательно, чтобы длина их не превышала 3 м.

В качестве визирных целей используют укрепленные на рейке марки с утолщенными штрихами (верхний, средний и нижний), оси марок тщательно совмещают с соответствующими штрихами рейки, в точках A и B рейки устанавливают отвесно и закрепляют растяжками [9].

Основная особенность – определив место зенита M_z теодолита и установив на вертикальном круге отсчет $90^\circ + M_z$, одновременно на обоих берегах наводят зрительную трубу на ближнюю рейку и после приведения уровня при вертикальном круге в нуль-пункт производят отсчет по ней. Этот отсчет и будет соответствовать высоте прибора i над репером [9].

Зенитные расстояния измеряют на утолщенные штрихи дальней рейки при КП и КЛ, выполняя два-три приема [9].

После завершения работ на одном берегу, теодолиты перевозят через реку и меняют их местами. Наблюдения с противоположного берега начинают с измерений зенитных расстояний на дальние рейки и заканчивают определением высот приборов.

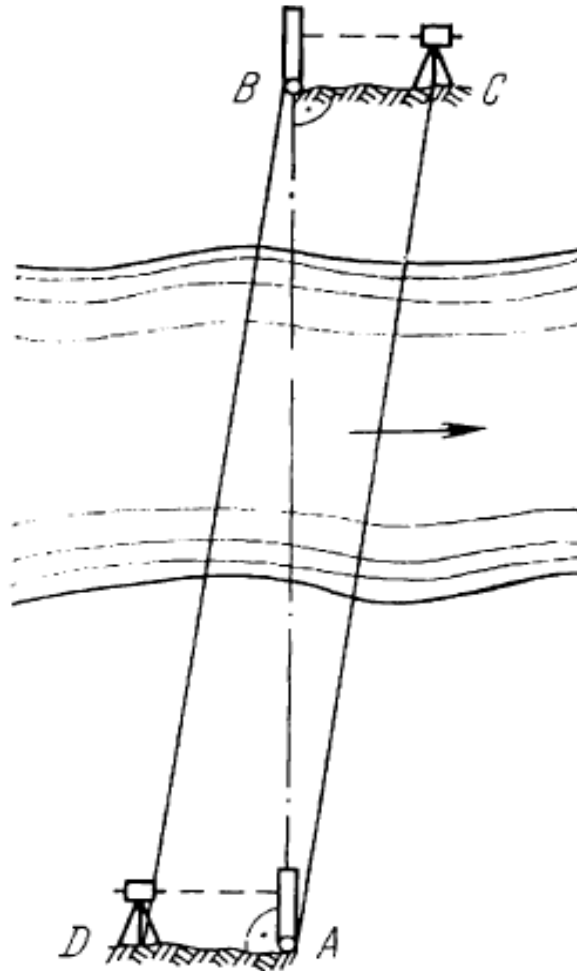


Рис. 4.10. Схема тригонометрического нивелирования

Для двустороннего тригонометрического нивелирования превышение определяется по следующей зависимости [9]:

$$h = S \operatorname{tg} \frac{z_2 - z_1}{2} + \frac{l_1 + i_1}{2} - \frac{l_2 + i_2}{2}, \quad (4.18)$$

где S – расстояние между пунктами A и B , определяемое из разбивочной основы, м;

z_1 и z_2 – зенитные расстояния одноименных визирных целей, одновременно измеренные разными теодолитами, м;

l_1 и l_2 – высоты одноименных визирных целей над пяткой рейки, м;

i_1 и i_2 – высоты приборов над реперами A и B , м.

Нельзя забывать, что из всех полученных значений превышения образуют среднее и по уклонам от него оценивают точность передачи высоты.

Особенность проведения работ состоит в том, что точная передача высоты через очень большие водные преграды может быть осуществлена методом гидростатического нивелирования.

Суть предлагаемого метода в том, что по дну водотока прокладывают прочный шланг, который наполняют водой под большим давлением, чтобы в нем не оставалось пузырьков воздуха, в концы шланга вставляют стеклянные трубки с делениями и укрепляют на береговых столбах (рис. 4.11).

На расстоянии одной нивелирной станции от столбов в устойчивых местах устанавливают реперы (реп. 1 и реп. 2, рис. 4.11).

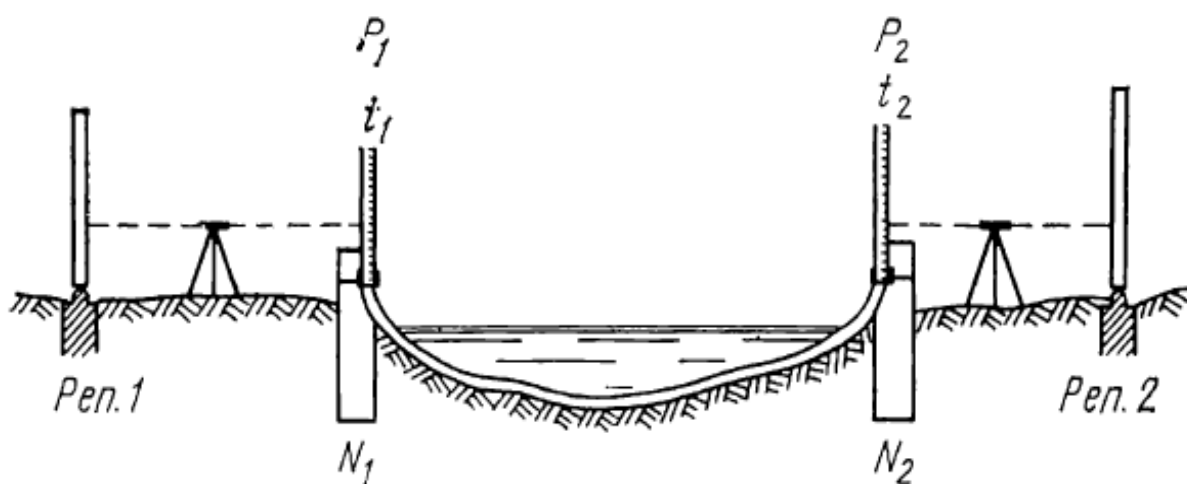


Рис. 4.11. Схема гидростатического нивелирования

При наблюдениях принимают, что мениски жидкости в трубках № 1 и 2 лежат в одной уровенной поверхности и при помощи двух нивелиров связывают эту поверхность с реперами [9]. Наблюдения ведут через определенные интервалы времени. Одновременно на каждом берегу измеряют давление P , температуру t воздуха и воды, чтобы при необходимости можно было в результаты ввести поправки [9]. Из многих наблюдений берут среднее, в благоприятных условиях этот метод обеспечивает передачу высоты через большие водные преграды с ошибкой в несколько миллиметров [9].

4.3. Разбивочная основа мостов и путепроводов

Необходимо помнить тот факт, что в зависимости от принятого способа разбивки опор и условий местности на мостовом переходе создают геодезическую сеть в виде триангуляции, линейно-угловых (базовых) треугольников, полигонометрии. При возможности разбивки опор по створу светодальномером в качестве основы служат исходные пункты продольной (главной) оси перехода.

4.3.1. Разбивка фундаментов опор мостов и путепроводов

Особая задача и сложность разбивки фундаментов опор мостов и путепроводов (точность мостовой разбивочной основы) должна быть достаточно высокой. Средние квадратические ошибки в положении центров опор, определяемых с пунктов этой основы, не должны превышать ошибок монтажа пролетного строения (15–20 мм), поэтому ошибки положения пунктов мостовой основы как исходной следует иметь в 1,5–2 раза меньше, т. е. в среднем около 10 мм.

Пункты мостовой основы закрепляют в геологически устойчивых местах, не затопляемых высокими паводковыми водами и удобных для производства разбивочных работ [9].

Геодезическое обоснование для строительства подходов к мосту, регуляционных и берегоукрепительных сооружений создается в виде дополнительных ходов светодальномерной или короткобазисной полигонометрии со средней квадратической ошибкой определения пунктов около 15 мм [9].

При возведении средних и малых мостов в качестве геодезической опоры используют исходные пункты, закрепляющие ось перехода на обоих берегах [9].

Мостовая триангуляция. Типовой фигурой мостовой триангуляции является сдвоенный геодезический четырехугольник (рис. 4.12, *а*), в котором сторона *AB* совпадает с продольной осью мостового перехода, а стороны *CD* и *EF* служат базисами разбивки опор [9]. В стесненных условиях иногда ось перехода сопрягается с пунктами триангуляции (рис. 4.12, *б*) дополнительными построениями [9]. При наличии в реке островов мостовая триангуляция (рис. 4.12, *в*) может развиваться в виде центральных систем [9].

Подобный тип сетей строят на переходах через большие проливы и озера, устанавливая пункты в воде на прочно забитых сваях с защитными от ледохода устройствами [9].

Как правило, форма геодезического четырехугольника выбирается из условия разбивки опор с пунктов мостовой триангуляции способом прямой засечки с максимально возможной точностью. При этом, как известно, необходимо, чтобы углы засечки в центре опоры составляли около 90° , т. е. чтобы береговые стороны четырехугольника равнялись примерно половине длины мостового перехода.

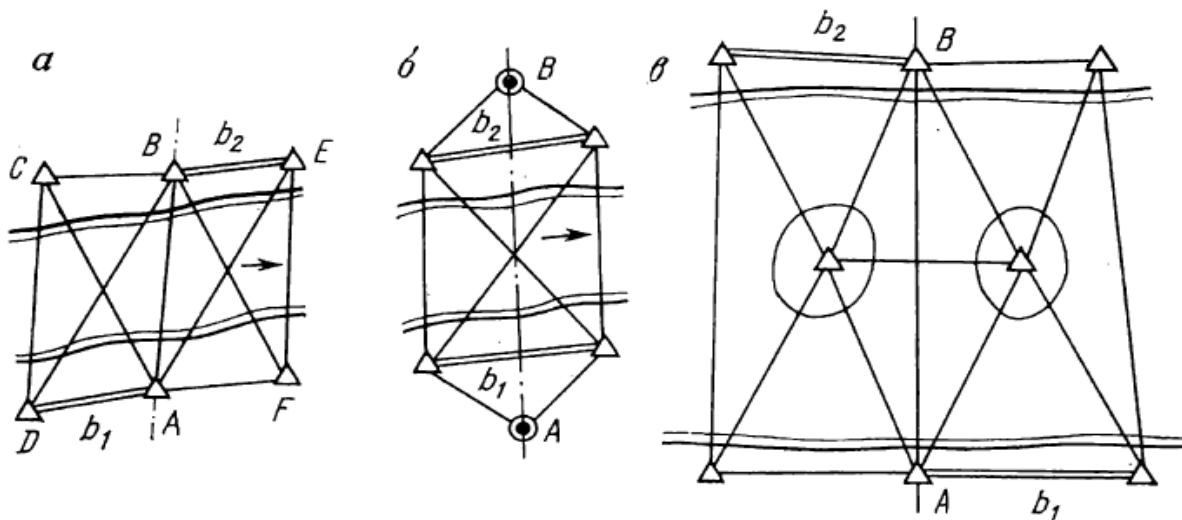


Рис. 4.12. Мостовая триангуляция

Исходя из вышеприведенного требования, для повышения точности разбивочных работ геодезический четырехугольник должен иметь вытянутую форму с отношением ширины к длине (продвигом) около $1/2$ и острыми углами при диагоналях $\beta = \arctg 1/2 \approx 27^\circ$.

Особенность в том, что при таких острых углах сильно возрастает ошибка геометрической связи треугольников («обратный вес») и для обеспечения требуемой точности в положении пунктов триангуляции приходится повышать точность угловых измерений [9].

За основу принимают предварительный расчет проекта мостовой триангуляции, который производят по формулам оценки точности элементов ряда.

Уточненные расчеты выполняют путем решения весовых функций для стороны сети между исходными пунктами мостового перехода и для абсциссы и ординаты одного-двух пунктов базисов засечки. Необходимые для составления условных уравнений величины углов, сторон и координат находят по проекту сети [9].

Особенность в том, что между пунктами мостовой триангуляции обеспечивается взаимная видимость при наблюдениях с земли и тригонометрические знаки строят в виде небольших пирамид высотой

от 4 до 6 м. При закладке центра особенно тщательно сводят к нулю редуцицию знака.

В качестве знаков удобно закладывать трубчатые столбы, возвышающиеся над поверхностью земли на 1,2 м с приспособлением в верхнем торце для принудительного центрирования теодолита и визирной цели с точностью 1 мм [9].

Сложность состоит в том, что в сети измеряют две базисные стороны со средней квадратической ошибкой не более 2–3 мм.

При использовании светодальномеров в качестве базисных определяют длинные стороны между пунктами, расположенными на противоположных берегах («базисы засечки») [9].

При использовании инварных приборов выбирают короткие береговые стороны, удобные для точных линейных измерений.

Проводя разбивочные работы весьма важно иметь неискаженный масштаб базисных сторон, следовательно, перед базисными измерениями и сразу после их окончания контролируют на полевом или стационарном компараторе неизменность постоянной поправки светодальномера или уравнений инварных приборов. В измеренные линии вводят поправки за метеорологические условия (светодальномер), компарирование и температуру (инварные приборы), а также поправку за наклон линии.

При большой разности высот пунктов сеть редуцируют на средний уровень, принимаемый в качестве поверхности относимости [9].

Угловые измерения выполняют теодолитами типа Т1 или Т2 со средней квадратической ошибкой 1–2". Такая точность достигается при строгом центрировании теодолита и визирных целей.

Основная сложность при выполнении работ в том, что условия измерений часто бывают весьма неблагоприятные при неоднородном поле рефракции.

Часть направлений проходит над сушей, часть над водной поверхностью, где, как правило, температурные градиенты имеют различную величину и направление, что приводит к значительным ошибкам в угловых измерениях (до 3–5") [9].

Для уменьшения влияния боковой рефракции поднимают визирные лучи над поверхностью воды и земли на высоту не менее 2–3 м, чередуют утренние и вечерние угловые измерения, отдают предпочтение наблюдениям в пасмурные дни при легком ветре [9].

Мостовая триангуляция уравнивается строгим способом и вычисляется как самостоятельная сеть: за начало координат обычно принимают один из исходных пунктов, а ось мостового перехода – за ось абсцисс.

Линейно-угловые сети. В связи с внедрением в геодезическое производство точных светодальномеров для разбивки мостов предложены специальные линейно-угловые сети (рис. 4.13).

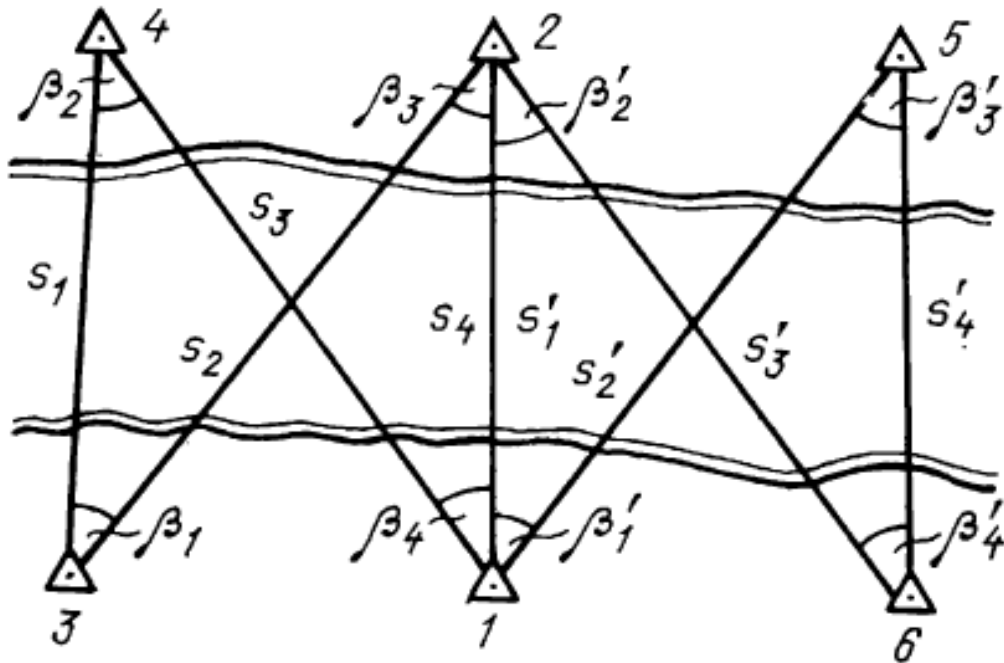


Рис. 4.13. Мостовая сеть из базовых треугольников

Типовой фигурой таких сетей является так называемый базовый треугольник 1, 2, 3, 4, в котором измерены четыре стороны s_1 , s_2 , s_3 , s_4 и четыре угла β_1 , β_2 , β_3 , β_4 [9].

Береговые стороны и направления не измеряются, обычно на мостовом переходе строят сдвоенный базовый треугольник, в котором средняя сторона 1–2 совмещена с продольной осью моста, стороны 3–4 и 5–6 служат базами разбивки [9].

Сети из базовых треугольников обладают существенным рядом достоинств – отсутствие направлений вдоль берегов позволяет измерять углы в примерно одинаковых внешних условиях и уменьшает влияние боковой рефракции, при этом взаимная видимость между пунктами сетей обеспечивается без постройки высоких знаков.

При сравнительно небольшом объеме линейных и угловых измерений сеть обладает достаточной точностью и высокой маневренностью в сложных условиях местности [9].

В базовом треугольнике возникают три условия:

- фигур;
- сторон;
- проекций.

Условие фигур состоит в равенстве углов при пересекающихся диагоналях, определяемых по зависимости [9]

$$180^\circ - (\beta_1 + \beta_2) = 180^\circ - (\beta_3 + \beta_4), \quad (4.19)$$

или в равенстве суммы углов, определяемой по зависимости [9]

$$\beta_1 + \beta_2 = \beta_3 + \beta_4. \quad (4.20)$$

Условие сторон содержит следующее положение: общая для двух смежных треугольников неизмеряемая сторона, вычисленная по измеренным элементам этих треугольников, должна быть одинаковой [9].

Условие проекций заключается в том, что сумма проекций сторон базового треугольника на ось мостового перехода равна нулю [9].

Основное условие в том, что в сетях из базовых треугольников ошибка уравненного дирекционного угла сторон равна ошибке угловых измерений.

Средняя квадратическая ошибка уравненной стороны практически не зависит от размеров и формы сети и примерно на 15 % меньше ошибки линейных измерений [9].

Не следует забывать, что ошибки координат и положения конечных пунктов базиса разбивки увеличиваются с увеличением длины мостового перехода и продвига сети. При этом ошибки абсцисс (сдвиг вдоль оси моста) возрастают быстрее, чем ошибки ординат [9].

Полигонометрия. При строительстве моста на сравнительно сухой пойме или суходоле разбивочная сеть может быть создана продолжением ходов светодальномерной полигонометрии, опирающихся на исходные пункты мостового перехода (рис. 4.14).

Методика выполнения работ заключается в том, что продольные стороны 3–5 и 6–8 таких ходов проектируют параллельно оси перехода 1–2 и располагают от нее на расстоянии около 100 м, чтобы пункты не попадали в зону строительных работ.

Стороны в таких ходах измеряют со средней квадратической ошибкой не более 2–3 мм (светодальномер типа МСД-1М), углы – от 2 до 3", т. е. с таким расчетом, чтобы в уравненном ходе ошибка взаимного положения пунктов не превышала 10 мм.

После вычисления координат (в системе мостового перехода) пункты редуцируют по оси ординат, чтобы они располагались строго в одном створе, параллельном оси моста, для удобства разбивочных работ способом прямоугольных координат или створной засечки [9].

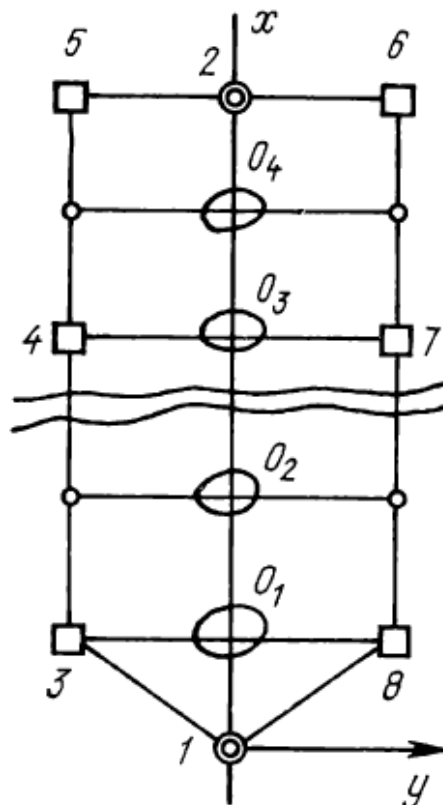


Рис. 4.14. Мостовая полигонометрическая сеть

На большом мостовом переходе, расположенном в сложной широкой пойме, включающем несколько мостов через отдельные протоки, геодезическая разбивочная основа может строиться из сочетания триангуляционных, линейно-угловых и полигонометрических сетей [9].

4.3.2. Разбивка центров мостовых опор и путепроводов

Восстановление трассы перехода. Особенность проведения работ в том, что для строительства мостового перехода определяют и закрепляют на местности положение центров отдельных опор, осей регуляционных устройств и подходов к мосту, а также производят детальные плановые и высотные разбивочные работы при возведении этих сооружений и монтаже пролетного строения.

Наиболее сложной и ответственной из этих работ является разбивка центров мостовых опор (O_1, O_2, \dots , рис. 4.15) [9].

Перед началом разбивочных работ восстанавливают трассу: уточняют пикетаж на участке перехода, проверяют сопряжение перехода с подходами, контролируют положение пунктов мостовой основы и высоты реперов нивелирной сети.

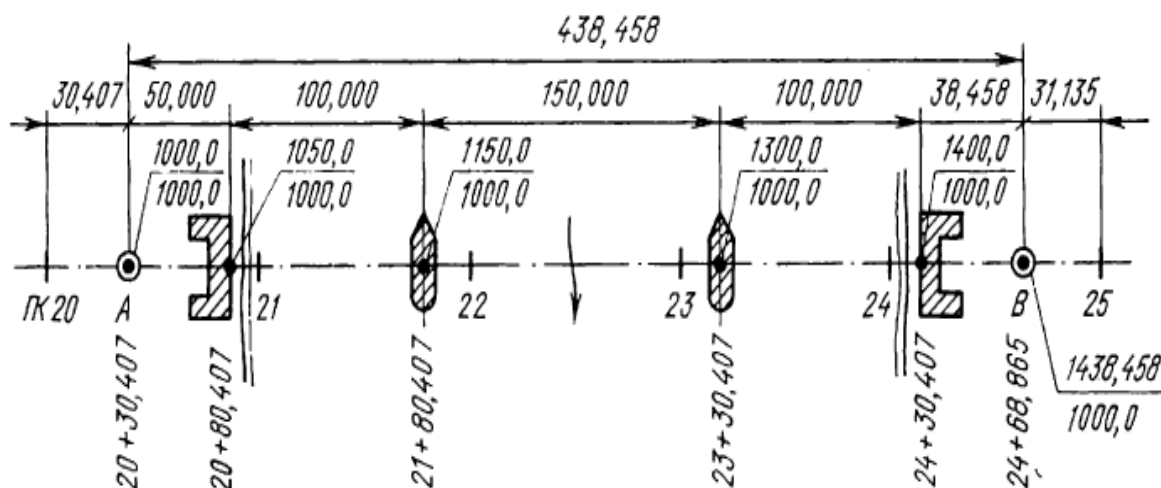


Рис. 4.15. Привязка центров опор к пикетажу трассы

Положение мостового перехода на местности определяется общим пикетажем трассы и привязкой к исходным пунктам *A* и *B* (см. рис. 4.15). Центры опор задаются координатами, пикетажным значением и для контроля – пролетными расстояниями [9].

Разбивка опор мерными приборами. Особенность проведения работ в том, что при расположении моста на суходоле или в случае разбивки в зимнее время по льду плановое положение центров опор может быть определено путем непосредственного откладывания мерным прибором проектных расстояний от исходных пунктов по продольной оси моста.

Линейные измерения выполняют шкаловыми лентами или рулетками по специально сооруженным горизонтальным мосткам, натяжение мерных приборов задается динамометром [9]. Поправки за температуру и компарирование мерного прибора вводят в измеренную величину каждого пролета [9].

Основа методики проведения работ в том, что разбивку ведут от обоих исходных пунктов к середине. Вследствие ошибок измерений для центра средней опоры получатся две точки: одна по измерениям от левого исходного пункта, другая от правого.

Если расстояние между полученными точками не превышает предельной ошибки измерений, то из этих двух точек берут среднюю и принимают ее за центр опоры, при этом несколько сдвигают в соответствующую сторону и центры ближайших опор, распределяя таким образом полученную невязку [9].

Далее положение центров опор фиксируют на мостках и для контроля измеряют все пролеты между исходными пунктами, на основании этих измерений составляют исполнительный чертеж разбивки

опор. Намеченные центры опор закрепляют на суходоле створными плоскостями.

При разбивке по льду знаки крепления устанавливают по створам на берегах вне зоны затопления, таким же способом разбивают опоры многопролетных мостов на неглубоких и несудоходных реках и проливах [9].

В этом случае мостки строят не по оси перехода, а сдвигают их параллельно оси на некоторую величину (50–100 м), чтобы мостки не попадали в зону строительного-монтажных работ и сохранились на все время строительства [9].

Исходные точки A и B (рис. 4.16) при помощи теодолита переносят под прямым углом к оси мостового перехода на ось мостков (параллельную ось).

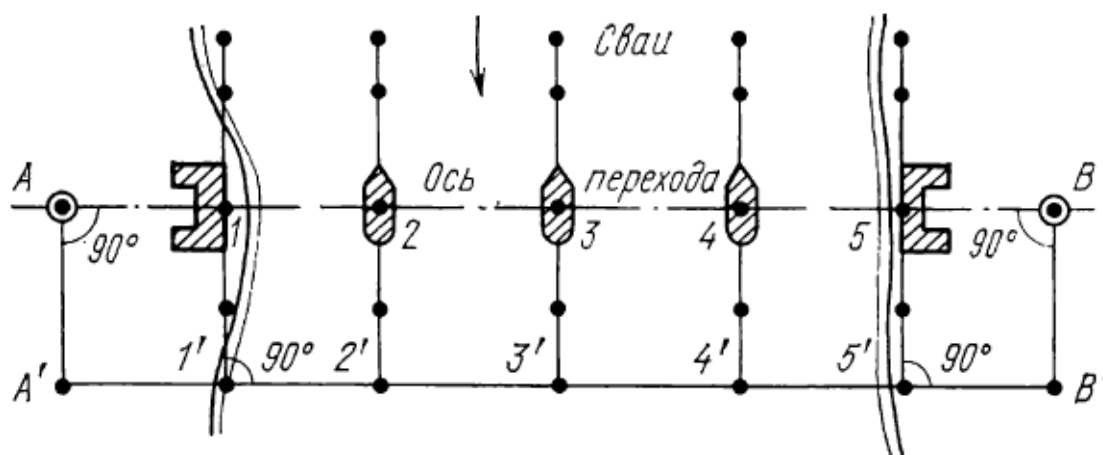


Рис. 4.16. Разбивка центров опор с параллельной осью

От полученных точек A' и B' как исходных разбивают проекции центров опор (точки $1'$, $2'$, $3'$...). Установив в каждой из полученных точек теодолит и задав перпендикуляр к оси $A'B'$, находят направление продольной оси опоры, которое в пересечении с осью мостового перехода AB дает положение центра опоры [9]. На сложных переходах для контроля разбивочных работ и повышения их точности параллельные оси строят с двух сторон мостового перехода [9].

Продольные оси опор дополнительно закрепляются сваями, что дает возможность выносить продольные оси на строящиеся опоры в случае нарушения видимости между правой и левой параллельными осями [9].

Применение светодальномеров. Особенность проведения работ в том, что на суходоле или на льду, а также на намытых островках центры опор удобно разбивать при помощи светодальномера (рис. 4.17).

Как и при использовании мерных лент, разбивочными элементами в этом способе служат проектные расстояния от исходного пункта, на котором установлен прибор, до определяемых центров опор, откладываемые методом редуцирования [9].

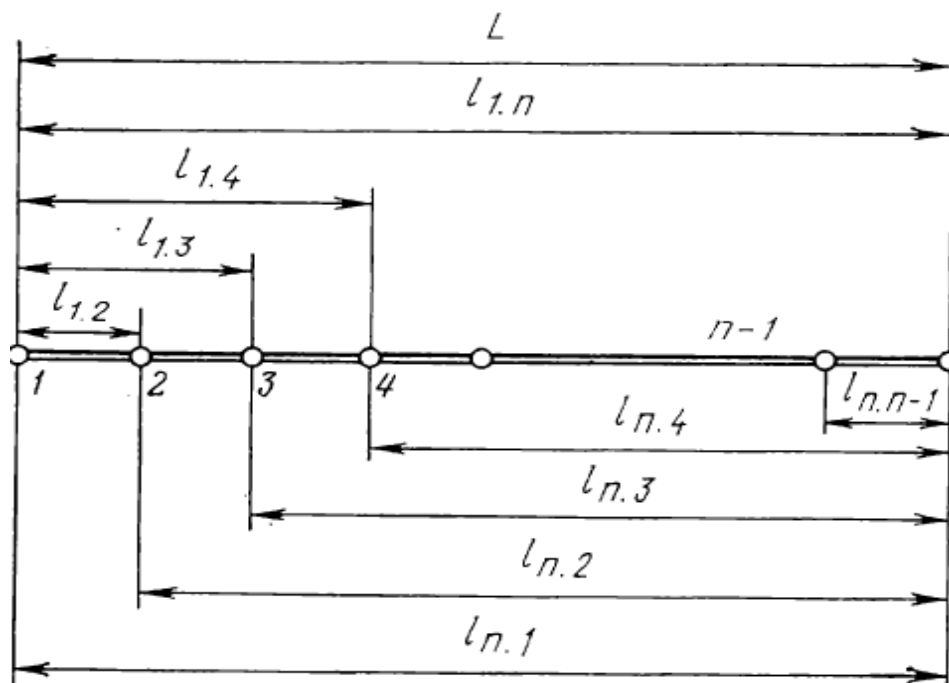


Рис. 4.17. Схема разбивки центров опор светодальномером

Особенность проведения работ в том, что строго в створе мостового перехода намечают примерное положение центров опор и, последовательно устанавливая в этих точках отражатель, измеряют светодальномером расстояние от них до первого исходного пункта.

Расстояния приводят к горизонтальному проложению и сравнивают с проектными, найденные редукции откладывают в соответствующие стороны по оси перехода и полученные точки закрепляют как центры опор [9].

Для контроля разбивочных работ светодальномер перевозят на второй исходный пункт, определяют расстояния до всех закрепленных центров опор и по разности этих расстояний находят величины пролетов [9].

Особенность проведения работ в том, что если в процессе строительства видимость по продольной оси мостового перехода может быть закрыта, то для светодальномера целесообразно создавать параллельные оси вне зоны строительных работ.

С закрепленных точек на этих осях разбивают центры опор створно-линейным способом или створной засечкой [9].

Прямая угловая засечка. Особенность проведения работ в том, что на переходах через большие судоходные реки центры опор часто разбивают прямыми угловыми засечками с пунктов мостовой сети.

Для проведения работ (разбивки) предварительно составляют генеральный разбивочный чертеж, на который наносят исходные пункты, привязанные к пикетажу трассы, пункты мостовой сети с указанием дирекционных углов сторон, центры мостовых опор с направлениями на пункты базиса засечки и величинами разбивочных углов.

Центр каждой опоры засекают минимум тремя направлениями: с двух пунктов базиса засечки и по створу продольной оси перехода [9].

В контуре опоры визирная цель устанавливается в точке пересечения линий визирования двух теодолитов, одновременно задающих разбивочные углы β_1 и β_2 с пунктов базиса засечки (рис. 4.18) [9].

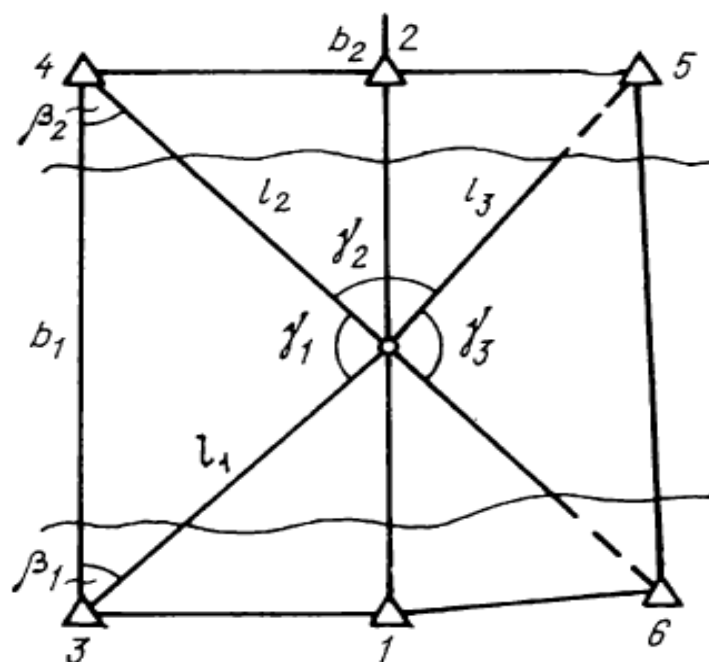


Рис. 4.18. Разбивка центра опоры угловой засечкой

Построение выполняют при двух положениях круга, закрепляя среднюю точку. Третьим теодолитом уточняют положение этой точки на оси перехода. На острове или суходоле средняя квадратическая ошибка разбивки центра опоры не должна превышать 1–2 см [9].

Разбивка центров опор на плаву. Особенность проведения работ в том, что на глубоких реках опоры разбивают на плаву, предварительно закрепляя их центры плавающими вехами. Основание опоры

в виде камеры или рамного каркаса с замаркированным центром и поперечной осью подвозят к закрепленному месту (плавучей вехой) и по засечкам с базиса разбивки добиваются, чтобы центр основания занял проектное положение. Одновременно, разворачивая камеру по азимуту, совмещают третьим теодолитом ее поперечную ось с продольной осью мостового перехода. Связь между наблюдателями осуществляется по радио или полевому телефону [9].

Нельзя забывать, что установка основания опоры на плаву является трудоемким процессом, выполняемым методом приближения. Даже при весьма тщательной работе центр опоры может быть установлен с ошибкой от 10 до 20 см, и его положение уточняется в процессе строительства опоры.

Особую эффективность здесь приносят засечки и визирования с применением лазерных теодолитов [9].

Способ приведений. Особенность проведения работ в том, что если есть возможность установить теодолит в контуре сооружаемой опоры, то выгодно применять способ приведений – обратную угловую засечку по пунктам мостовой сети с редуцированием точки определения к проектному центру опоры.

Установив теодолит примерно в центре опоры, измеряют, как в обратной засечке, углы между направлениями на три-четыре пункта мостовой сети, по разностям измеренных и проектных значений углов и установочным элементам определяют линейные величины редукации, отложив которые по осям координат, находят уточненный центр опоры (задача решается методом приближений) [9].

Если рассматривать способ приведений, наоборот, координаты проектной точки известны и необходимо найти ее положение в натуре как центра опоры.

Как и в обратной засечке, точность определения элементов приведения существенно зависит от положения центра опоры относительно окружности, проходящей через наблюдаемые геодезические пункты сети [9].

Чем ближе центр опоры находится к середине этой окружности, тем точнее результат, поэтому при использовании этого способа по проектному разбивочному чертежу для каждой опоры намечают для наблюдений пункты мостовой сети, дающие оптимальное решение задачи [9].

Контрольные вопросы

1. Из каких основных элементов состоит мостовой переход?
2. Что обеспечивает сохранность и нормальную работу основных сооружений перехода?
3. На основе каких материалов выполняют выбор оптимального места устройства мостового перехода?
4. Какие виды основных работ выполняют для любой стадии при проектировании мостовых переходов?
5. Какие основные этапы и виды работ осуществляют при изысканиях мостовых переходов?
6. Что фиксируют на ситуационных планах вариантов трассы мостового перехода?
7. Как ведут измерения горизонтальных углов и с какой допустимой угловой невязкой?
8. Что, кроме топографической съемки планов, входит в состав геодезических работ при изысканиях мостовых переходов?
9. Что широко применяют при производстве геодезических работ в ходе изысканий мостовых переходов на современном этапе?
10. Какими работами заканчивают комплекс действий по возведению земляного полотна?
11. Какие виды геодезических работ выполняют при изысканиях и строительстве мостовых?
12. Что является основной фигурой мостовой триангуляции?
13. Каким требованиям должен удовлетворять выбранный мостовой переход?
14. Какие есть и для чего служат разбивочные сети?
15. Что необходимо установить для расчета малого водопропускного сооружения при производстве изысканий?
16. Какого класса нивелирные ходы прокладывают для создания высотной геодезической основы разбивки мостов?
17. В чем заключается вертикальная разбивка моста?
18. Какими методами передают отметки с одного берега на другой при строительстве мостового перехода?

Глава 5

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ПОВЕРКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Один из самых ответственных – строительный период – включает систематический контроль над правильностью положения элементов относительно оси сооружения, за соответствием его геометрических форм проектным параметрам. Кроме того, осуществляются разбивка и контроль элементов сооружений при производстве планировочных работ, а также работ, связанных с устройством дорожных оснований, покрытий искусственных конструкций.

На самом ответственном (заключительном) этапе строительства перед сдачей объекта заказчику составляют исполнительную техническую документацию на основе съемки продольных и поперечных профилей построенной дороги, мостовых переходов, путепроводов, водопропускных сооружений.

От качества выполнения работ по геодезическому контролю зависят срок службы и безопасность эксплуатации сооружения.

5.1. Разбивочные, строительные допуски и разбивочно-контрольные приспособления

Геодезические работы периода строительства дороги предназначены для обеспечения своевременного и качественного контроля над соответствием натуральных размеров возводимого земляного полотна его проектным параметрам.

Вынесенная на местность ось автомобильной дороги в процессе производства детальных разбивок играет роль опорной линии и используется для привязки к ней и отложения от нее всех параметров возводимого земляного полотна.

Говоря о важности выполнения разбивочных работ при проложении оси трассы и возведении дорожного полотна (дорожной одежды), необходимо отметить, что в строительном процессе большое значение имеет взаимное расположение разбивочных контуров дорожной одежды относительно основной ее оси. При этом степень приближения размеров возводимой дороги к ее проектным параметрам характеризует точность разбивочных работ.

Отклонения геометрических форм возводимой дороги от их проектного значения ограничены и допускаются в пределах,

не влияющих на транспортно-эксплуатационные характеристики дороги. При этом допускаемые размеры отклонений установлены соответствующими нормативными документами.

В дорожном строительстве таковыми являются: свод правил (СП); строительные нормы и правила (СНиП); национальный стандарт Российской Федерации (ГОСТ Р); предварительный национальный стандарт Российской Федерации (ПНСТ); отраслевой дорожный методический документ (ОДМ).

Данные нормативные документы имеют перечень максимально допустимых размеров отклонений, сравнение которых с фактическими данными является критерием оценки качества выполненных дорожно-строительных работ [8].

Следует отметить, что в обязательном порядке после выполнения проектной организацией изысканий производится полевая приемка вынесенной и закрепленной геодезическими знаками на местности трассы автомобильной дороги (подрядчик в присутствии заказчика оформляет актом прием-передачу закрепленной трассы с приложением к нему необходимых ведомостей и журналов).

Большое значение при приемке высотного обоснования имеет сверка с каталогом и уточнение в натуре местоположения пунктов государственной геодезической сети, используемых при проведении изыскательских работ. При этом выборочной проверке подлежат отдельные отметки пикетажа трассы и выносных точек.

При проведении работ по возведению земляного полотна и строительству дорожной одежды ошибки, возникающие в результате работы, производимой строительными машинами и механизмами, оказывают большое влияние на соблюдение точности возведения основных элементов дороги. Не следует забывать, что недостаточная точность разбивочных работ заметно увеличивает ошибки в период строительных работ.

Независимо от соотношения величин погрешностей при разбивочных работах и возведении дороги их общая суммарная ошибка не должна превышать величин допуска [8].

Средняя квадратическая ошибка геодезических измерений при производстве разбивочных и контрольных работ не должна превышать 35 % величины строительного допуска на плановые и высотные разбивочные работы, определяемые допускаемыми размерами отклонений, установленными соответствующими нормативными документами.

Точность проведенных геодезических измерений m определяется по зависимости [8]

$$m = \pm 0,35\Delta, \quad (5.1)$$

где Δ – величина предельного строительного допуска, равного удвоенному значению средней квадратической ошибки.

Нормативной точностью геодезических разбивочных работ пользуются при детальной разбивке земляного полотна перед началом его возведения, в процессе разбивки для планировочных работ и работ по устройству дорожных оснований и покрытий [8].

Вследствие того, что точность разбивочных работ в значительной степени зависит от стадии строительства дороги, для оперативного промежуточного геодезического контроля можно принять норму точности величины строительного допуска Δ .

Принятие нормы точности величины строительного допуска Δ при промежуточных проверках повышает оперативность контроля без снижения качества выполняемых работ [8].

В местах механизированного и гидромеханизированного способов возведения земляного полотна геодезическому контролю подлежит положение возводимого полотна относительно его оси, положение бровок насыпей и выемок при их послойном сооружении, высота насыпи или глубина выемки как послойно, так и в целом, крутизна откосов и соответствие фактического продольного профиля его проектному значению. Для осуществления оперативного геодезического контроля используют плановые и высотные знаки закрепления детальных разбивочных работ подготовительного периода.

Обязательный контроль плановых и высотных параметров сооружаемого полотна производят с использованием линейных, угловых и высотных данных журнала разбивочных работ. Промежуточный оперативный контроль возведения земляного полотна осуществляют в соответствии с нормативными допусками.

При возведении земляного полотна в процессе эксплуатации дороги происходит осадка, поэтому при производстве планировочных работ земляное полотно сооружают с превышением проектных отметок (примерно на 10 см).

Величина уширения насыпей и недобор грунта с откосов не должны превышать 15 см [8].

Разбивочный прибор состоит из двух шарнирно соединенных стоек-ножек, напоминающих большой пропорциональный циркуль [8]. На продолжении ножек помещено самоустанавливающееся

под действием груза устройство с горизонтальной и вертикальной линейками. Линейки служат для считывания величин превышений и горизонтальных проложений в масштабе 1:10 [8].

Широкое распространение, помимо геодезических приборов, в дорожном строительстве получили специальные приспособления для разбивочных и контрольных работ. К таким приспособлениям относят разбивочный прибор, вешки-визирки, контрольный шаблон и различные типы откосников.

Основное преимущество вышеперечисленных разбивочных приспособлений в том, что они не требуют использования труда квалифицированных (высококвалифицированных) работников и характеризуются простотой устройства и удобством применения.

Работа с разбивочным прибором требует двух человек, один из которых последовательно переставляет стойки-ножки прибора и читает отсчеты по линейкам, а второй ведет запись отсчетов и следит за правильностью установки прибора в створе. Сумма отсчетов по линейкам в миллиметрах соответствует фактическим вертикальным и горизонтальным расстояниям между определяемыми точками в сантиметрах.

Относительная ошибка измерения превышений составляет 1:150, а горизонтальных проложений – 1:600 [8].

Возможность непосредственного определения превышений и горизонтальных проложений позволяет использовать разбивочный прибор для выполнения разбивочных, контрольных и восстановительных работ [8]. Вешки-визирки (рис. 5.1) состоят из деревянной рейки или вешки высотой 2 м и горизонтальной планки, которая с помощью зажимного устройства закрепляется на вешке [8].

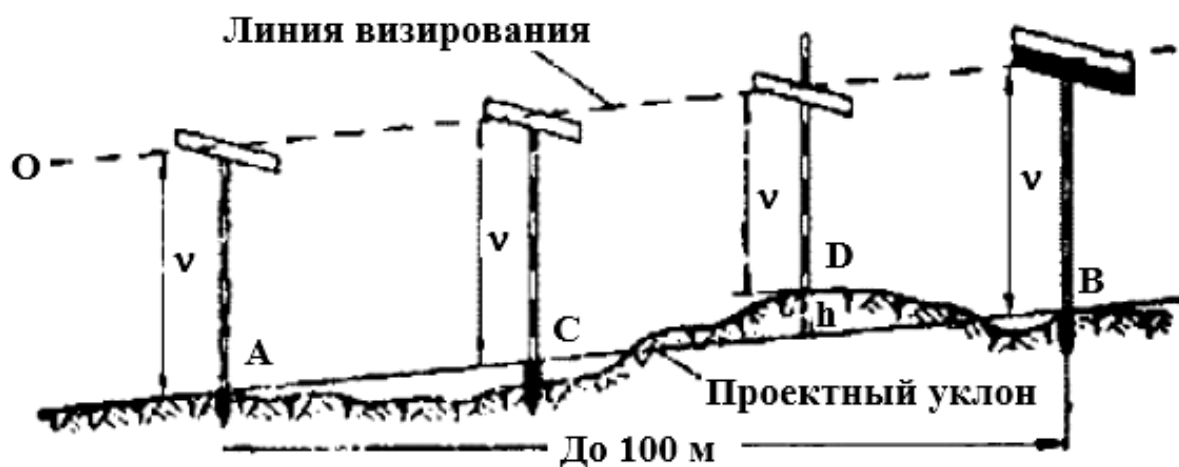


Рис. 5.1. Схема применения вешек-визирок

Основой выполнения работ является необходимость в установке планки на необходимой высоте, для этого на рейке наносят сантиметровые деления, у вешек для этой цели используют окрашенные в белый и красный цвет дециметровые деления. В комплект входят три вешки-визирки (смотровая, ходовая и визирная). Первые две снабжены горизонтальными планками белого цвета, а третья имеет уширенную планку, нижняя половина которой окрашена в черный цвет. Для визирования используют верхние грани планок, а у визирной вешки – границу раздела окраски планки.

Для выполнения работ горизонтальные планки смотровой и визирной вешек закрепляют на одинаковой удобной для наблюдателя высоте ν , затем вешки устанавливают соответственно в точках наблюдения A и визирования B , отметки которых должны соответствовать проектным отметкам профиля.

В целях закрепления на местности проектного уклона горизонтальную планку ходовой визирки устанавливают на одинаковой высоте ν со смотровой и визирной вешками и последовательно устанавливают в промежуточных точках (например, в точке C , см. рис. 5.1) на верх кольев, забивая последние, добиваются совмещения в одной плоскости визирных граней всех вешек, в результате положение верха колея обозначит вынесенный на местность проектный уклон линии [8].

Определяя рабочие отметки, ходовую визирку устанавливают в промежуточных точках (например, в точке D , см. рис. 5.1) и перемещением горизонтальной планки добиваются ее совмещения с плоскостью визирования.

Рабочая отметка h определяется алгебраической разностью высоты ν установки планок на смотровой и визирной вешках и отсчетом Π по ходовой визирке по следующей зависимости [8]:

$$h = \nu - \Pi, \quad (5.2)$$

где ν – алгебраическая разность высоты установки планок на смотровой и визирной вешках, м;

Π – отсчет по ходовой визирке, м.

Точность определения отметок с применением описанных способов составляет $\pm 2-3$ см.

Вешки-визирки и особенность их применения в том, что ими пользуются в пределах однообразного уклона на расстояниях между смотровой и визирной вешками не более 100 м, однако не исключается возможность их установки у фиксированных точек на более коротких (до 20 м) расстояниях.

В этом случае ходовая визирка применяется для развития плоскости визирования и определения проектного положения точек по обе стороны от закрепленного смотровой и визирной вешками базиса и точность определения отметок несколько ухудшается, снижаясь до $\pm 3-5$ см [8].

Основное преимущество *вешек-визирок* в том, что они являются универсальными разбивочными знаками. Они могут быть использованы также для закрепления границ и высоты элементов земляного полотна, вешения и закрепления прямых, определяющих направление движения землеройных машин и других разбивочных работ, требующих обозначения в плане и по высоте.

Необходимым инструментом при проведении геодезических работ является *контрольный шаблон*, состоящий из дюралюминиевой трубки или деревянного бруска 1 (рис. 5.2) длиной 2 м, на котором помещено шарнирное приспособление 2 с цилиндрическим уровнем 3 на одном плече.

Особенность в том, что при горизонтальном положении контрольного шаблона и выпрямленном шарнирном приспособлении ось уровня и нижняя плоскость шаблона взаимно параллельны. Для измерения малых значений уклонов (до 0,01) предусмотрен червячный механизм 4, вращением которого поднимают ближайший к нему конец шарнирного приспособления (рис. 5.2, а), а величину уклона при установке уровня в нуль-пункте читают по круговой шкале лимба червячного механизма [8].

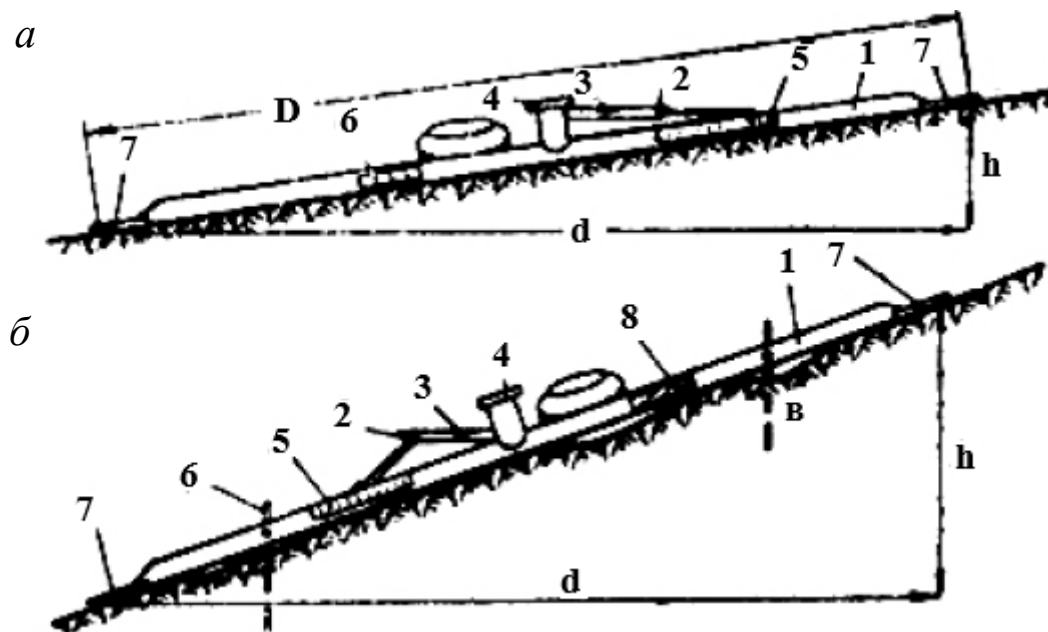


Рис. 5.2. Схема работы контрольным шаблоном

Для измерения уклонов, больших 0,01, шкалу червячного механизма устанавливают на нуль, второй конец шарнирного приспособления перемещают по продольным пазам трубки и при положении пузырька уровня в нуль-пункте фиксируют величину уклона с помощью указателя по шкале 5 (см. рис. 5.2, б) [8].

Методика проведения работ заключается в том, что крепление шаблона в грунте осуществляют двумя штырями 6, которые убирают в специальные пазы при транспортировке прибора. При измерении наклонных расстояний пользуются шпильками, которые вставляют в вырезы металлических пластин 7 на концах шаблона. Расстояния, которые могут быть существенно меньше длины шаблона, измеряют по имеющейся на трубке оцифровке через 1 см.

Для перевода наклонных расстояний в горизонтальные проложения и определения превышений пользуются прикрепленной с одной стороны шаблона номограммой 8, значения превышений и горизонтальных проложений также можно определить по следующим зависимостям [8]:

$$h = \frac{d}{n} = \frac{D}{\sqrt{1+n^2}}, \quad (5.3)$$

$$d = nh, \quad (5.4)$$

где h – превышение, м;

d – горизонтальное проложение, м;

D – измеренное наклонное расстояние, м;

1: n – значение уклона местности.

Основное преимущество *контрольного шаблона* в том, что его можно использовать не только для измерения значений уклонов, превышений и горизонтальных проложений, но и задавать или устанавливать проектные значения крутизны откосов. Для выполнения этих работ указатель крутизны по шкале 5 устанавливают на проектную величину, затем совмещают нижний конец шаблона с колышком основания откоса, а верхний передвигают до приведения уровня в нуль-пункт, нижняя грань шаблона в таком положении обозначит проектную крутизну откоса.

Этим приемом пользуются для установки в проектное положение откосной рейки и контроля над ее положением при перестановке откосника по образующей откосов выемок или насыпей [8].

При проведении контроля ровности шаблон укладывают на контролируемую поверхность и на глаз оценивают величину просвета между основанием шаблона и микрорельефом поверхности, что имеет свои недостатки, так как носит субъективный характер.

Следующим относительно простым прибором являются *откосники*, предназначенные для закрепления границ откосов насыпей и выемок, при этом нижнюю грань и конец откосной рейки используют для контроля крутизны откосов и проверки ширины земляного полотна в насыпях и выемках в процессе промежуточного контроля. Универсальные откосники применяют на откосах любой длины и крутизны, используя их наращивание по длине или перестановку по откосу.

В настоящее время различают составные, складные, раздвижные и выдвижные откосники, которые изготавливают из дерева или металла. Несмотря на различие конструктивных особенностей откосников, общий принцип их устройства и применения одинаков.

Для приведения откосника в рабочее положение в точке закрепления откоса забивают или закапывают в грунт основную стойку 1 (рис. 5.3) на глубину до 0,6 м с проверкой ее положения по отвесу. После отсыпки или срезки первого слоя грунта (0,5–1,0 м) к стойке прикрепляют откосную рейку 2, которую связывают со стойкой горизонтальной планкой 3 [8].

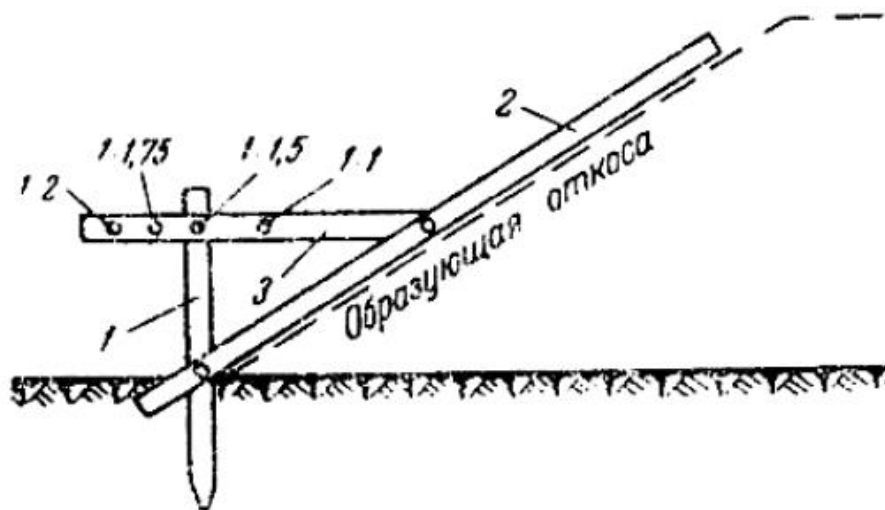


Рис. 5.3. Схема установки откосника

Суть в том, что изменением длины горизонтальной планки достигают установки откосной рейки под проектной крутизной образующей откоса, при этом наращивание откосной рейки осуществляется после отсыпки или срезки очередного слоя грунта.

Особенность производства работ в том, что при длинных откосах для поддержания откосной рейки в проектном положении применяют подставки из забиваемых в грунт кольев или специальные проволоочные оттяжки с креплением их к основной стойке [8].

Откосник переставляют по откосу обычно через 3 м высоты насыпи или глубины выемки, при этом нижнюю грань конца откосной рейки фиксируют колом, проверяют его высотное положение и используют в качестве точки для новой установки откосника, правильность установки, удлинения и перестановки откосной рейки проверяют контрольным шаблоном [8].

Основное преимущество данного прибора в том, что при перемене мест крепления к стойке откосной рейки и горизонтальной планки откосник используют для контроля откосов выемок.

Ватерпасовка. Методика выполнения работ заключается в том, что на крутых скатах определение превышений и горизонтальных проложений между двумя точками местности производят с помощью двух нивелирных реек длиной 3 и 2 м и накладного цилиндрического уровня. Особенность выполнения работ в том, что двухметровую рейку устанавливают вертикально, а трехметровую с помощью уровня – горизонтально (рис. 5.4).

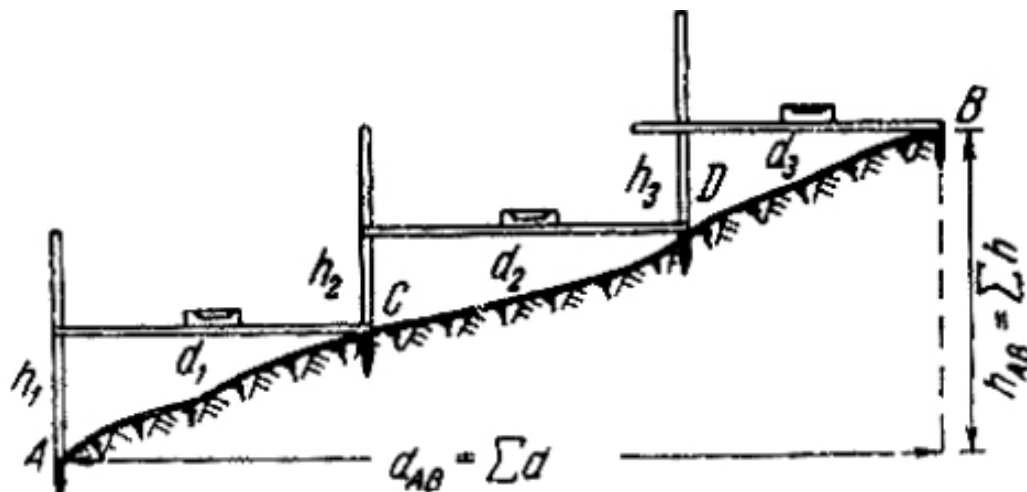


Рис. 5.4. Ватерпасовка

Преимущество в том, что в качестве горизонтальной рейки может быть использован контрольный шаблон.

Методика выполнения работ заключается в том, что по вертикальной рейке, пользуясь нижней гранью горизонтальной рейки как указателем, отсчитывают величины превышений. Отсчеты по горизонтальной рейке до внутренней грани вертикальной рейки обозначат

величины горизонтальных проложений между нивелируемыми точками, при этом общее превышение выразится суммой отсчетов по горизонтально устанавливаемой рейке.

Точность ватерпасовки составляет $\pm 4-5$ см на одну станцию [8].

5.2. Выверка и наблюдение за деформациями пролетного строения мостов и путепроводов

Способы монтажа. Технологические особенности и точность выполнения работ при монтаже пролетного строения мостов и путепроводов имеет огромное значение для надежности и сроков эксплуатации искусственных сооружений. Мостовые пролетные строения опираются на подферменные площадки при помощи специальных опорных частей, конструкция которых предусматривает возможность некоторого перемещения концов пролетного строения под влиянием колебания температуры. Опорные части разбивают от осей опоры и устанавливают на горизонтально выверенные плоскости подферменников, причем нижняя площадка наглухо цементируется в этой плоскости, а верхний узел крепится болтами к главной ферме.

Монтаж пролетного строения может быть выполнен несколькими способами [9]:

- а) полунавесной и навесной сборкой непосредственно в пролете;
- б) сборкой на береговой подходной насыпи с последующей надвижкой в пролет;
- в) сборкой на прибрежном стапеле с перевозкой к пролету плавучими средствами.

Независимо от принятой технологии монтажа геодезические работы при сборке и установке пролетного строения включают [9]:

- а) детальную разбивку продольной оси моста и периодическую выверку прямолинейности и соосности сборки главных ферм способом оптического визирования по продольной оси или способом бокового нивелирования по нижнему поясу с параллельной оси, отстоящей от первой на величину, определяемую по зависимости [9]

$$l = b / 2 + 0,5, \quad (5.5)$$

где b – ширина пролетного строения, м, с допускаемым отклонением от проекта не более 5 мм;

- б) высотную установку основных узлов ферм в проектное положение и выверку так называемого строительного подъема, осуществляемого методом геометрического нивелирования приборами

типа НЗ или точного тригонометрического нивелирования теодолитом Т2 со средней квадратической ошибкой определения проектной высоты (относительно рабочего репера) 2–3 мм и длине визирного луча до 100 м;

в) контрольные периодические наблюдения в процессе сборки и установки пролетного строения за плановыми деформациями временных опор и сборочных подмостей методом створных измерений и осадками рабочих реперов нивелированием, а также введение соответствующих исправлений в положение осевых знаков и в высоты реперов.

Плановая выверка пролетного строения. Особенность выполнения работ при полунавесной или навесной сборке заключается в том, что в пролете геометрические оси секций пролетного строения маркируют тонкими рисками и по теодолиту совмещают со створом продольной оси мостового перехода, закрепленной на постоянных и временных опорах. Применяя способ бокового нивелирования, необходимо постоянно контролировать технологические требования установки очередной секции пролетного строения при одних и тех же отсчетах по горизонтальным рейкам.

Методика и технологические требования выполнения работ заключаются в том, что при сборке пролетного строения на прибрежной площадке разбивают и закрепляют в натуре продольную ось пролета и оси смежных опор, относительно которых разбивают положение каждой секции в плане и по высоте, тщательно выдерживая их проектные размеры, прямолинейность поясов, их строительный подъем.

Расстояние между осями опорных частей (длину пролета) проверяют компарированными штриховыми мерными приборами. Вертикальность стоек выверяют по отвесу [9].

Для установки в пролете пролетного строения, надвигаемого по устройствам скольжения с подходной насыпи или поднимаемого кранами с подвезенных понтонов, при помощи теодолита совмещают осевые риски секций с осью мостового перехода, а также оси опорных частей с осями подферменников, одновременно по предвычисленному отсчету по рейке нивелиром устанавливают на проектную высоту рабочие поверхности опорных частей [9].

Выверка строительного подъема. Нивелированием проверяют строительный подъем, который придают верхним или нижним поясам ферм (в виде некоторой плавной кривой), кривая строительного подъема выверяется несколько раз, при этом определяют высоты одних и тех же узловых точек нижних и верхних поясов [9].

Следует иметь в виду, что изменение температуры, особенно неодинаковый солнечный нагрев пролетного строения, значительно изменяет высоты узловых точек и искажает величину строительного подъема, поэтому нивелирование мостовых ферм желательно производить в пасмурную погоду, когда температурное удлинение всех элементов более или менее равномерное.

Значительное колебание температуры сильно изменяет высоты ферм арочных и висячих мостов, особенно в середине пролета, вследствие этого при нивелировании таких мостов необходимо измерять температуру и вводить поправки в полученные высоты, чтобы результаты привести к температуре первого контрольного нивелирования собранных ферм [9].

Методика выполнения работ заключается в том, что при нивелировании прибор устанавливают на опорах или на специально устроенных площадках или полках, привинченных к стойкам ферм. По результатам нивелирования составляют профиль поясов ферм.

Требуется, чтобы разность ординат строительного подъема одноименных узлов главных ферм не превышала $1/1\,000$ ширины пролетного строения для сечений на опорах и $1/500$ для сечений в пролете при условии сохранения плавности кривой строительного подъема [9].

Применение лазерных приборов. Для монтажа пролетного строения и контрольных измерений весьма эффективным является применение лазерных визиров и лазерных нивелиров [9]. Проектирование оси мостового перехода в виде непрерывного светящегося лазерного пятна на устанавливаемые балки и пояса ферм или закрепленные рейки обеспечивают высокую производительность и достаточную точность монтажных работ (в пределах 2–3 мм) [9].

Методика выполнения работ заключается в том, что при плановой установке конструкций в пролете лазерный прибор ориентируют по продольной оси мостового перехода или линии, ей параллельной, и путем поперечного передвижения главной фермы добиваются совпадения осевых меток на балках или предвычисленных отсчетов по горизонтальным рейкам (в способе бокового нивелирования) с видимой проекцией лазерного луча.

Высотную установку пролетного строения удобно производить относительно горизонтального лазерного луча или лазерной плоскости, задаваемых на проектной высоте лазерным нивелиром, установленным на постоянной или временной опоре [9]. В основных узлах пролетного строения укрепляют вертикальные рейки и по горизонту

нивелира вычисляют проектные отсчеты, с которыми совмещают на рейках проекцию лазерного луча или плоскости, передвигая пролетное строение по высоте [9].

Особенность в том, что по относительно видимой в натуре горизонтальной лазерной плоскости легко определять ординаты кривой строительного подъема и контролировать высоты опорных частей и монтируемых узлов по подвешенным рулеткам или рейкам.

Исполнительная съемка мостового перехода. По завершении монтажа пролетного строения производят исполнительную съемку мостового перехода, по результатам которой составляют план пролетного строения, профили строительного подъема ферм и продольный профиль пути для железнодорожных мостов или покрытия для автодорожных мостов [9]. На плане показывают координаты центров опор и реальное положение осей пролетов и опорных частей относительно продольной оси мостового перехода, а также величины отклонений от проектного положения металлических ферм или железобетонных плит [9].

Методика выполнения работ заключается в том, что на профиле строительного подъема указывают высоты верхних и нижних металлических поясов, отклонение ординат строительного подъема от проектных величин, высоты бетонных плит в точках опирания и в середине пролета.

Как отмечалось выше, исполнительная съемка выполняется при минимальных значениях температурных деформаций пролетного строения и опор (в пасмурную погоду, в утренние часы) [9].

Наблюдения за деформациями мостов. После возведения тела опоры и подферменной части начинают наблюдения за осадками и смещениями опор, которые продолжают и в начальный период эксплуатации моста. Наблюдения выполняют через 1–3 мес., а также после весеннего и осеннего паводков [9].

Осадка опор происходит под влиянием статической и динамической нагрузки на основание опоры. Для наблюдений за осадками на подферменных плитах, вблизи края верхнего обреза, по осям опоры закладывают четыре осадочные марки, по которым периодически проводят точное нивелирование II класса, увязывая ходы между исходными реперами на противоположных берегах, средняя квадратическая ошибка определяемых осадок опор не должна превышать 1,5 мм [9]. По результатам наблюдений составляют ведомости и графики, дающие наглядное представление о величине и скорости оседания каждой опоры [9].

Смещения опор моста в плане вызываются воздействием напора водного потока и направлены главным образом по течению реки (вдоль продольной оси опоры), хотя возможны и боковые смещения отдельных опор по направлению оси перехода. Для определения бокового смещения опор необходимо периодически проводить линейные измерения расстояний между центрами опор или специально закрепленными точками на опорах. Измерения проводят по пролетному строению инварными мерными приборами или высокоточными дифференциальными светодальномерами. По разности текущего и начального расстояний между опорами судят о величине бокового смещения опор за период, прошедший между двумя измерениями [9].

Горизонтальные смещения мостовых опор определяют со средней квадратической ошибкой, но не более 5 мм, определяемой по зависимости [9]

$$m_{x,y} = 0,0004h, \quad (5.6)$$

где h – высота опоры, м.

5.3. Поверки и юстировка нивелира 3Н-5Л

Нивелир 3Н-5Л (см. рис. 2.23) имеет следующие основные оси [19]:

- а) основную ось или ось вращения прибора;
- б) визирную ось зрительной трубы, которая проходит через заднюю узловую точку объектива и перекрестье сетки нитей;
- г) ось цилиндрического уровня, которая проходит по касательной к внутренней поверхности ампулы в точке «0»-пункта;
- д) ось установочного уровня, которая проходит по нормали к внутренней поверхности ампулы уровня в точке «0»-пункта.

Для эффективной работы с прибором до начала нивелирования выполняют необходимые поверки [19].

1. Поверка по круглому уровню.

Требуемое условие. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

Проверка условия. Контур пузырька установочного уровня располагается концентрично сетке уровня с помощью подъемных винтов, и верхняя часть прибора со зрительной трубой поворачивается на 180° . Если пузырек при этом выходит за пределы малого ограничительного кольца, то условие считается невыполненным [19].

Порядок исправления. На половину дуги смещения пузырек возвращается исправительными винтами уровня, а на другую половину – подъемными винтами, после этого верхняя часть прибора вновь поворачивается на 180° . Если наблюдается отклонение пузырька, то проводят вторичное исправление [19].

II. Поверка по сетке нитей.

Требуемое условие. Средняя горизонтальная нить должна быть перпендикулярна оси вращения прибора.

Проверка условия. Прибор приводится в рабочее положение, и производятся отсчеты по рейке для левого и правого концов средней горизонтальной нити, отсчеты должны совпадать [19].

Порядок исправления. Окулярную трубку с сеткой нитей вращают вокруг геометрической оси до выполнения требуемого условия. Для обеспечения возможности вращения следует освободить, а затем закрепить винты, которыми окулярная трубка крепится к основному корпусу трубы [19].

III. Поверка по главному условию.

Требуемое условие. Для нивелира с уровнем при трубе визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (определение угла i) [19].

Проверка условия. На местности, на расстоянии 50–70 м друг от друга выбираются и закрепляются два пункта. В качестве таких пунктов можно принять две неподвижные нивелирные рейки [19]. Устанавливают нивелир в створе двух реек точно посередине между ними, затем следует нивелир привести в рабочее положение, навести на одну рейку, элевационным винтом вывести пузырек цилиндрического уровня на середину (рис. 5.5) и взять отсчет a_1 по рейке, навести нивелир на вторую рейку, вывести пузырек уровня на середину и взять отсчет b_1 [19].

Следующий шаг – переносят нивелир и располагают его за передней рейкой на расстоянии 2–4 м от нее и несколько в стороне от створа, чтобы можно было наблюдать как первую, так и вторую рейку, взять отсчеты: a_2 по дальней и b_2 по ближней рейкам, не забывая при этом каждый раз выводить пузырек уровня на середину элевационным винтом. Далее определяют значение a'_2 по следующей зависимости [19]:

$$a'_2 = (a_1 - b_1) + b_2. \quad (5.7)$$

Вычисленное значение a'_2 для дальней рейки по формуле (5.7) не должно отличаться от фактического отсчета a_2 более чем на 4 мм.

Отсчеты a и b следует проводить по двум сторонам рейки или при двух горизонтах прибора. Если действительное значение угла i больше нормируемого, выполняют юстировку.

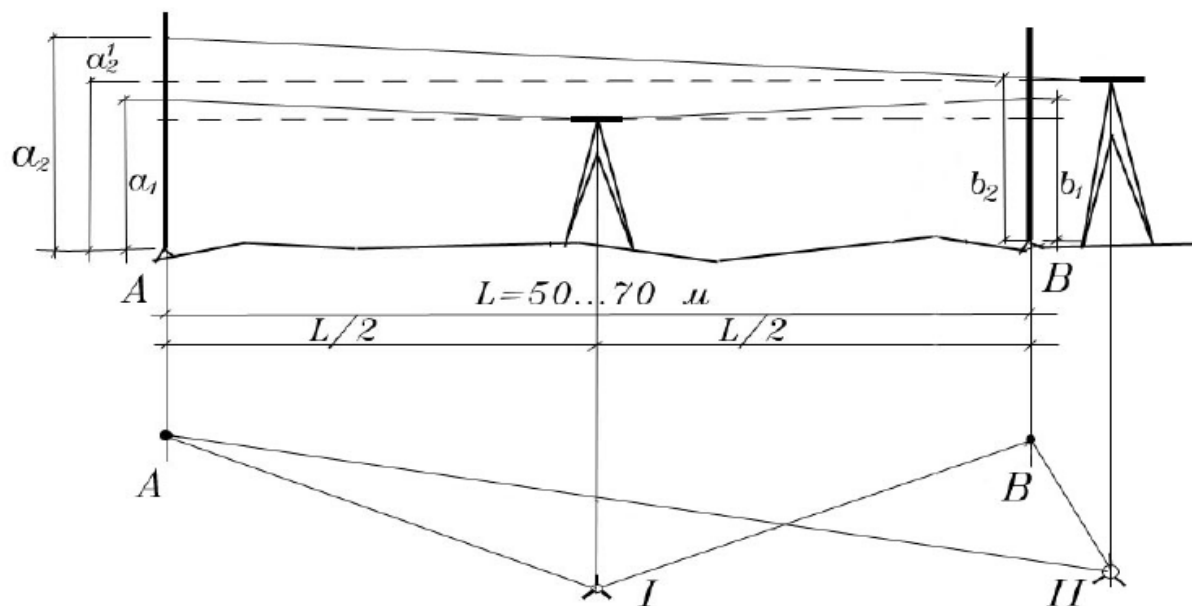


Рис. 5.5. Схема выполнения поверки по главному условию

Порядок исправления. Параллельность оси цилиндрического уровня визирной оси зрительной трубы достигается юстировочными гайками 3 (см. рис. 2.23, а).

Шпилькой из комплекта нивелира, отпуская одну гайку и затягивая другую, вывести пузырек цилиндрического уровня на середину, после того как элевационным винтом по дальней рейке установлен отсчет, равный a'_2 . Для контроля поверку повторяют.

5.4. Основные поверки теодолита

Поверки и юстировка теодолита 4Т30П (рис. 5.6) выполняются следующим образом [19].

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения инструмента [19].

При выполнении этой поверки уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в противоположные стороны, приводят пузырек уровня на середину, поворачивают алидаду на 180° , если пузырек уровня при этом отклонится от середины более чем на одно деление, проводят юстировку [19]. Для этого

исправительными винтами уровня пузырьки перемещают на половину дуги отклонения, после чего двумя подъемными винтами выводят пузырек уровня на середину, затем алидаду поворачивают на 90° и третьим подъемным винтом приводят уровень на середину, поверку повторяют [19].

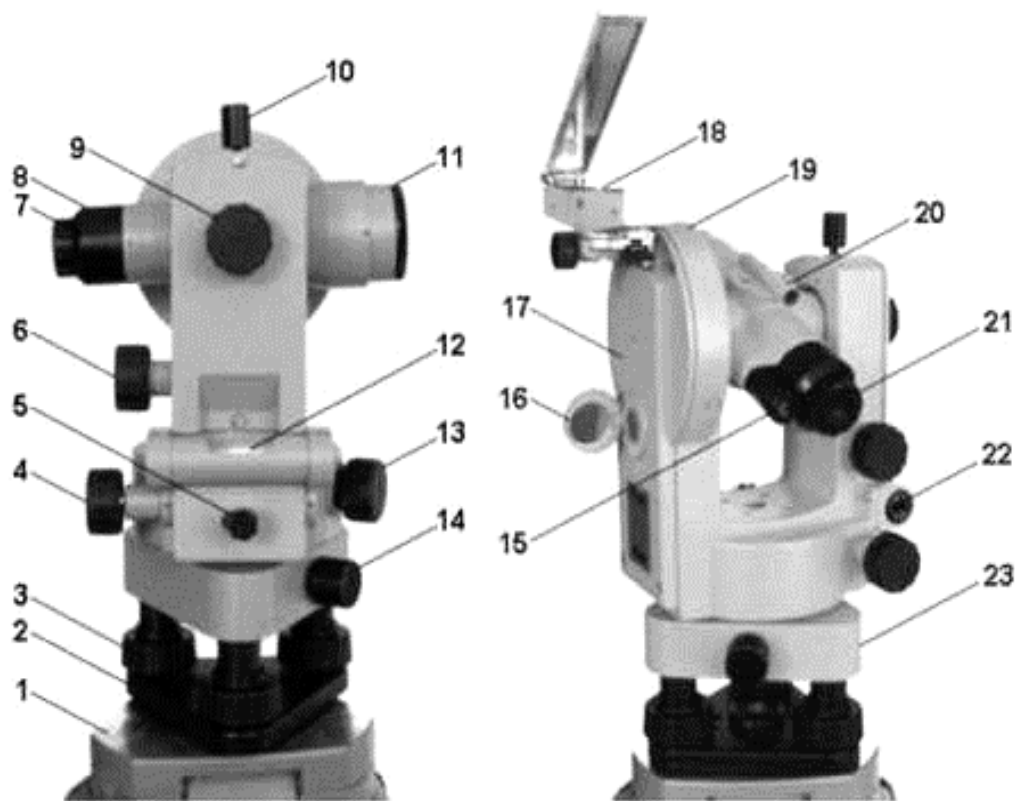


Рис. 5.6. Устройство теодолита 4Т30П:

1 – головка штатива; 2 – основание; 3 – подъемный винт; 4 – наводящий винт алидады; 5 – закрепительный винт алидады; 6 – наводящий винт зрительной трубы; 7 – окуляр зрительной трубы; 8 – предохранительный колпачок сетки нитей зрительной трубы; 9 – кремальера; 10 – закрепительный винт зрительной трубы; 11 – объектив зрительной трубы; 12 – цилиндрический уровень; 13 – наводящий винт лимба; 14 – закрепительный винт лимба; 15 – окуляр отсчетного микроскопа с диоптрийным кольцом; 16 – зеркальце для подсветки штрихов отсчетного микроскопа; 17 – колонка; 18 – ориентир-буссоль; 19 – вертикальный круг; 20 – визир; 21 – диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы; 22 – исправительные винты цилиндрического уровня; 23 – подставка

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы, несоблюдение этого условия влечет за собой коллимационную ошибку, под которой понимается угол между визирной осью и перпендикуляром к оси вращения зрительной трубы [19].

Зрительную трубу наводят на удаленную точку при двух положениях вертикального круга (лево и право) и берут отсчеты по горизонтальному кругу KL_1 и $KП_1$, для исключения эксцентриситета горизонтального круга берут еще два отсчета, KL_2 и $KП_2$, предварительно повернув алидаду на 180° . Значение коллимационной ошибки C определяют по следующей зависимости [19]:

$$C = \frac{(KL_1 - KП_1 \pm 180^\circ) + (KL_2 - KП_2 \pm 180^\circ)}{4}. \quad (5.8)$$

Если полученная коллимационная ошибка превышает 1, то проводят юстировку теодолита, для этого вычисляют отсчет, равный $KП_2 + C$, наводящим винтом алидады устанавливают данный отсчет на горизонтальном круге, а боковыми исправительными винтами сетки нитей перемещают ее до совмещения с наблюдаемой точкой [19].

3. Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита.

Методика выполнения работ заключается в том, что центр сетки нитей зрительной трубы наводят на высоко расположенную точку и, закрепив горизонтальный круг, наклоняют трубу примерно до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию центра сетки нитей, переводят трубу через зенит и получают вторую проекцию этой же точки.

Если проекции точки не совпадают менее чем на двойную ширину биссектора сетки нитей, то условие выполнено, в противном случае теодолит подлежит исправлению в мастерской [19].

4. Вертикальный штрих сетки нитей при вертикальном положении оси вращения теодолита должен занимать отвесное положение.

Методика выполнения работ заключается в том, что, установив вертикальную ось вращения теодолита в отвесное положение, наводят центр сетки нитей на какую-нибудь точку и вращают трубу вокруг ее горизонтальной оси. Если при этом вертикальная сетка нитей не сходит с изображения точки, то условие считается выполненным. В противном случае разворачивают оправу пластинки с сеткой нитей, предварительно слегка ослабив винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, так, чтобы данное условие выполнялось. После этого необходимо повторить поверку.

5. Определить место нуля вертикального круга и привести его к значению, близкому к нулю.

Место нуля (MO) есть отсчет по лимбу вертикального круга при горизонтальном положении визирной оси в момент нахождения пузырька уровня горизонтального круга в нуль-пункте.

Методика выполнения работ заключается в том, что при двух положениях вертикального круга наводят центр сетки нитей на хорошо видимый предмет и оба раза берут отсчеты по шкале вертикального круга. Значение $МО$ определяют по следующим зависимостям [19]:

$$\text{для теодолита } T30 \quad МО = \frac{КЛ + КП \pm 180^\circ}{2}, \quad (5.9)$$

$$\text{для теодолита } 2T30 \quad МО = \frac{КЛ + КП}{2}. \quad (5.10)$$

Вычисление вертикальных кругов удобнее производить при $МО$, близком к нулю. Для исправления положения $МО$ на вертикальном круге устанавливают отсчет $КЛ - МО$, при этом средний штрих сетки нитей сместится с наблюдаемой точки [19].

Совмещения среднего штриха с точкой добиваются вращением вертикальных исправительных винтов сетки, для контроля поверку повторяют [19].

Допустимое значение $МО$ 2'–3', при выполнении этой поверки следят, чтобы пузырек уровня находился на середине [19].

Контрольные вопросы

1. Какое основное назначение геодезических работ в строительном периоде?
2. В каких пределах должна быть обеспечена точность геодезических измерений при производстве разбивочных и контрольных работ?
3. Каких значений не должна превышать средняя квадратическая ошибка геодезических измерений?
4. Что подлежит контролю в местах механизированного возведения земляного полотна?
5. Какие приспособления для производства разбивочных, восстановительных и контрольных работ в дорожном строительстве вы можете назвать?
6. Каково назначение, устройство и использование вешевизировок?
7. Каково назначение, устройство и схема работы контрольного шаблона?
8. Как закрепляется на местности проектный уклон?
9. Как определить превышение и горизонтальное проложение между двумя точками крутого ската с помощью ватерпасовки?
10. Что необходимо сделать для определения рабочих отметок?
11. Какие приборы используют для выверки пролетного строения?
12. Что необходимо сделать для определения превышений и для перевода наклонных расстояний в горизонтальные проложения?
13. Какие способы монтажа мостовых пролетных строений существуют?
14. В чем преимущество использования лазерных приборов при монтаже пролетных строений и контрольных измерений?
15. Какие поверки выполняют до начала нивелирования?
16. Какой порядок исправления, если действительное значение угла i больше нормируемого?
17. Какая последовательность поверки и юстировки теодолита?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целях повышения производительности труда, точности и качества выполнения работ перспективным и необходимым является повсеместное применение геоинформационных систем (ГИС). Почти десятилетний опыт внедрения ГИС в дорожном хозяйстве методом проб и ошибок привел как к накоплению отрицательного опыта, так и к обогащению положительным. Становится понятным, что нужны отраслевые стандарты сбора, хранения, анализа, преобразования пространственных дорожных данных. Необходимы новые методики (алгоритмы) решения прикладных дорожных задач, опирающиеся на эти данные. Но еще больше нужны специалисты, владеющие всеми этими знаниями.

Инженерная геодезия и геодезическое сопровождение строительных процессов является важной и неотъемлемой частью комплекса работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог и мостовых переходов. Инженерная геодезия и геодезическое сопровождение строительных процессов во многом определяют фактическую стоимость и качество строительства, а также условия и жизненный цикл эксплуатации инженерных объектов и сооружений.

На современном этапе одновременно с развитием инженерной геодезии и геодезическим сопровождением строительных процессов, качественным изменением типов используемых геодезических приборов и инструментов происходят фундаментальные изменения технологии и методов проектно-изыскательских работ и строительства автомобильных дорог и мостовых сооружений. В этих условиях инженер-строитель должен не только владеть традиционными методами геодезических работ и уметь работать с обычными геодезическими приборами (ориентирование, измерение длин линий, измерение горизонтальных и вертикальных углов теодолитами, измерение превышений между пикетными точками, выполнение топографических съемок и т. д.), но и обязательно освоить различные виды аэрофото-съемок, методы наземной фотограмметрии и электронной тахеометрии, методы спутниковой навигации, а также технологии автоматизированной обработки результатов полевых измерений, что позволит значительно сократить объемы и стоимость полевых работ и геодезического сопровождения процессов строительства за счет увеличения объемов работ при широком использовании средств автоматизации и вычислительной техники.

Библиографический список

1. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб. – Москва : Эксмо, 2016. – 208 с.
2. Кащенко, Н. А. Геоинформационные системы : учебное пособие для вузов / Н. А. Кащенко, Е. В. Попов, А. В. Чечин ; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2012. – 130 с.
3. Бойков, В. Н. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог / В. Н. Бойков, П. И. Поспелов, Г. А. Федотов. – Москва : Академия, 2015. – 256 с.
4. ОДМ 218.9.008–2019. Методические рекомендации. Геоинформационные системы автомобильных дорог. Порядок сбора, хранения и обновления данных. – Москва : Федеральная дорожная служба России, 2019. – 71 с.
5. Инновационные технологии проектирования и строительства автомобильных дорог : монография / Д. Г. Неволин, В. Н. Дмитриев, С. А. Чудинов [и др.]. – Екатеринбург : УрГУПС, 2015. – 192 с.
6. Чудинов, С. А. Технология аэрофотосъемки при изысканиях автомобильных дорог : учебное пособие / С. А. Чудинов. – Екатеринбург : Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. – 106 с.
7. Чугреев, И. Г. Основы геодезии : учебно-методическое пособие / И. Г. Чугреев, Н. В. Усова, М. Р. Владимирова. – Москва : МИИГАиК, 2017. – 146 с.
8. Хаметов, Т. И. Геодезическое сопровождение процессов строительства автомобильных дорог и мостовых переходов : учебное пособие / Т. И. Хаметов. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 148 с.
9. Левчук, Г. П. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений : учебник для вузов. / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, Н. Н. Лебедев ; под ред. Г. П. Левчука. – Москва : Недра, 1983. – 400 с.
10. ГОСТ Р 52289–2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и дорожных устройств : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 декабря 2019 г. № 1425-ст. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).
11. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция

СНиП 2.07.01-89* (с Изменениями № 1,2): утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30 декабря 2016 г. № 1034/пр и введен в действие с 1 июля 2017 г. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).

12. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 09.02.2021 № 53/пр. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).

13. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов: утверждена приказом руководителя Федеральной службы геодезии и картографии России от 11.06.2002 № 84-пр. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).

14. СП 11-104–97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства: принят и введен в действие с 01 января 1998 г. впервые. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).

15. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 0.12.2016 № 1033/пр. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).

16. ГОСТ Р 56122–2014. Беспилотные авиационные системы. Общие требования: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 сентября 2014 г. № 1130-ст. – URL: <http://docs.cntd.ru> (дата обращения: 19.04.2023).

17. Маслов, А. В. Геодезия: учебное пособие для вузов / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Недра, 1980. – 616 с.

18. Кочетова, Э. Ф. Инженерная геодезия в автодорожном строительстве: учебное пособие / Э. Ф. Кочетова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2016. – 92 с.

19. Чудинов, С. А. Инженерно-геодезические работы при изысканиях и проектировании автомобильных дорог: учебное пособие / С. А. Чудинов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. – 110 с.

20. Астахова, И. А. Съёмки местности: учебно-методическое пособие по геодезии / И. А. Астахова. – Майкоп: Майкопский гос. технол. ун-т, 2016. – 95 с.

Приложение 1

Пример журнала технического нивелирования

№ станции	№ пикетов	Отсчеты по рейке			Промеж.	Превышения			Поправки к средним превышениям	Горизонт инструмента	Высота пикетов	№ пикетов
		задние	передние	сред.		вычисл.	исправл.					
1	ПК 0	2149									88,393	ПК 0
		6848				470	469		-1			
	ПК 1		1679			470					88,862	ПК 1
			6378									
2	ПК 1	3234										
		7932							92,083			
	+27				1008						91,075	+27
	+90				1769						90,314	+90
	ПК 2		2205			1029	1026		-2		89,888	ПК 2
			6965			1027						
3	ПК 2	0478										
		5180										
	X		1598			-1120	-1121		-1		88,767	X
			6300			-1120						
4	X	0088										
		4786				-3805	-3807		-1			
	ПК 3		3893			-3807					84,960	ПК 3
			8593									
	Σ	30695	37551			-6856	-3428		-5			

Контроль: $\Sigma 3 - \Sigma \Pi = \Sigma h = 2 \Sigma h_{\text{сп}} ; \quad \Sigma h_{\text{ксп}} = H_x - H$

**Боковик продольного профиля дорог
на незастроенной территории ГОСТ 21.701–2013**

Ситуационный план		20	
Тип местности по увлажнению		8	
Проектные данные	Тип поперечного профиля	слева	8
		справа	8
	Левый кювет	Укрепление	8
		Уклон, ‰; длина, м	10
		Отметка дна, м	15
	Правый кювет	Укрепление	8
		Уклон, ‰; длина, м	10
		Отметка дна, м	15
	Уклон, ‰; вертикальная кривая, м		10
	Отметка оси дороги, м		15
Фактические данные	Отметка рельефа, м	15	
	Расстояние, м	10	
Пикет, элементы плана, километры		20	
		180	
10	45	20	
75			

Приложение 3

Пример ведомости углов поворота, прямых и кривых

Нугла поворот.	Вершины углов		Величины углов поворота		Элементы кривых						Начало кривой НКК		Конец кривой ККК		Длина прям.вставок, P, м	Расст. между верш. углов, S, м	Азимут	Румб		
	ПК	+	Лево	Право	R	T	К	Д	Б	ПК	+	ПК	+							
НТ	0	00																		
ВУП ₁	14	00		30°00'	2500	669,87	1309,0	30,74	88,19	7	30,13	20	39,13	730,13	1400	12°00'	СВ:12°00'			
КТ	40	19,26																		
Σ				30°00'		669,87	1309,0	30,74	88,19					2710,26	4050					

Линейный контроль:

$$2\Sigma T - \Sigma K = \Sigma D \quad 2 \cdot 669,87 - 1309,00 = 30,74 \text{ м}$$

$$KT = \Sigma P + \Sigma K \quad 2710,26 + 1309,00 = 4019,26 \text{ м}$$

$$KT = \Sigma S - \Sigma D \quad 4050 - 30,74 = 4019,26 \text{ м}$$

Угловой контроль:

$$A_{\text{кон}} - A_{\text{нач}} = \Sigma \Phi_{\text{пр}} - \Sigma \Phi_{\text{лев}}$$

$$42^\circ 00' - 12^\circ 00' = 30^\circ 00' - 0^\circ 00'$$

$$30^\circ 00' = 30^\circ 00'$$

Приложение 4

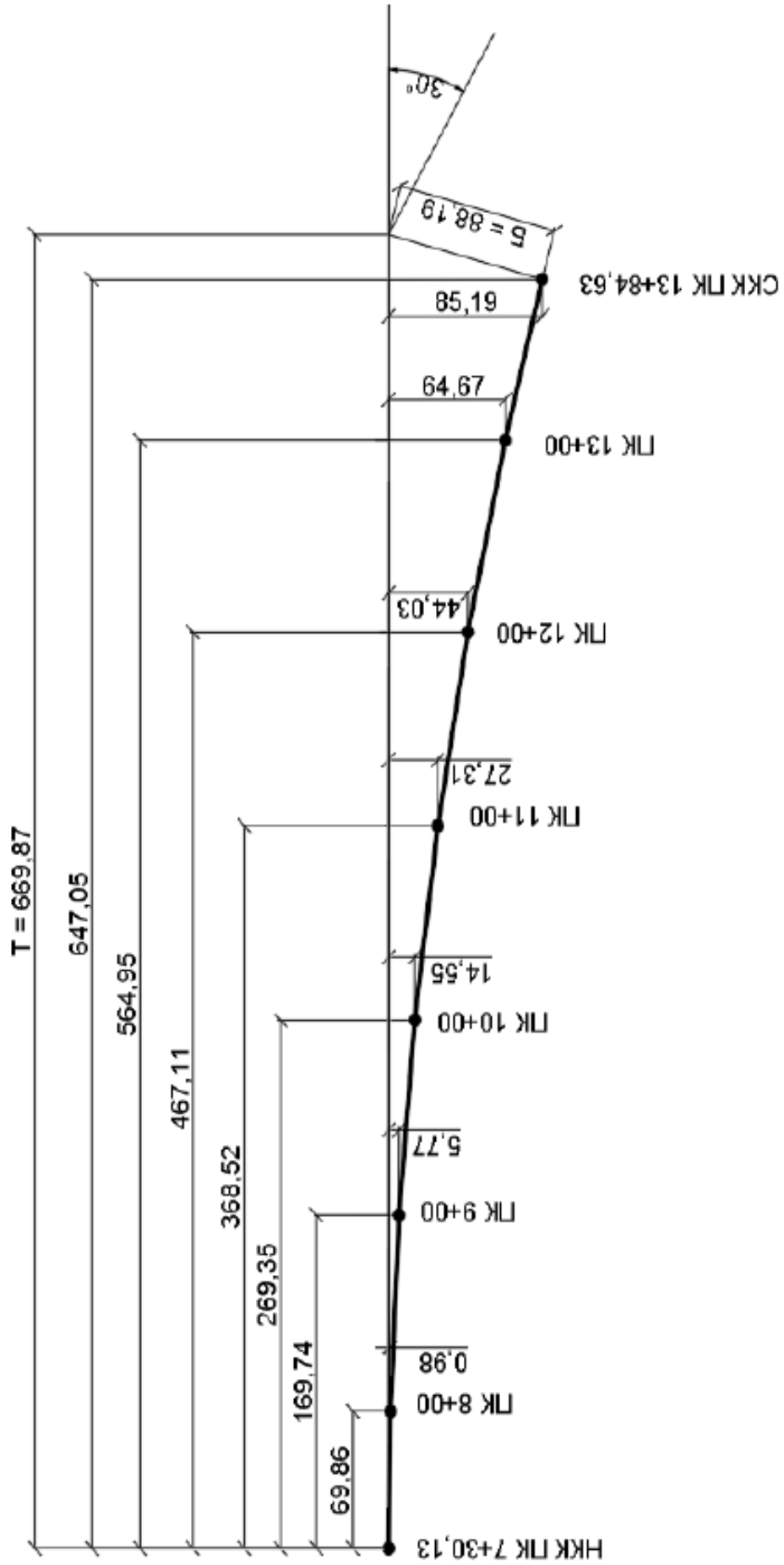
Пример ведомости разбивки круговой кривой $R = 2500$ м

№ точек	Пикетажное положение	Текущая длина, м, K	$K - X$	X	Y
<i>НКК</i>	7 + 30,13	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>ПК 6 + 00</i>	8 + 00	69,87	0,01	69,86	0,98
1	8 + 30,13	100	0,03	99,97	2,00
<i>ПК 7 + 00</i>	9 + 00	169,87	0,13	169,74	5,77
2	9 + 30,13	200	0,21	199,79	8,00
<i>ПК 8 + 00</i>	10 + 00	269,87	0,52	269,35	14,55
3	10 + 30,13	300	0,72	299,28	17,98
<i>ПК 9 + 00</i>	11 + 00	369,87	1,38	368,52	27,31
4	11 + 30,13	400	1,70	398,30	31,93
<i>ПК 10 + 00</i>	12 + 00	469,87	2,76	467,11	44,03
5	12 + 30,13	500	3,33	496,67	49,83
<i>ПК 11 + 00</i>	13 + 00	569,87	4,92	464,95	64,67
6	13 + 30,13	600	5,74	594,26	71,66
<i>СКК</i>	13 + 85,63	654,50	7,45	647,05	85,19

<i>ККК</i>	20 + 39,13	0,00	0,00	0,00	1839,13
<i>ПК 18 + 00</i>	20 + 00	39,13	0,00	39,13	1800
1	19 + 39,13	100	0,03	99,97	1739,13
<i>ПК 17 + 00</i>	19 + 00	139,13	0,07	139,06	1700
2	18 + 39,13	200	0,21	199,79	1639,13
<i>ПК 16 + 00</i>	18 + 00	239,13	0,36	238,77	1600
3	17 + 39,13	300	0,72	299,28	1539,13
<i>ПК 15 + 00</i>	17 + 00	339,13	1,04	338,09	1500
4	16 + 39,13	400	1,70	398,30	1439,13
<i>ПК 14 + 00</i>	16 + 00	439,13	2,25	436,88	1400
5	15 + 39,13	500	3,33	496,67	1339,13
<i>ПК 13 + 00</i>	1500	539,13	4,17	534,96	1300
6	14 + 39,13	600	5,74	594,26	1239,13
<i>ПК 12 + 00</i>	14 + 00	639,13	6,94	632,19	1200
<i>СКК</i>	13 + 85,63	654,50	7,45	647,05	1185,63

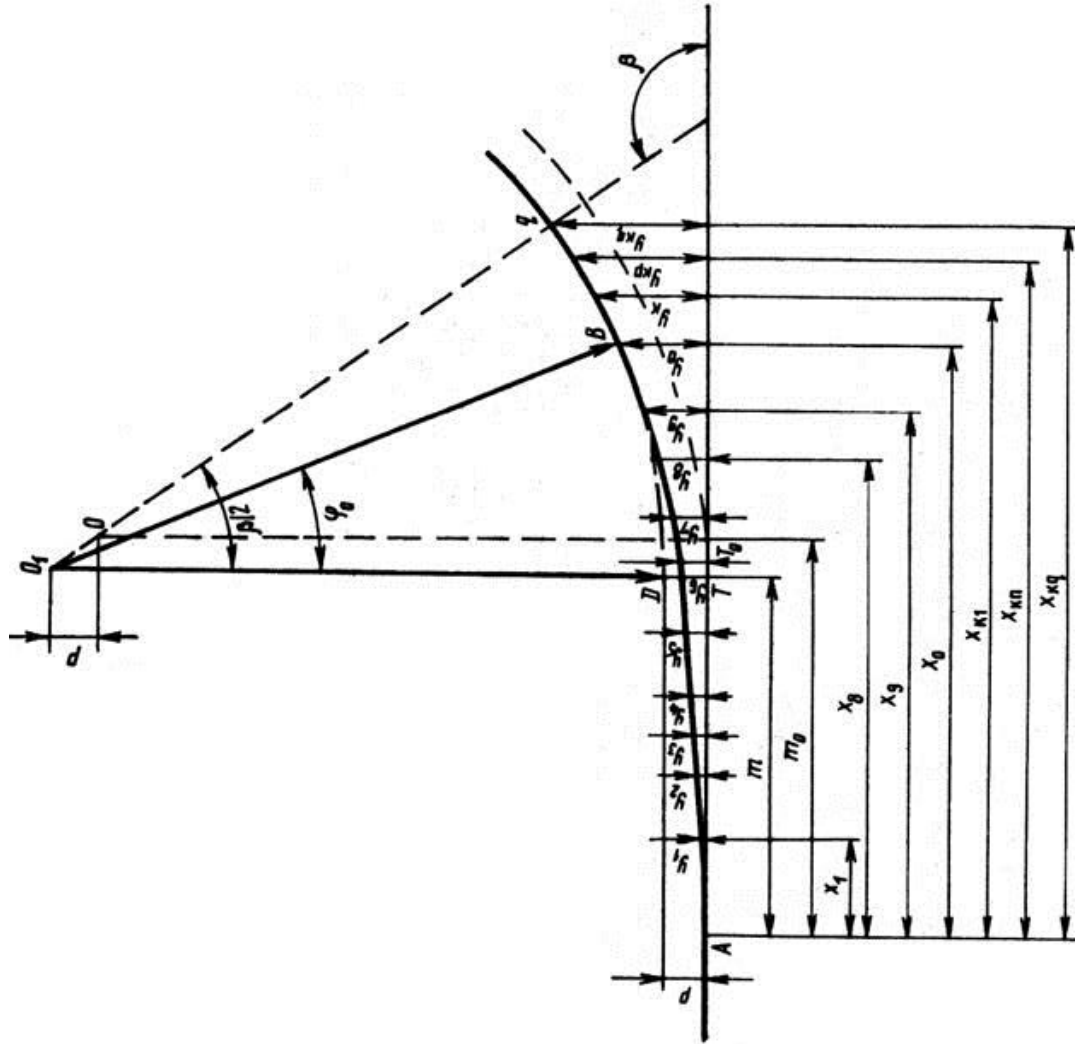
Приложение 5

Пример выноса пикетов на кривую



Приложение 6

Схема детальной разбивки переходной кривой



Приложение 7

Пример ведомости детальной разбивки переходной кривой, сопряженной с круговой кривой, $R = 1500$ м и $\alpha = 27^{\circ}00'$

№ точек	Пикетажное положение	Текущая длина, м, K	$K - X$			Y
			4	5	6	
I	2	3	4	5	6	
$HЗ$	4 + 32,02	0	0	0	0	
1	4 + 62,02	30,00	0	0	0,30	
2	4 + 92,02	60,00	0,02	59,98	1,08	
3	5 + 00	67,98	0,02	67,97	1,54	
4	5 + 22,02	90,00	0,05	89,95	2,70	
5	5 + 52,02	120,00	0,13	119,87	4,80	
6	5 + 82,02	150,00	0,25	149,75	7,49	
7	6 + 00	167,98	0,35	167,63	9,40	
8	6 + 12,02	180,00	0,43	179,57	10,79	
9	6 + 42,02	210,00	0,69	209,31	14,68	
10	6 + 72,02	240,00	1,02	238,98	19,16	
11	7 + 00	267,98	1,42	266,56	23,87	
12	7 + 02,02	270,00	1,46	268,54	24,22	
13	7 + 32,02	300,00	2,22	297,78	29,90	
14	7 + 62,02	330,00	2,66	327,34	36,15	
15	7 + 92,02	360,00	3,45	356,55	42,99	
16	8 + 00	367,98	3,68	364,30	44,91	
17	8 + 22,02	390,00	4,38	385,62	50,41	
18	8 + 52,02	420,00	5,09	404,91	55,68	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
C3	8 + 69,64	437,62	5,59	431,42	63,42
20	8 + 81,52	420,00	5,09	404,91	55,68
19	9 + 00	401,52	4,78	396,74	53,44
18	9 + 11,52	390,00	4,38	385,62	50,41
17	9 + 41,52	360,00	3,45	356,55	42,99
16	9 + 71,52	330,00	2,66	327,34	36,15
15	10 + 00	301,52	2,31	299,21	30,22
14	10 + 01,52	300,00	2,22	297,78	29,90
13	10 + 31,52	270,00	1,46	268,54	24,22
12	10 + 61,52	240,00	1,02	238,98	19,16
11	10 + 91,52	210,00	0,69	209,31	14,68
10	11 + 00	201,52	0,60	200,92	13,53
9	11 + 21,52	180,00	0,43	179,57	10,79
8	11 + 51,52	150,00	0,25	149,75	7,49
7	11 + 81,52	120,00	0,13	119,87	4,80
6	12 + 00	101,52	0,08	101,44	3,43
5	12 + 11,52	90,00	0,05	89,95	2,70
4	12 + 41,52	60,00	0,02	58,98	2,41
3	12 + 71,52	30,00	0	30	0,30
2	13 + 00	1,52	0	1,52	0
1	13 + 01,52	0	0	0	0

Приложение 8

**Основные нормативные требования, которые надлежит
выполнять и контролировать при сооружении
земляного полотна, и методы контроля**

Конструктивный элемент, вид работ и контролируемый параметр	Значение нормативных требований
1	2
	1. Подготовка основания земляного полотна
1.1. Толщина снимаемого плодородного слоя грунта	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до $\pm 40\%$, остальные – до $\pm 20\%$
1.2. Снижение плотности естественного основания	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до 4 %, остальные должны быть не ниже проектных значений
	2. Возведение насыпей и разработка выемок
2.1. Снижение плотности слоев земляного полотна ¹	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до 4 %, а остальные должны быть не ниже проектных значений
2.2. Высотные отметки продольного профиля	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до 20 мм; остальные – до 10 мм
2.3 Расстояния между осью и бровкой земляного полотна	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до ± 20 см; остальные – до ± 10 см
2.4. Поперечные уклоны	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах от минус 0,010 мм до плюс 0,015 мм, остальные – до $\pm 0,005$
2.5. Уменьшение крутизны откосов	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до 20 %, остальные – до 10 %

Окончание таблицы

I	2
3. Устройство водоотвода	
3.1. Увеличение поперечных размеров кюветов, нагорных и других канав (по дну)	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до 10 см, остальные – до 5 см
3.2. Глубина кюветов, нагорных и других канав (при условии обеспечения стока)	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до ±10 см, остальные – до ±5 см
3.3. Поперечные размеры дренажей	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до ±10 см, остальные – до ±5 см
3.4. Продольные уклоны дренажей	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до ±0,002, остальные – до ±0,001
3.5. Ширина насыпных берм	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до ±30 см, остальные – до ±15 см
4. Устройство присыпных обочин	
4.1. Снижение плотности грунта в обочинах	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах до 4 %, остальные должны быть не ниже проектных значений
4.2. Толщина укрепления	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах от минус 22 до 30 мм, остальные – до ±15 мм
4.3. Поперечные уклоны обочин	Не более 10 % результатов определений могут иметь отклонения от проектных значений в пределах от минус 0,010 до плюс 0,015, остальные – до ±0,005 ($\pm 0,010$) ²
<p>¹ При отсыпке земляного полотна из скальных (крупнообломочных) грунтов этот показатель для оценки качества не используется.</p> <p>² Значения, приведенные в скобках, относятся к видам работ, выполняемым без автоматических систем выдерживания заданных высотных отметок и уклона для дорог категорий IV и V общего пользования и ведомственных.</p>	

Учебное издание

Чудинов Сергей Александрович
Шаров Алексей Юрьевич

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ
И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ
СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

ISBN 978-5-94984-875-3



Редактор Е. Л. Михайлова
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упова

Подписано в печать 01.08.2023. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Уч.-изд. л. 11,34. Усл. печ. л. 12,32.
Тираж 300 экз. (1-й завод 36 экз.).
Заказ № 7694

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет».
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.
Редакционно-издательский отдел. Тел.: 8(343)221-21-44.

Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ».
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2.
Тел.: 8(343)362-91-16.