

Э.Ф. Кочетова

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ В АВТОДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ



Нижний Новгород
2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Э.Ф. Кочетова

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ В АВТОДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

2-е издание, переработанное и дополненное

Нижний Новгород
2016

ББК 26.1
К 55
УДК 528.48(07)

Рецензенты:

Мозжухин О.А. – канд. техн. наук, профессор Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии

Оболенский Н.Н. – канд. техн. наук, доцент, директор ООО «Геодимер»

Кочетова Э.Ф. Инженерная геодезия в автомобильном строительстве [Текст]: учебн. пос. 2-е изд. переработанное и дополненное. / Э.Ф. Кочетова; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2016.- 92 с. – ISBN 978-5-528-00148-7

Учебное пособие представляет собой конспект лекций по инженерной геодезии. Представлены следующие темы. Трассирование линейных сооружений: рассматриваются вопросы полевого и камерального трассирования, задачи, стадии и методы изысканий трасс автомобильных дорог. Инженерно-геодезические работы в период проектирования и строительства автомобильных дорог: приводятся сведения из нормативных документов при проектировании автомобильных дорог, описываются геодезические разбивочные работы при строительстве автомобильных дорог. Кратко рассмотрены теория и практика геодезических работ при изысканиях, проектировании и строительстве автомобильных дорог и мостов, систематизированы наиболее рациональные способы производства разбивочных работ, рассмотрены вопросы автоматизации отдельных процессов.

Предназначено для обучающихся по направлению подготовки «Строительство», профиль Строительство автомобильных дорог, аэродромов, объектов транспортной инфраструктуры, по дисциплинам «Инженерная геодезия», «Основы аэрогеодезии и геодезическое сопровождение строительства».

ББК 26.1

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие предназначено для студентов направления «Строительство».

В соответствии с программой курса в пособии изложены теория и практика геодезических работ при изысканиях, проектировании и строительстве автомобильных дорог и мостов, систематизированы наиболее рациональные способы производства разбивочных работ, рассмотрены вопросы автоматизации отдельных процессов. Учебное пособие составлено с учетом того, что студенты уже знакомы с устройством геодезических приборов (теодолит, нивелир и др.) и порядком работы с ними, знают методы выполнения основных геодезических работ (теодолитные и нивелирные ходы, крупномасштабные топографические съемки, элементарные разбивочные работы, аэрофотосъемка и др.), порядок камеральной обработки полевых измерений. Изучили конструктивные элементы, классификацию и технологию строительных работ на автодорогах.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ТРАССИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 1. Общие сведения о трассе и трассировании

Составными частями инженерной геодезии в транспортном строительстве являются:

- 1) топографо-геодезические изыскания трасс (трассирование);
- 2) инженерно-геодезическое проектирование автодорог и сопутствующих им сооружений (мостов, тоннелей, пересечений и др.);
- 3) геодезические разбивочные работы;
- 4) геодезический контроль за строительством автодорог и инженерных объектов на них;
- 5) наблюдения за деформациями сооружений.

Изыскания выполняют в соответствии со сводом правил инженерных изысканий для строительства СП 11-104-97.

Трасса – это ось проектируемого линейного сооружения типа: дороги, трубопроводы, линейные ускорители частиц, ЛЭП и другие (рис. 1). Закрепляется на местности главными точками (рис. 1): начало трассы – НТ, конец трассы – КТ, вершины углов поворота – ВУ, створные точки – СТ.

Трассирование – комплекс работ для получения оптимального варианта трассы по отношению к ландшафту местности, рельефу, в экономическом отношении. Разделяют камеральное и полевое трассирование. Камеральное трассирование заключается в предварительном выборе оптимального варианта трассы с использованием карт мелкого, а затем более крупного масштабов. Выполняется оно способами попыток, построения линии заданного уклона, по стереомоделям местности и автоматизированным методом.

Полевое трассирование выполняют или без предварительного выбора трассы на карте, или выносят в натуру выбранный на карте вариант трассы. Все работы при этом разделяются на полевые и камеральные.

При полевом трассировании прокладывают теодолитные или тахеометрические ходы по оси трассы с закреплением вершин углов поворота и створных точек, закладывают реперы за пределами полосы отвода, разбивают и закрепляют пикетаж, элементы горизонтальных кривых, геометрическое или тригонометрическое нивелирование по трассе и поперечникам. На застроенных территориях городов и населенных пунктов иногда вместо полевого трассирования выполняют крупномасштабные топографические съемки полосы по выбранной трассе с последующей окончательной камеральной ее укладкой по материалам съемки в принятой системе координат и высот.

Состав и объемы камеральных работ должны обеспечивать контроль качества и полноту топографо-геодезических материалов изысканий.

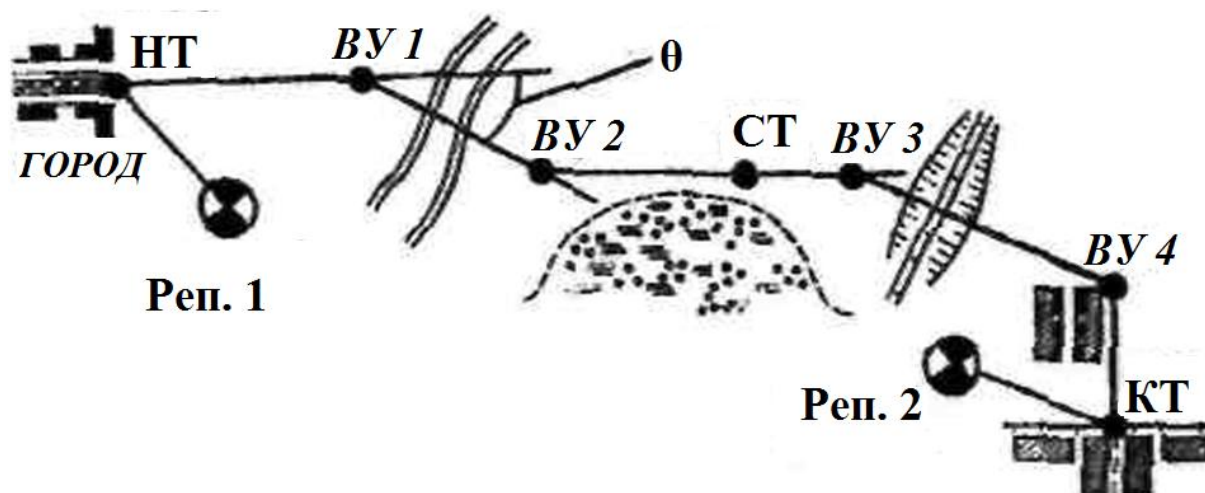


Рис. 1. Схема трассы

Основными элементами трассы являются: **план** — ее проекция на горизонтальную плоскость, **продольный профиль** — вертикальный разрез по оси трассы, **поперечные профили** — вертикальные разрезы по направлениям, перпендикулярным оси трассы. В плане трасса состоит из прямых участков разного направления, сопрягающихся между собой **горизонтальными кривыми** постоянного и переменного радиуса кривизны. В

продольном профиле трасса состоит из линий различного уклона, соединяющихся между собой **вертикальными кривыми**.

В зависимости от топографических условий выделяют следующие трассы:

- **долинная** трасса (рис. 2, I) укладывается на одной из надпойменных террас долины, имеет спокойный план и профиль, но пересекает большое количество водотоков, требует возведения дорогостоящих переходов, иногда характеризуется неблагоприятными геологическими условиями;

- **водораздельная** трасса (рис. 2, IV) идет по наиболее высоким отметкам местности, в плане сравнительно сложна, искусственных сооружений мало, геологические условия благоприятны, рекомендуется для равнинных и среднепересеченных районов, но не для холмистой местности;

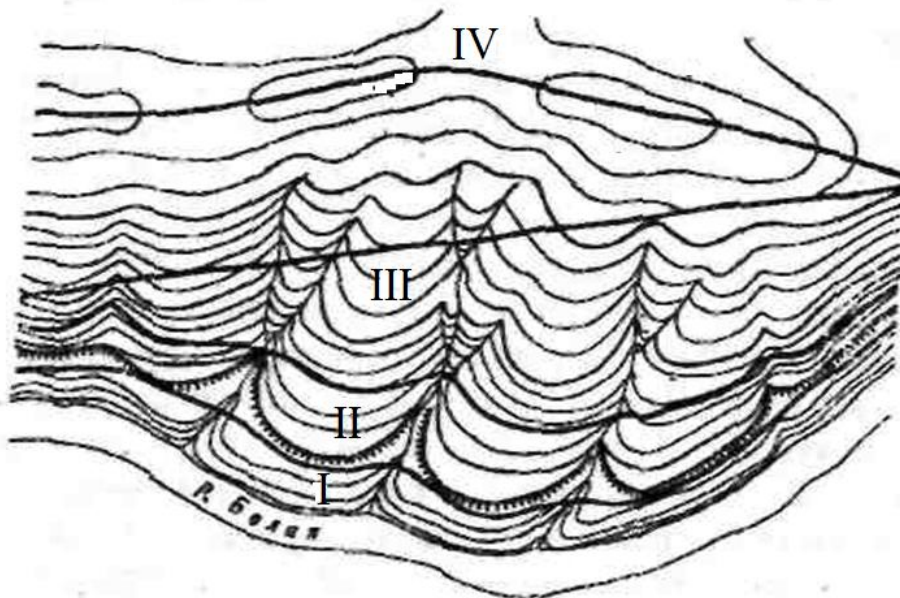


Рис.2. Виды трасс

- **косогорная** трасса (рис. 2, II) располагается на склонах гор, характеризуется очень плавным уклоном, но весьма извилиста в плане, подвержена опасностям от обвалов, осыпей, селевых потоков;

- **поперечно-водораздельная** трасса (рис. 2, III) пересекает долины и водоразделы, в плане близка к прямой линии, в продольном профиле часто встречаются затяжные предельные уклоны, требующие строительства

сложных переходов, это наиболее дорогостоящая трасса.

В зависимости от характера местности магистральная трасса обычно сочетает в себе различные виды трасс.

Комплекс инженерно-изыскательских работ по выбору трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на ее возведение и эксплуатацию, называется **трассированием**. Если трасса выбирается по топографическим картам (планам), аэрофото-материалам или цифровым моделям местности, то трассирование называют **камеральным**, если она выбирается непосредственно на местности, то **полевым**. При трассировании различают **плановые параметры**: углы поворота, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки и **высотные (профильные) параметры**: продольные уклоны, длины элементов профиля («шаг проектирования»), радиусы вертикальных кривых. Дорожные трассы наиболее сложны для трассирования, так как требуют соблюдения и плановых, и профильных параметров. Все трассы должны удачно вписываться в ландшафт местности, не нарушать природной эстетики, располагаться по возможности на землях, наименее ценных для народного хозяйства.

Равнинная местность имеет обычно средний уклон меньше допустимого проектного уклона, и потому в высотном отношении трассу ведут **«вольным ходом»**, определяя ее положение контурными препятствиями, т.е. **ситуацией** (водотоки, болота, овраги, населенные пункты, сельхозугодья и др.). Для получения наиболее короткой трассы в равнинных районах при трассировании рекомендуется:

1) трассу прокладывать по прямой от одного контурного препятствия к другому, необходимость отклонения трассы от прямой и закрепление нового угла поворота должна быть обоснована;

2) вершины углов поворота выбирать против середины препятствия с таким расчетом, чтобы трасса огибала это препятствие;

3) углы поворота делать по возможности не более 20-30°, чтобы заметно не удлинять трассу (рис. 3, а).

Горная местность имеет уклоны больше допустимых уклонов трассы, и потому в высотном отношении трассирование ведут **«напряженным ходом»**, когда каждая линия задается предельным уклоном. Чтобы выдержать этот уклон, трассу необходимо удлинить, отклонив ее на большие углы от прямой, т.е. произвести **развитие проектируемой** линии. Поэтому в горных условиях трасса в плане имеет сложную конфигурацию. На автомобильных трассах для развития линии применяют серпантины (см. § 5).

При трассировании в горных районах **рекомендуется**:

1) трассу вести предельным уклоном, придерживаясь линии нулевых работ (рис.3, б), уклоны уменьшать (или делать равными нулю) лишь на отдельных площадках, заданных по техническим условиям;

2) элементы плана трассы и высотные отметки земли подбирать с учетом заранее составленного теоретического профиля и требований сопряжения кривых и прямых;

3) углы поворота и их величины назначать, исходя из условий соблюдения уклона трассирования и расчетного развития линии, при этом стремиться избегать малых радиусов кривых, на которых необходимо значительное смягчение (уменьшение) допустимого уклона (см. § 5).

§ 2. Задачи, стадии и методы изысканий трасс автодорог. Камеральное трассирование

В процессе изысканий трасс различаются две основные задачи:

1) выбор оптимального варианта трассы, расположенной в благоприятных условиях и требующей на строительство и эксплуатацию минимальных расходов;

2) сбор необходимых инженерно-геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других материалов и данных для составления проекта трассы и всех сооружений на ней.

Стадии изысканий соответствуют стадиям проектирования новых трасс и бывают:

а) допроектные рекогносцировочные изыскания для технико-экономического обоснования (ТЭО) трассы или обоснование инвестиций (ОИ);

б) проектные технические изыскания для первой стадии проектирования - разработки инженерного проекта трассы;

в) предпостроечные изыскания для второй стадии проектирования - составления рабочего проекта (РП) или рабочей документации (РД).

Для вторых ниток уже существующих или новых несложных трасс проектные изыскания могут вестись для одной стадии проектирования – инженерного проекта с рабочей документацией проекта.

а) Допроектные рекогносцировочные изыскания

Рекогносцировочные изыскания имеют своей целью собрать материал для выбора принципиального направления трассы; обоснования экономической целесообразности и технической возможности ее строительства, установления ее технических параметров, предварительного определения объемов и стоимости работ, сроков строительства. Проводятся они в основном в камеральных условиях путем изучения топографических карт, аэрофотоснимков, данных изысканий прошлых лет и инженерно-геологических съемок. Лишь в сложных районах проводят воздушное и полевое обследования вариантов, обзорную аэрофотосъемку.

При камеральных изысканиях на мелкомасштабных топографических картах (1:50 000-1:25 000) отмечают начало, конец и промежуточные пункты трассы для нескольких вариантов. Прямые линии по **опорным пунктам**

образуют **воздушную линию**, к которой, как наиболее короткой, стремятся приблизить проектируемую трассу, разрабатывая несколько ее вариантов. Затем все варианты трассы наносят на карты более крупного масштаба и по каждому из них составляют план и профиль, планы или фотопланы площадок или участков переходов через водотоки, горные перевалы и др., схематические инженерно-геологические карты. На основании этих материалов выбирают **принципиальное направление** трассы и в первом приближении дают основные проектные решения, подсчитывают объемы и стоимость работ (с точностью до 20 %), разрабатывают **техническое задание** на проектирование трассы.

б) Проектные технические изыскания трассы

По указанному в техническом задании направлению трассы выполняют детальные технические изыскания для первой стадии проектирования с целью:

- 1) выбрать оптимальную трассу;
- 2) собрать достоверные материалы для разработки инженерного проекта трассы и всех сооружений на ней;
- 3) составить сметы строительства.

Технические изыскания выполняют аэрометодами и натурными обследованиями трасс. Перед аэрофотосъемкой производят **аэровизуальную разведку** с вертолета или самолета с целью исключить явно негодные варианты трассы и наметить границы аэрофотосъемочных маршрутов. Маршрут залетов совмещают с направлением проектируемой трассы (рис.4). При этом выполняют весь комплекс работ до получения **изыскательского плана** полосы варьирования в масштабе 1:1 0000 (для горных районов 1:5 000) с сечением рельефа 2-5м и планов переходов через реки, пересечений инженерных сооружений, сложных по рельефу участков трассы в

масштабе 1:5 000-1:2 000. По данным инженерно-геологического дешифрирования составляют **геологическую фотокарту** в масштабе аэрофото-снимков. Эти документы составляют основу камерального трассирования и проектирования трассы по отдельным вариантам.

После выбора оптимальной трассы в камеральных условиях проводят ее **полевое обследование**. При этом подробно изучают природные условия вдоль выбранного варианта трассы, намечают углы поворота, согласуют расположение трассы с заинтересованными организациями (местные администрации, дорожные и речные управления, промышленные предприятия и др.).

На основании материалов детальных изысканий составляют **инженерный проект** и смету расходов (с точностью 3-5 %).

в) Предпостроечные изыскания

Этот вид изысканий проводят по выбранной и утвержденной трассе с целью:

- 1) установить и закрепить на местности точное положение трассы, к пикетажу которой привязывают все проектируемые сооружения;
- 2) собрать полные и точные материалы и данные топографо-геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других съемок для составления **рабочего проекта**.

Предпостроечные изыскания - это в основном полевые изыскания на основании технического проекта трассы. Они включают все виды трассировочных работ от рекогносцировки до составления плана и профилей трассы (см. § 3). Материалы полевых изысканий используют для составления рабочего проекта, состоящего из рабочих чертежей на все сооружения; пояснительной записки с обоснованиями, расчетами, ведомостями объемов работ, документами согласований, геодезическими данными, сметами.

Камеральное трассирование

В зависимости от рельефа камеральное трассирование ведут следующими способами: способом попыток, построением линии заданного уклона, стереофотограмметрическим способом и по цифровой модели местности (ЦММ).

Способ попыток применяют в равнинной местности на участках вольных ходов (рис. 3, а). Между фиксированными точками А и В наносят на карту кратчайшую трассу, составляют по ней продольный профиль с проектной линией и выявляют участки, в которых трассу целесообразно сдвинуть вправо или влево, чтобы высоты местности ближе подходили к проектным. Эти участки вновь трассируют и составляют улучшенный проект трассы.

Линии заданного уклона наносят на топографических картах при трассировании в горных условиях на участках напряженных ходов. Если на карте необходимо из точки А (рис. 3, б) провести трассу в юго-восточном направлении с предельным уклоном трассирования $i_{пр.}$, то сначала по масштабу карты $1:M$ и по высоте сечения рельефа h вычисляют величину заложения D для уклона $i_{пр.}$

$$D = \frac{h}{i_{пр.}} \quad (1)$$

или в масштабе карты

$$d = \frac{h}{i_{пр.}} \cdot \frac{1}{M} \quad (2)$$

Затем из начальной точки А, придерживаясь основного направления трассы, раствором циркуля, равным d , засекают соседнюю горизонталь. Из полученной точки Б вновь засекают этим же раствором циркуля точку В следующей горизонтали и т.д.

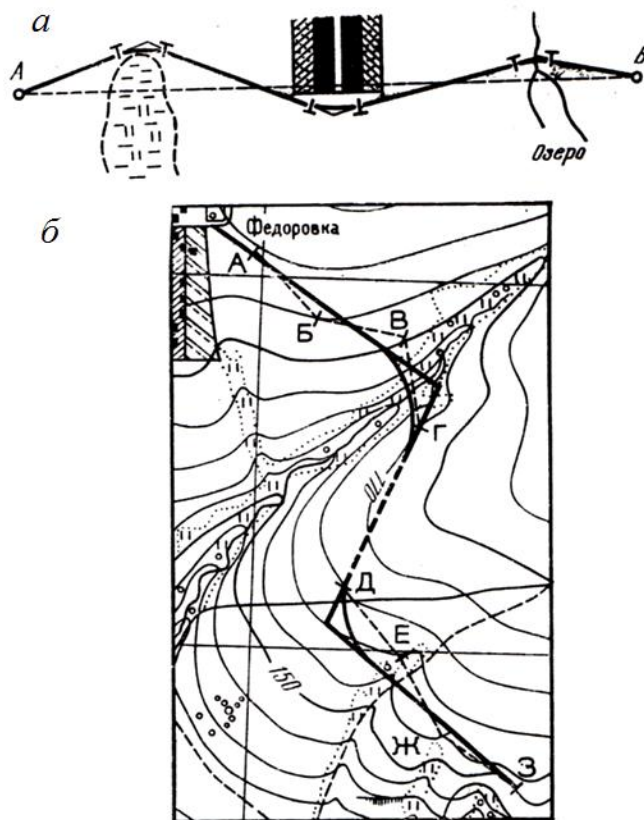


Рис. 3. Трассирование в равнинной (а) и горной (б) местности

При пересечении оврагов (участок ВГ) к тальвегу не спускаются, а переходят сразу на другую сторону, засекая одноименную горизонталь. Так же поступают и при пересечении рек, стремясь, чтобы трасса была приблизительно перпендикулярна к направлению течения.

В местах, где расстояния между горизонталями больше принятого заложения (ГД), т.е. где естественный уклон местности меньше заданного уклона трассирования, точки выбираются свободно в необходимом направлении.

Полученные на карте точки А, Б...З образуют линию заданных уклонов, вдоль которой не требуется делать ни насыпей, ни выемок. Из-за сильной извилистости этой линии ее спрямляют, затем вписывают кривые, разбивают пикетаж. По горизонталям определяют отметки пикетов и характер-

ных перегибов местности и составляют продольный профиль трассы. В местах с большими объемами земляных работ трассу смещают в требуемом направлении и перепроектируют этот участок.

Камеральное трассирование можно производить по **стереомоделям** местности, получаемым стереоприборами с использованием аэрофотоснимков. При этом используют материалы плановой кадровой маршрутной аэрофотосъемки в виде отдельных прямолинейных одиночных, сдвоенных или строенных маршрутов. Маршруты соединены между собой в продольном направлении под некоторым углом в виде ломаной полосы и в поперечном направлении проложены параллельно друг другу (рис. 4).

Автоматизированная система выбора и проектирования трасс основана на применении цифровой модели местности в качестве топографической основы, ЭВМ большой мощности для расчетов и проектирования вариантов, координатометра (графопостроителя) с программным управлением для автоматического составления проектной документации.

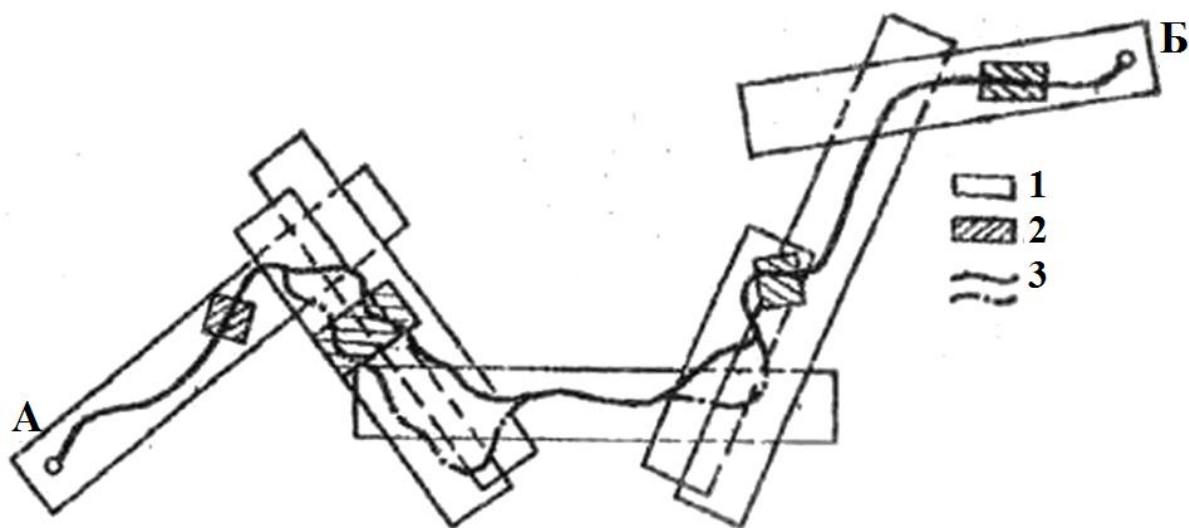


Рис. 4. Маршрутная съемка

1 - маршруты аэросъемки; 2 - участки аэросъемки сложных мест трассы; 3 - варианты трассы

§ 3. Полевое трассирование

Полевое трассирование включает следующие виды работ:

- 1) вынесение проекта трассы в натуру и ее закрепление;
- 2) привязка трассы к пунктам геодезической основы;
- 3) измерение углов поворота;
- 4) разбивка пикетажа с ведением пикетажного журнала;
- 5) разбивка круговых и переходных кривых;
- 6) закладка вдоль трассы реперов, нивелирование трассы;
- 7) съемка площадок, переходов, пересечений;
- 8) обработка полевых материалов, составление плана трассы и профилей (продольного и поперечных).

Различают следующие способы выноса проектной трассы на местность: от основного магистрального хода, касательного к началу и концу каждого закругления; от тангенциального хода, касательного к главным точкам трассы; от произвольного магистрального хода.

Разбивку трассы от основного магистрального хода, касательного к началу и концу каждого закругления, осуществляют обычно при разбивке пикетажа в ходе изыскательских работ по трассе, представляемой традиционными закруглениями, т.е. круговыми кривыми или круговыми кривыми со вспомогательными переходными. Расчет и разбивку закруглений в этом случае осуществляют с использованием специальных таблиц или микрокалькулятора.

Разбивку трассы от тангенциального хода, касательного к главным точкам трассы, осуществляют в ходе изыскательских работ при разбивке пикетажа на длинных и сложных закруглениях. Также при детальной разбивке трассы в ходе строительства автомобильной дороги.

Разбивка трассы от произвольного магистрального хода осуществляется при строительстве, когда клотоидная трасса либо сплайн трасса была запроектирована на компьютере в рамках одной из систем САПР – АД с

использованием ЦММ, построенной на поперечниках к вынесенному на местность магистральному ходу. Расчет координат для выноса произвольной трассы на местность может быть осуществлен только на основе компьютерной обработки. При этом обычно получают три разбивочные таблицы для выноса трассы на местность от произвольного магистрального хода: способом прямоугольных координат, полярным способом и способом засечек. В ходе разбивки трассы на разных ее участках в зависимости от местных условий используют наиболее удобные в данных обстоятельствах способы разбивки и соответствующие разбивочные таблицы.

В ходе строительства автомобильных дорог часто применяют наиболее простой способ выноса на местность традиционной либо клотоидной трассы от тангенциального хода, касательного к главным точкам трассы. В этом случае каждая элементарная кривая сложной трассы разбивается от своих тангенсов самостоятельно.

Начинается полевое трассирование с тщательной рекогносцировки местности и выявления существующей вблизи трассы геодезической плановой и высотной сети. Вынос в натуру трассы выполняется по данным привязки углов поворота трассы к пунктам геодезической основы или ближайшим четким контурам. Данные для привязки получают графическим путем с топографической карты. В поле начинают работы с нахождения необходимых геодезических или контурных точек, от которых различными способами (прямоугольных координат, линейных засечек, полярных координат, угловых засечек) определяют положение главных точек трассы. На эти точки устанавливают вехи и обследуют намеченные направления: переходы через водотоки и овраги, пересечения существующих магистралей и другие места.

На местность выносят и закрепляют углы поворота по данным их привязки к пунктам геодезической основы или к ближайшим четким контурам ситуации. Иногда их следует сместить для удобного расположения

элементов плана и профиля трассы и обеспечения минимального объема строительных работ.

Окончательно выбранное положение вершин углов поворота закрепляют на местности деревянными или железобетонными столбами и составляют абрис привязки этих точек к местным предметам.

При больших расстояниях между соседними углами поворота на прямых участках с помощью теодолита через 500-800 м **закрепляют створные точки**, которые задают отложением угла 180° при двух положениях вертикального круга теодолита. Угол хода на створной точке измеряют одним приемом. Он не должен отличаться от 180° более чем на $1'$. В противном случае створную точку перемещают на местности. После выноса трассы на местность производят привязку трассы к пунктам геодезической основы, обычно прокладкой теодолитного хода по оси трассы, включающий начало трассы НТ, створные точки СТ, вершины углов поворота ВУ, конец трассы КТ (рис. 1). При этом измеряют правые по ходу горизонтальные углы и длины сторон. Углы измеряют одним приемом со средней квадратической погрешностью $0,5'$. Углы поворота трассы определяют как дополнение правого угла до 180° .

По горизонтальным углам в ВУ вычисляют углы поворота трассы:

$$\theta_1 = 180^\circ - \beta_1 - \text{при повороте трассы вправо,}$$

$$\theta_2 = \beta_2 - 180^\circ - \text{при повороте влево.} \quad (3)$$

Для контроля угловых измерений одновременно по буссоли измеряют прямые и обратные магнитные азимуты сторон трассы.

Расстояние между вершинами углов поворота и створными точками измеряют рулеткой или дальномерами с предельной относительной погрешностью $1:1000 \dots 1:2000$. На участках трассы с углом наклона более 2° в непосредственно измеренные длины вводят поправки за наклон со знаком «плюс». По результатам измерений углов и линий и данным плановой

привязки трассы к пунктам геодезической основы вычисляют координаты вершин углов поворота.

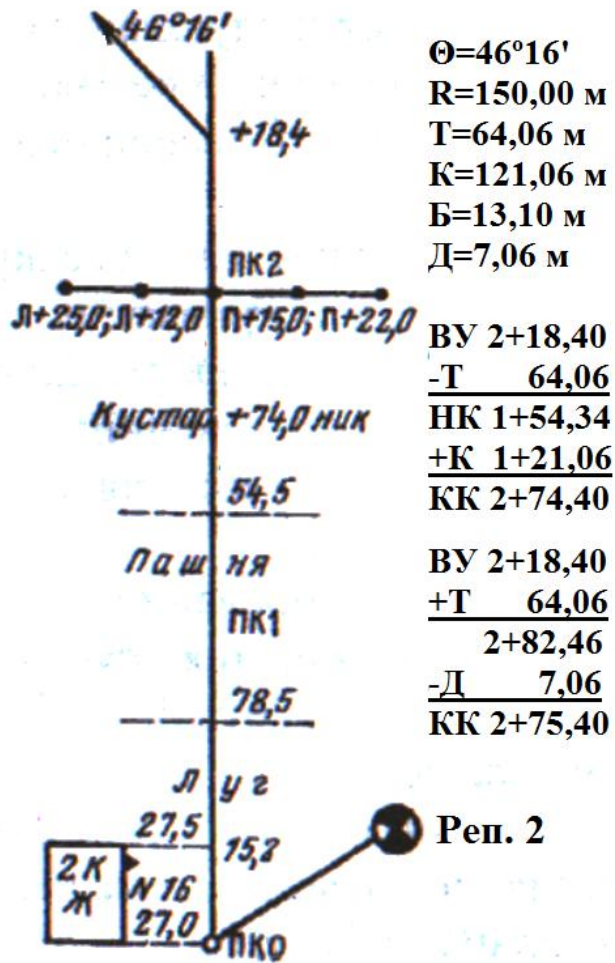


Рис. 5. Пикетажный журнал нивелирования трассы

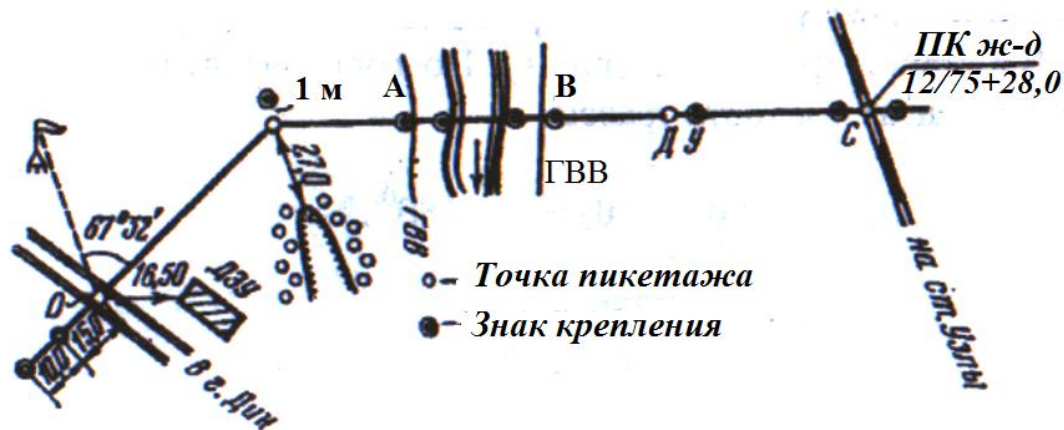


Рис. 6. Закрепление трассы в натуре

С помощью ленты или рулетки разбивают и закрепляют на трассе пикеты через 100 м, плюсовые точки в местах перегиба рельефа между пикетами, поперечники в местах резкого изменения рельефа поперек трассы, точки кривых. Начальная точка трассы служит нулевым пикетом. Разбивку пикетажа ведут с применением стальной ленты или рулетки. Для того, чтобы избежать введения поправки из-за наклона, на наклонных участках ведут разбивку пикетажа, укладывая ленту горизонтально и проектируя отвесом на землю приподнятый конец мерного прибора. Пикеты и плюсовые точки фиксируют с помощью деревянного кола диаметром 30 мм, длиной 150 мм, который забивают почти вровень с землей. Рядом с колом на расстоянии 200 мм по направлению хода забивают сторожок – кол длиной 300...500 мм. На сторожке пишут номер пикета так, чтобы надпись была обращена назад по ходу к точке пикета. Пикет окапывают канавкой.

Для разбивки пикетажа каждую линию трассы провешивают с помощью теодолита.

Параллельно ведут съемку ситуации на расстоянии до 50 м в стороны от оси трассы. Результаты разбивки и съемки заносят в пикетажный журнал (рис. 5). На местности указанные точки закрепляют кольшками и окапывают канавкой. В отличие от них все опорные пункты трассы, ВУ, СТ, места переходов через крупные препятствия дополнительно закрепляют дере-

вянными или железобетонными столбами и составляют абрис привязки их к местным предметам (рис. 6). Точки кривых закрепляют кольшками после их детальной разбивки.

На углах поворота трасс вставляют круговые и переходные кривые.

Разбивка круговых кривых

Круговые кривые служат для плавного перехода от одного прямого участка трассы к другому. Их основные элементы – угол поворота θ (рис. 7, а), радиус R , задаваемый в зависимости от условий местности и категории автодороги; длина касательных $AB - BC = T$, называемая тангенсом; длина кривой $AFB = K$; длина биссектрисы $CF = Б$; величина домера $Д$, т.е. разность между двумя тангенсами и кривой. Все указанные элементы кривой могут быть найдены по измеренному углу поворота θ и заданному проектом радиусу R по формулам, понятным из рис. 7, а:

$$\left. \begin{aligned} T &= R \cdot \operatorname{tg} (\theta/2), \\ Б &= R/\cos (\theta/2) - R = R (\sec(\theta/2) - 1), \\ K &= R\theta/\rho, \\ Д &= 2T - K. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Эти элементы можно выбрать из специальных таблиц по аргументам θ и R .

Положение кривой на местности определяется ее тремя главными точками:

начало - А,

середина - В,

конец - С (сокращенно НК, СК, КК).

Точки НК и КК получают путем откладывания T от ВУ в направлениях предыдущего и последующего участков трассы. СК получают путем откладывания $Б$ по биссектрисе внутреннего угла при ВУ. На практике нередко случаи, когда ВУ недоступна ни для измерения угла поворота, ни для разбивки кривой (рис. 7, б). В этом случае на сторонах угла, которые дос-

тупны, выбирают две вспомогательные точки А и В, измеряют в них углы α и β , а также $AB = d$, и вычисляют:

$$\theta = \alpha + \beta; a = d \cdot \sin \alpha / \sin \theta; b = d \cdot \sin \beta / \sin \theta. \quad (5)$$

После этого по вычисленному θ и заданному R получают главные элементы кривой, а затем на местности закрепляют НК, отложив от точки А отрезок, равный $(T - b)$, и КК, отложив от точки В отрезок, равный $(T - a)$. СК можно вынести по ее прямоугольным координатам или другим способом.

Так как расстояния по трассе считаются по кривым, а разбивка пикетов ведется вдоль тангенсов по прямым, то все пикеты за вершиной угла смещаются на величину домера в сторону конца трассы. Пикеты, попавшие на один из тангенсов, переносят на кривую по их координатам (формулы для вычисления координат смотри ниже).

Для осуществления качественного строительства автодороги трех точек кривой недостаточно. Поэтому производят ее **детальную разбивку**, закрепляя дополнительные точки, с равным строительным шагом, через 20 м при радиусах более 500 м, через 10 м при радиусах 100-500 м и через 5 м при радиусах менее 100 м.

Существует много способов детальной разбивки круговых кривых. Однако на практике используется в основном три.

Способ прямоугольных координат (рис. 8, а) состоит в том, что сначала по заданному R и интервалу разбивки S вычисляют горизонтальный угол по формуле:

$$\varphi = S \cdot \rho / R. \quad (6)$$

Затем вычисляют прямоугольные координаты разбиваемых точек кривой по формулам:

$$x_n = R \cdot \sin(n \cdot \varphi); \quad y_n = R \cdot (1 - \cos(n \cdot \varphi)) = 2R \sin^2(n\varphi/2) \quad (7)$$

При разбивке принимают НК и КК за начало координат, направления Т за ось X, перпендикуляры к Т за ось Y, откладывают по осям прямо-

угольные координаты с помощью ленты или рулетки и закрепляют на кривой точки с интервалом S . Координаты x_n и y_n можно выбирать из таблиц по R и S .

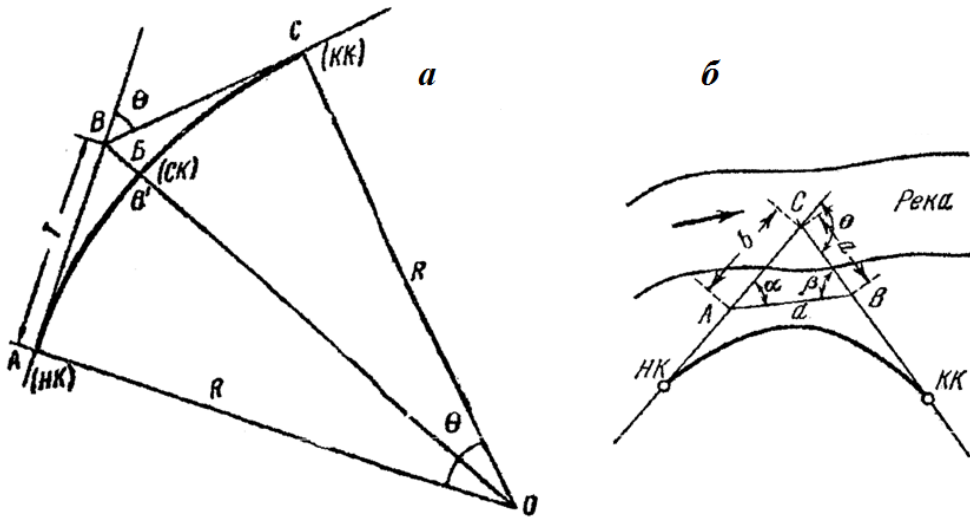
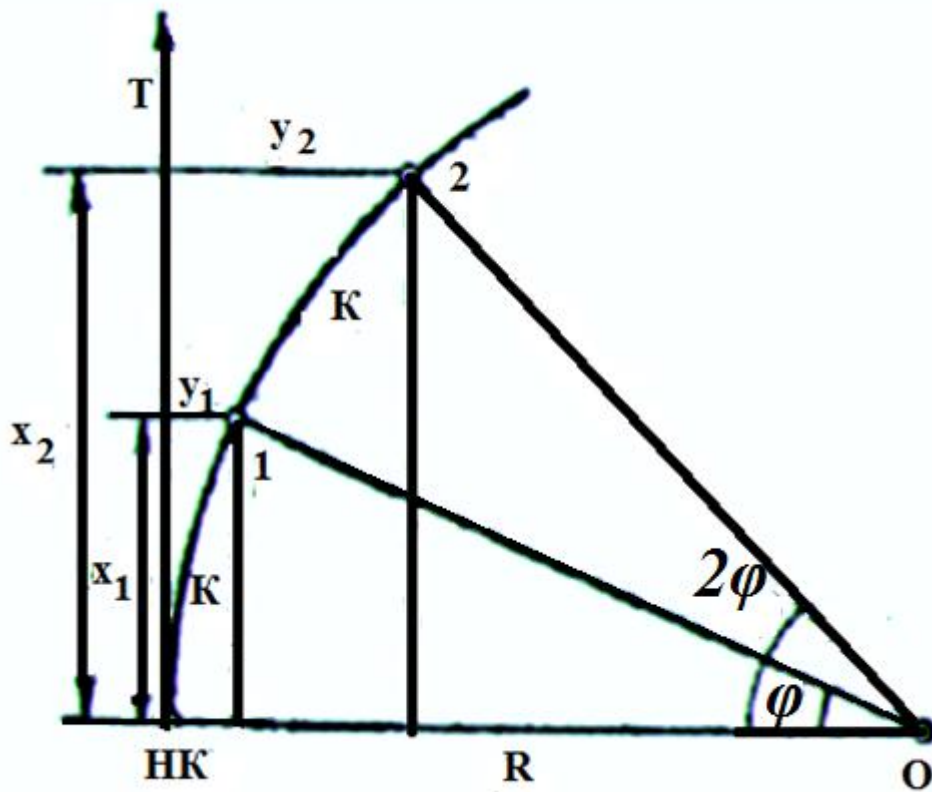


Рис. 7. Круговая кривая

a



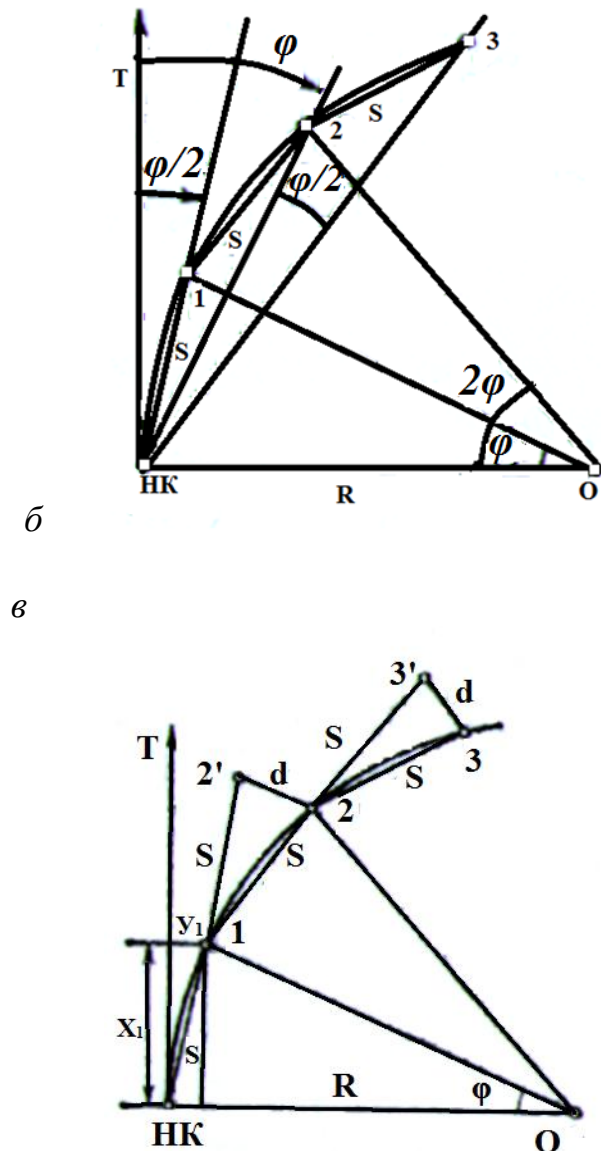


Рис. 8. Детальная разбивка кривой
 а – способом прямоугольных координат; б – способом углов;
 в – способом продолженных хорд

Разбивку ведут с помощью теодолита (или экера), ленты или рулетки. Ординаты откладывают по рулетке, построив прямой угол с помощью теодолита (экера), и кольями обозначают соответствующие точки на местности.

Способ углов и хорд (рис. 8, б) основан на том, что углы с вершиной в НК и КК, образованные T и хордой и заключающие равные дуги, равны половине соответствующего центрального угла. Из рис. 8, б найдем

$$\sin \varphi/2 = S/2R \quad \text{или} \quad \varphi/2 = S \cdot \rho/2R. \quad (8)$$

Установив в НК теодолит, от направления T откладывают угол $\varphi/2$, а

по направлению визирного луча отрезок S , и получают точку 1 на кривой. Затем откладывают угол $2\varphi/2$. Совместив начало ленты с точкой 1, протягивают ее в сторону визирного луча теодолита, и, отложив расстояние S от точки 1, в пересечении конца отрезка с лучом получают точки 2 и т.д. Недостаток способа - ошибки в положении точек накапливаются, т.к. каждую последующую точку получают промерами от предыдущей.

Способ продолженных хорд (рис. 8, в)

Из рисунка можно записать:

$$b/S = S/R \quad \text{и} \quad b = S^2/R \quad (\text{промежуточное перемещение}). \quad (9)$$

Крайние перемещения (первой и последней) точек $a = v/2$ и практически равны u_1 .

Эти перемещения можно выбрать из таблиц. Положение первой точки 1 на кривой определяют с базиса S , отложенного вдоль T от НК (или КК). Точку 1 получают линейной засечкой радиусами - векторами S и a . Закрепив точку 1, протягивают ленту по продолжению хорды (НК-1) и на ней в точке 2' на расстоянии S ставят шпильку. Положение точки 2 на кривой получают линейной засечкой отрезками S и в соответственно из точек 1 и 2. Подобным образом получают точки 3, 4, 5.... Недостаток способа - в накоплении ошибок.

Разбивка переходных кривых

Для обеспечения наибольшей скорости движения автотранспорта на участках кривых малого радиуса (менее 2000 м) при входе на круговую кривую и выходе с нее вставляют переходные кривые и устраивают виражи и отгон виража (см. § 5). С помощью переходных кривых более плавно сопрягают прямолинейные участки дорожной трассы с круговой кривой. Переходная кривая представляет собой кривую, радиус которой изменяется на заданном интервале от бесконечности (в точке сопряжения с прямой) до

радиуса круговой кривой (в точке сопряжения с последней, рис. 9). Этому условию в наибольшей степени удовлетворяет радиоидальная спираль (клотоида), уравнение которой имеет вид:

$$\rho = a \cdot V^2 / \ell \cdot i \cdot g = C / \ell, \quad C = R \cdot \ell, \quad (10)$$

где R - радиус круговой кривой ρ - переменный радиус кривизны, C - параметр кривой, ℓ - длина переходной кривой, V - скорость движения, g - ускорение силы тяжести, i - продольный уклон виража, a - ширина пути.

В зависимости от категории дороги длина переходных кривых колеблется от 20 до 200 м и назначается кратной 20 м. Дорожные клотоидные закругления насчитывают 20 характерных элементов, начиная от угла поворота трассы и заканчивая сдвижкой круговой кривой. Эти элементы либо вычисляют по формулам, либо выбирают из специальных таблиц. На местности НПК получают отложением T от ВУ и принимают его за начало координат при детальной разбивке. Прямоугольные координаты для разбивки можно либо выбрать из таблиц, либо вычислить по формулам:

$$x = S - S^5/4 \cdot C^2, \quad y = S^3/6 \cdot C, \quad (11)$$

где S – длина кривой от НПК до данной точки.

Порядок детальной разбивки такой же, как и при разбивке круговой кривой методом перпендикуляров (прямоугольных координат). Координаты КПК, а значит НПК, можно найти по формулам, приведенным выше, если в них заменить S на ℓ .

В качестве переходных кривых иногда используют кубическую параболу, лемнискату и др.

Переходные кривые (длиной ℓ) строят наполовину за счет круговой кривой и половину за счет прямого участка. В результате, кривая удлиняется за счет переходных кривых, угол φ° на участке кривой уменьшается на величину, где

$$2 \cdot \varphi_1, \text{ где } \varphi_1 = \frac{90\ell}{\pi R}. \quad (12)$$

Устройство переходных кривых возможно только в том случае, когда $\varphi > 2\pi\ell$. В этом случае между концом и началом переходной кривой будет располагаться участок круговой кривой. При равенстве этих элементов конец переходной кривой будет началом второй переходной кривой. Перекрывание между собой этих переходных кривых недопустимо.

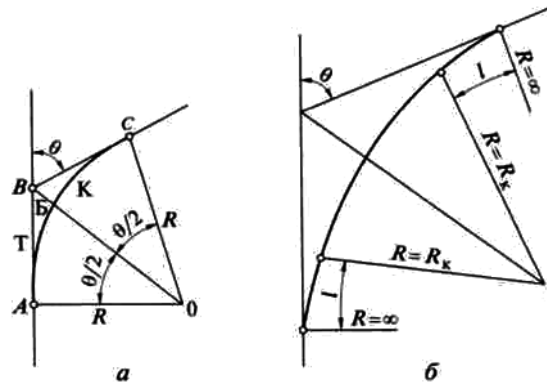


Рис. 9. Схема круговой кривой с переходными кривыми

Между радиусом круговой кривой R и длиной переходной кривой ℓ существует зависимость, представленная в табл. 1.

Таблица 1

R	30	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	600-2000
ℓ	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120

Чтобы рассчитать элементы смещения кривой необходимо уменьшить радиус круговой кривой на величину сдвижки P , но как правило, радиус не уменьшают, а сдвигают середину круговой кривой. Элементы переходной кривой берут из таблиц для разбивки круговых кривых или вычисляют по формулам.

Вертикальные кривые

При проектировании трассы для плавного перехода с одного уклона на другой применяют вертикальные круговые кривые большого радиуса (5000 – 10000 м) или клотоиды. Круговые кривые характеризуются

основными элементами (рис. 11): R_B - радиус; i_1, i_2 - уклоны сопрягаемых участков; $w = \arctg(i_1 - i_2)$ - центральный угол кривой («угол поворота»); $K_B = R_B \cdot w \approx 2T$ - длина кривой; $T_B = R_B \cdot \tg(i_1 - i_2)/2$ - тангенс кривой; $B_B = T_B^2/2 \cdot R_B$.

Пикетаж главных точек кривой НК, СК, КК определяется так же, как на горизонтальной кривой, но без домера. Положение любой точки профиля на вертикальной кривой определяется прямоугольными координатами x и y (рис. 11).

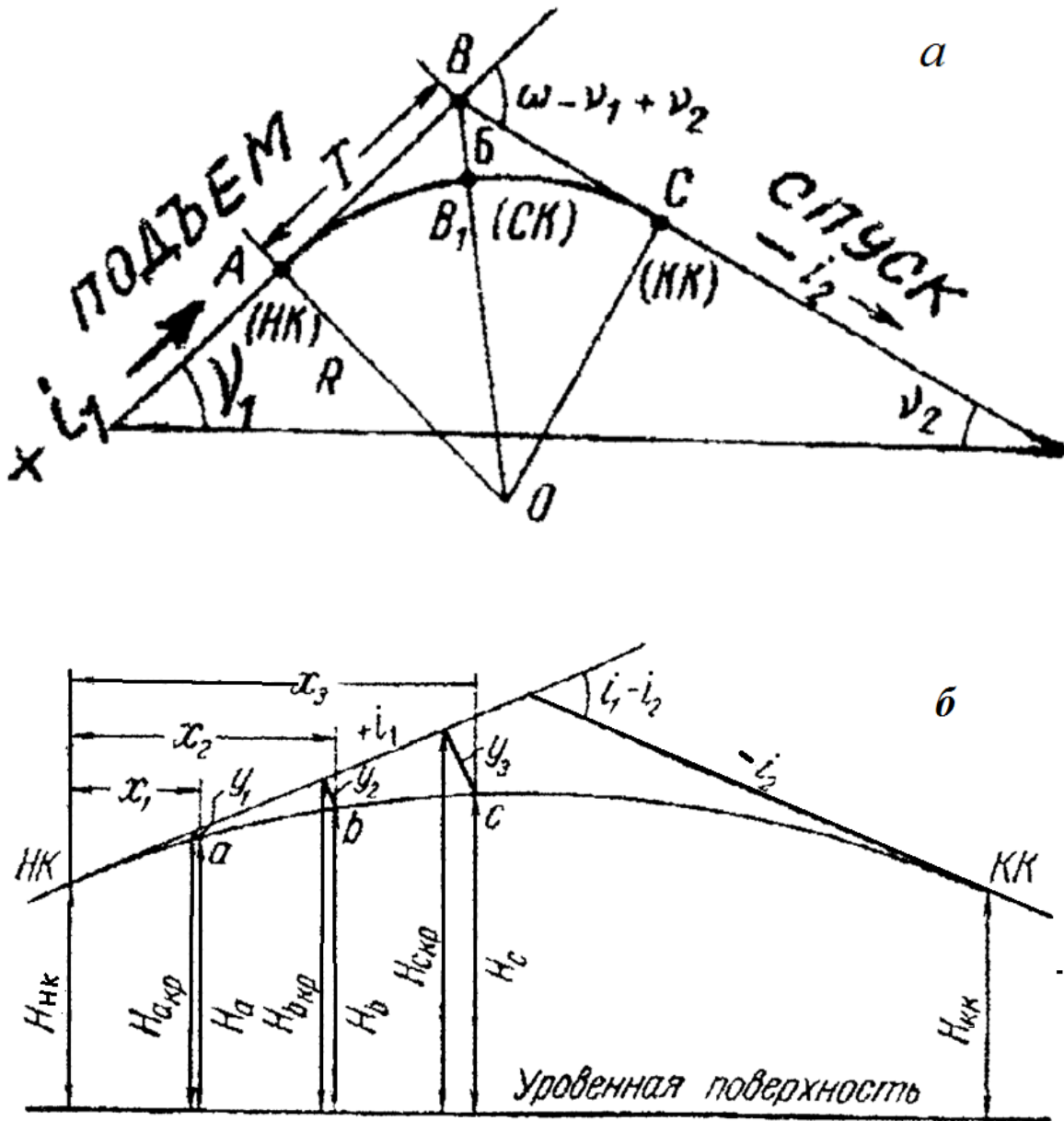


Рис. 11. а - вертикальная кривая; б - разбивка вертикальных кривых

Абсциссы x отсчитывают через 10 м по пикетажу от начала вертикальной кривой, а ординаты либо берут из таблиц, либо вычисляют по формуле:

$$y = x^2/2R_B, \quad (13)$$

и вводят как поправки в проектные отметки продольного профиля, прибавляя их в случае вогнутой кривой и вычитая при выпуклой кривой:

$$H_K = H_T + \Delta H = H_T + x^2/2R, \quad (14)$$

где H_K – определяемая отметка точки, H_T – абсолютная отметка точки начала кривой (точки тангенса).

Вынос отметок вертикальных кривых на местность осуществляют геометрическим нивелированием. Отметки выносят на специально устанавливаемые колья или вешки-визирки через горизонт инструмента путем установки по рейке отсчета, получаемого как разность ГИ и отметки выносимой точки, т.е.

$$a = \text{ГИ} - H_K, \quad \text{ГИ} = H_T + b, \quad (15)$$

где b – отсчет по рейке, установленной в НК.

Нивелирование трассы

По всем точкам трассы, а также по установленным вдоль трассы постоянным и временным реперам производят нивелирование.

Постоянные железобетонные реперы устанавливают при закреплении трассы через каждые 20-30 км, а так же в местах пересечений существующих магистралей, вблизи переходов через крупные реки и горные препятствия, в населенных пунктах, на площадках станций. Дополнительно через 2-3 км устанавливают временные реперы, в качестве которых используют деревянные столбы и устойчивые предметы местности (цоколи зданий, обрезы фундаментов, опоры линий электропередач и др.). Реперы должны находиться вне зоны земляных работ будущего строительства. На каждый из них составляют абрис с привязкой к пикетажу трассы и к местным

предметам.

Нивелирование по трассе, как правило, проводят **в два нивелира**. Первым прибором нивелируют все пикетные точки, плюсовые, геологические выработки, постоянные и временные реперы. Вторым нивелируют только реперы, связующие точки, а также поперечные профили. Километровые пикеты и реперы обязательно нивелируют как связующие точки обоими нивелирами.

Одиночное нивелирование разрешается на трассах длиной до 50 км, когда ход опирается на реперы или нивелирные точки основной трассы.

Для нивелирования трассы применяют технические нивелиры различных типов. В резкопересеченной местности допускается тригонометрическое нивелирование.

Нормальные плечи при нивелировании равны 100-150 м. Таким образом, связующие точки намечают через 2-3 пикета, остальные точки берут как промежуточные (при одном взгляде на рейку). Результаты нивелирования заносят в нивелирный журнал установленного образца.

Беспикетный способ разбивки трассы

Электронный тахеометр является современным геодезическим прибором. Использование электронного тахеометра даже в классических технологиях трассирования значительно повышает производительность труда. Прибор имеет погрешность измерения горизонтального угла 5", вертикального 6", погрешность измерения расстояния $(5 + 3ppm \times D)$, что обеспечивает измерение углов и расстояний с более высокой точностью, чем требуется для данного вида работ (погрешность измерения горизонтального угла не более 30", расстояния – 1:1 000). Измерения электронным тахеометром позволяют заменить технологические цепочки: трассирование, разбивка пикетажа, съемка притрассовой полосы, продольное нивелирование по оси трассы, разбивка и съемка поперечников. При этом замена

может быть полной и частичной, когда трассирование автомобильной дороги выполнено.

В последнем случае электронным тахеометром выполняют только измерение длин линий по трассе (взамен разбивки пикетажа) и тригонометрическое нивелирование трассы (взамен двойного продольного геометрического нивелирования).

Применение тригонометрического нивелирования взамен геометрического обеспечивает допустимую невязку $\pm 50 \text{ мм}\sqrt{L}$, где L – длина хода в км. Допустимая невязка двойного хода геометрического нивелирования $\pm 100 \text{ мм}\sqrt{L}$. При производстве тригонометрического нивелирования трассы плечи можно увеличивать до 500-700 м (предельное расстояние при работе с малым отражателем). Применение тригонометрического нивелирования позволяет не только выполнить продольное нивелирование трассы, но и осуществить планово-высотную привязку трассы, нивелирование трасс мостовых переходов, в населенных пунктах, на пересечениях железных и автомобильных дорог. Позволяет выполнить разбивку горизонтальных кривых способом полярных координат, съемку поперечников трассы. При производстве тригонометрического нивелирования электронным тахеометром используют малый отражатель на телескопической вехе. Высоту отражателя делают равной высоте прибора, и ее значение вместе со значением высоты точки стояния заносят в память прибора. Высоту на следующую станцию передают при двух положениях вертикального круга тахеометра. При продольном нивелировании трассы определяют высоты следующих характерных точек местности, закрепляемых кольями и сторожками: характерные переломы местности; точки местности с шагом 80-100 м; границы угодий; точки пересечения подземных коммуникаций; пересекаемые дороги; урезы воды постоянных водотоков; главные точки трассы. Запись результатов измерений ведут в полевом журнале или в электронном полевом журнале на магнитные носители информации.

Камеральные работы

Обработку материалов трассирования начинают с **контроля полевых документов**. При проверке угломерных журналов особое внимание обращают на правильность вычисления углов поворота. Линейные измерения контролируют путем сравнения промеров между углами поворота с результатами разбивки пикетажа. В пикетажных журналах проверяют вычисление элементов кривых и пикетажных значений НК и КК.

Вторым этапом камеральных работ является **математическая обработка** результатов измерений, а именно, уравнивание теодолитных и нивелирных ходов, вычисление координат вершин поворотов и створных точек, вычисление отметок всех пикетов, плюсовых точек и др. Для исключения ошибок все вычисления выполняют в две руки. Для оценки точности измерений руководствуются следующими требованиями:

- 1) угловая невязка хода не должна превышать $f_{\text{доп.}} = \pm 3' \cdot \sqrt{n}$,
где n – число сторон хода;
- 2) линейная относительная невязка в теодолитном ходе не должна превышать 1:1 000;
- 3) невязка в нивелирном ходе не должна превышать $f_{\text{доп.}} = \pm 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{L}$,
где L – длина хода в км.

По главным элементам кривых и их пикетажным значениям составляют **ведомости прямых и кривых**. Правильность их составления контролируют по формулам:

$$\begin{aligned} 2\sum T - \sum K &= \sum D; & \sum \theta_{\text{прав.}} - \sum \theta_{\text{лев.}} &= \alpha_{\text{кон.}} - \alpha_{\text{нач.}}; \\ \sum P + \sum K &= \sum L - \sum D = S, & & (16) \end{aligned}$$

где P – прямые вставки, вычисляемые как разности пикетажных значений НК последующей ВУ и КК предыдущей ВУ;

L – расстояния между ВУ, вычисляемые как разности пикетажных значений смежных ВУ с прибавлением домера D предыдущей кривой;

S – длина трассы (разности пикетажных наименований КТ и НТ).

Графические работы относятся к третьему этапу обработки материалов трассирования. Одной из задач этого этапа является составление **плана трассы** в масштабе 1:5 000 или 1:10 000, на котором кроме ситуации показывают знаки крепления трассы, реперы, НК и КК, километры и характерные ПК. На закруглениях подписывают элементы кривых, на прямых вставках – их длину и азимут или румб.

Второй частью графических работ является вычерчивание **продольных и поперечных профилей** в масштабах: горизонтальном 1:5 000 или 1:10 000, вертикальном в 10 раз крупнее для продольных профилей и в масштабах 1:100 для поперечников. На профиль наносят примерное положение проектной линии, которое впоследствии уточняется (рис. 12).

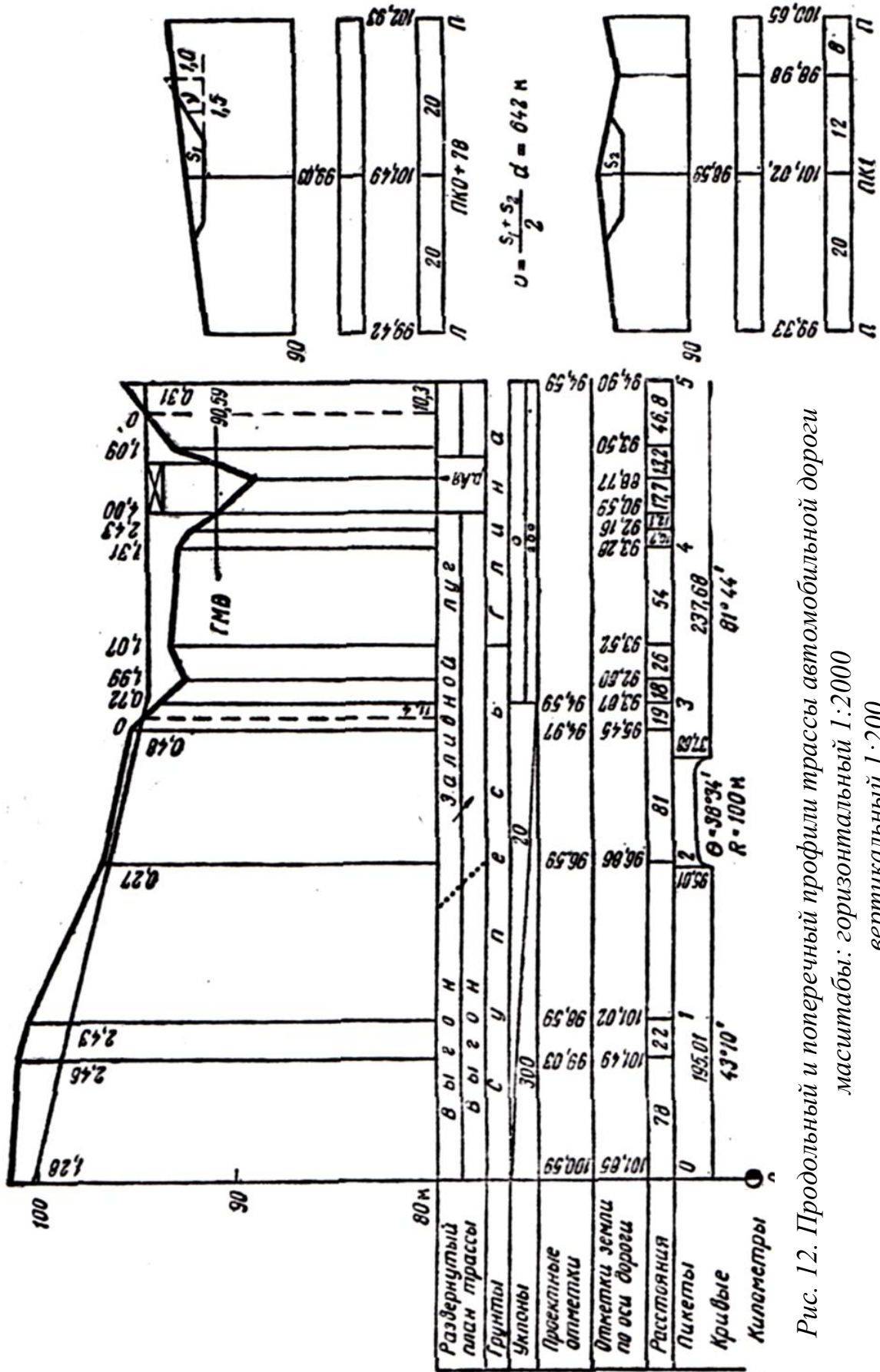


Рис. 12. Продольный и поперечный профили трассы автомобильной дороги
 масштабы: горизонтальный 1:2000
 вертикальный 1:200
 для поперечников 1:200

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ИНЖЕНЕРНО – ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В ПЕРИОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОГ

§ 4. Проектирование автодорог. Разбивка земляного полотна

После проведения изысканий, камерального и полевого трассирования приступают к проектированию автодороги. При этом в первую очередь учитывают **категорию автодороги**. Все автодороги делятся на пять категорий.

Дороги I - II категорий - это автомагистрали общегосударственного и республиканского значения, связывающие важнейшие экономические районы и крупные центры. На дорогах I категории суточная интенсивность движения составляет свыше 6 тыс. автомобилей при основной расчетной скорости 150 км/ч, они имеют 4 и более полос движения с разделительной полосой между разными направлениями движения.

На дорогах II категории суточная интенсивность движения принимается от 3 до 6 тыс. автомобилей при расчетной скорости 120 км/ч и двух полосах движения.

Дороги III категории - республиканского и областного значения при интенсивности движения 1-3 тыс. автомобилей и основной расчетной скорости 100 км/ч.

Дороги IV-V категорий - это дороги местного значения с небольшой интенсивностью движения и основной расчетной скоростью 80-60 км/ч.

Категория дороги определяет **технические условия проектирования**, обеспечивающие плавность и безопасность движения с заданными скоростями. В связи с этим на автодорогах строго регламентируются максимальные руководящие уклоны и минимальные радиусы кривых (табл. 2). С категорией дороги связаны параметры плана и продольного профиля, размеры земляного полотна, конструкции дорожных одежд и искусствен-

ных сооружений, требования по обеспечению уровней удобства и безопасности движения, требования по охране окружающей среды.

При проектировании дорог обязательно нужно предусмотреть создание вдоль дорог геодезического обоснования надлежащей точности и плотности. Такое обоснование следует развивать в период предпроектных изысканий в виде теодолитно-нивелирных ходов повышенной точности. В плане предельные ошибки ходов не должны превышать 1:5 000; по высоте невязки должны лежать в пределах:

$$f_{пред.} = 30\sqrt{L}, \text{ мм,}$$

где L - длина хода в км.

Таблица 2

Параметры	Категория дорог				
	I	II	III	IV	V
Наибольшие продольные уклоны (основные), ‰	30	40	50	60	70
Наименьшие радиусы кривых в плане (основные), м	1 000	600	400	250	125
Наименьшие радиусы вертикальных кривых (основные), м:					
выпуклых,	25 000	15 000	10 000	5 000	2 500
вогнутых	8 000	5 000	3 000	2 000	1 500

Проектирование автомобильных дорог ведут в две стадии – **инженерный проект**, составленный на основе подробных технических изысканий, и **рабочий проект**, разрабатываемый на основе предпроектных изысканий (см. § 2). Для технически несложных объектов с применением типовых проектов разрешается проектирование в одну стадию – инженерный проект, обеспеченный рабочими чертежами.

Инженерный проект содержит материалы и данные, которые необ-

ходимы для обоснования принятых основных технических решений, определения стоимости, сроков и технико-экономических показателей строительства.

Рабочие чертежи по существу являются детальными чертежами, по которым осуществляются строительные и монтажные работы.

Проект на несложные объекты составляется на основе ТЭО и подробных технических изысканий и включает в себя рабочие чертежи, по которым осуществляется строительство.

Нормативы, касающиеся проектирования автомобильных дорог, изложены в СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги, а нормы строительного проектирования мостов в СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы.

Проектирование ведут с максимальным использованием типовых проектов. Индивидуальные проекты разрешается составлять на объекты, для которых нет типовых проектов (высокие насыпи и глубокие выемки, участки дорог в зоне оползней, горных обвалов, вечной мерзлоты, через болота, по крутым скальным склонам и т.п.).

В настоящее время применяется технология автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР-АД). Она определяется рядом факторов, основные из которых следующие: стадии проектирования, категория проектируемой дороги, природные условия района проектирования и др. Данная технология подразумевает комплексную автоматизацию сбора, регистрации и обработки данных изысканий, представление их в виде крупномасштабных топографических планов и цифровой модели местности (ЦММ) в той же системе координат. Включает: многовариантную проработку принципиальных направлений трассы; автоматизированное проектирование с использованием систем прикладных программ всех элементов автомобильной дороги; системное использование средств автоматизации и вычислительной техники; широкое использование методов математического моделирования; полная автоматизация подготовки, оформ-

ления и тиражирования проектно-сметной документации.

Перед началом строительства запроектированной автодороги проводят **восстановление трассы**, которое включает следующие виды работ:

- 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 восстановлении за основу принимают трассу, окончательно выбранную и закрепленную в натуре в процессе предпостроечных изысканий; при этом руководствуются документами рабочего проекта: планом и профилем трассы, ведомостью прямых и кривых, схемой закрепления трассы (см. § 3).

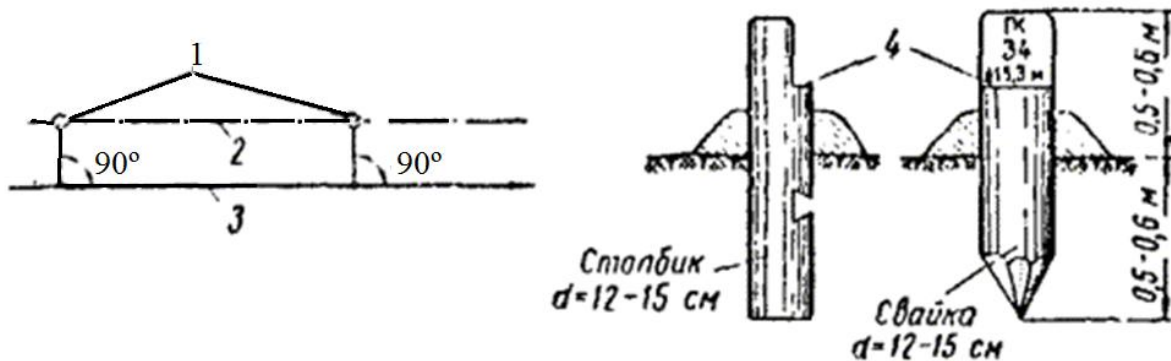


Рис. 13. Выноска пикетов при восстановлении трассы:

1 - выносные пикеты; 2 - граница полосы отвода; 3 - трасса; 4 - место для рейки

Восстановление начинают с отыскания на местности углов поворота трассы. 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 точек трассы. Если знаки крепления не сохранились на нескольких вершинах подряд, то вновь выполняют трассирование этого участка, придерживаясь

взятых с проекта углов поворота и расстояний.

Одновременно с восстановлением вершин измеряют углы поворота трассы и сравнивают полученные значения с проектными. При значительных расхождениях направление трассы на местности не изменяют, а исправляют значение проектного угла поворота и пересчитывают по исправленному углу все элементы кривой.

Затем приступают к контрольному измерению линий с разбивкой пикетажа. Пикеты и точки пересечения трассы с водотоками и магистралями устанавливают в створе по теодолиту. При этом стараются не допускать сплошной передвижки существующего пикетажа.

На закруглениях трассы детально разбивают переходные и круговые кривые.

После восстановления трассы и непосредственно перед началом строительных работ производят **разбивку земляного полотна**. Автодорожное полотно состоит из проезжей части, обочин, откосов и кюветов (рис. 14). Ширина проезжей части может быть 6-15 м в зависимости от категории дороги. Для укрепления проезжей части с обеих сторон ее устраивают обочины шириной 2,00-3,75 м. К обочинам примыкают откосы. Линия, отделяющая обочины от откосов, называется **бровкой дорожного полотна**. Проектные высоты в продольном профиле даются по бровке.

Проезжая часть представляет собой искусственное покрытие - бетонное, каменное и др. Для устройства этого покрытия в дорожном полотне делают специальное земляное корыто (на рис. 14 – ДКК'Д').

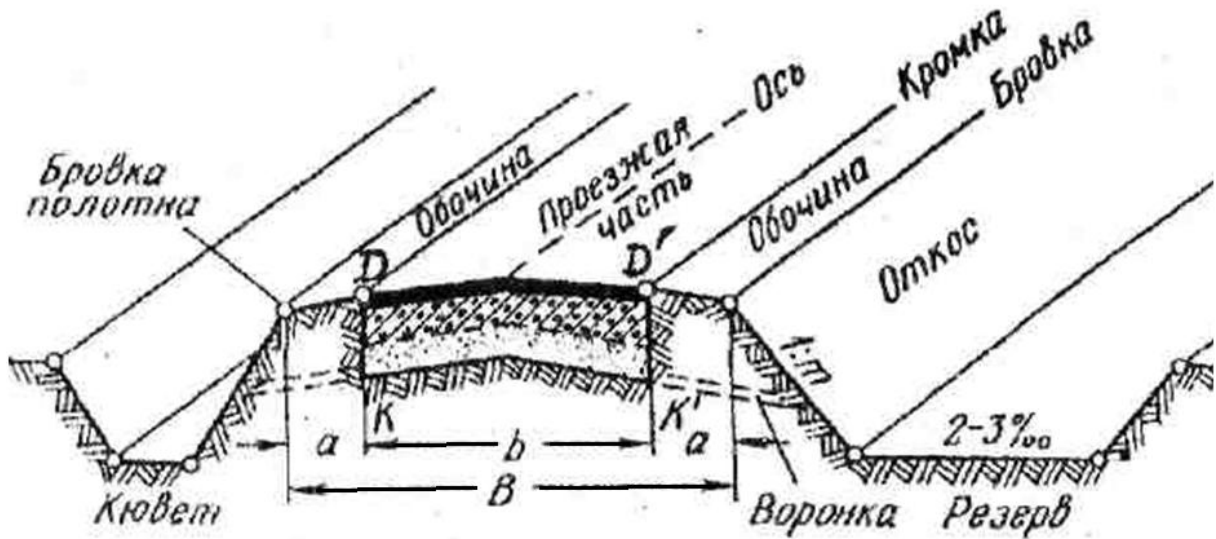


Рис. 14. Дорожное полотно

Для быстрого стока воды поверхность полотна имеет поперечный уклон от середины к бровкам. Величина этого уклона назначается в зависимости от типа покрытия: для цементно-бетонных и асфальтобетонных покрытий 15-20 ‰, щебеночных и гравийных – 20-30 ‰, для мостовых – 30-40 ‰. Обочины имеют поперечный уклон на 20 ‰ больше уклона проезжей части. Дно корыта имеет поперечный уклон, равный уклону проезжей части.

Разбивка земляного полотна складывается из разбивки поперечных и продольных профилей.

Разбивка поперечных профилей состоит в обозначении на местности в плане и по высоте характерных точек полотна: оси, бровок, подошвы насыпи и др.

Для выполнения земляных работ производят детальную разбивку земляного полотна или разбивку строительного поперечника.

На прямолинейном участке поперечники разбивают через 20-40 м, а также на перегибах местности. Для этого в створе оси трассы разбивают плюсовые точки, осевые точки поперечников (рис. 15). Разбивают поперечники вправо и влево от осевых точек. Прямо угол строят при помощи

теодолита или экера, а необходимые по проекту расстояния до характерных точек поперечного профиля откладывают лентой или рулеткой.

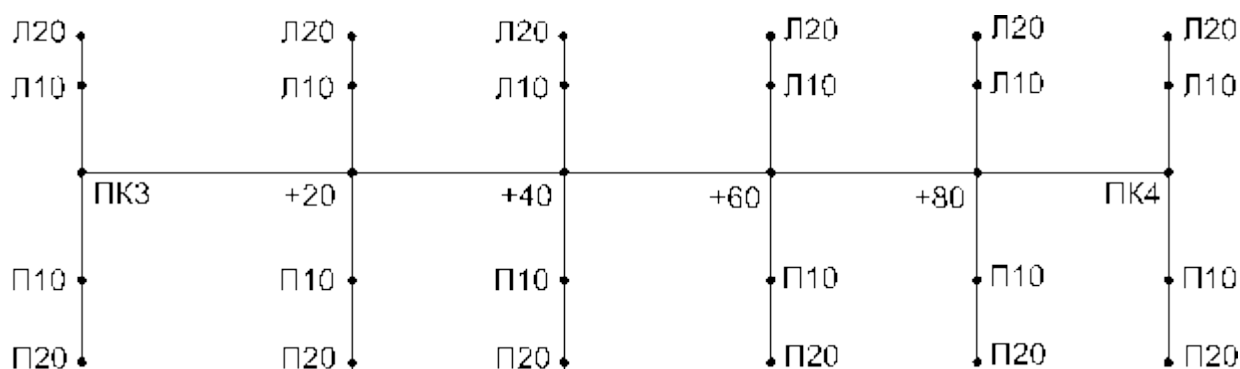


Рис. 15. Разбивка поперечников

На круговых кривых поперечники разбивают через 10-20 метров в зависимости от радиуса кривой (рис. 16). Поперечники должны располагаться по направлению к центру кривой, т.е. перпендикулярно касательной к кривой в точке поперечника. Направление на центр задается по биссектрисе угла γ .

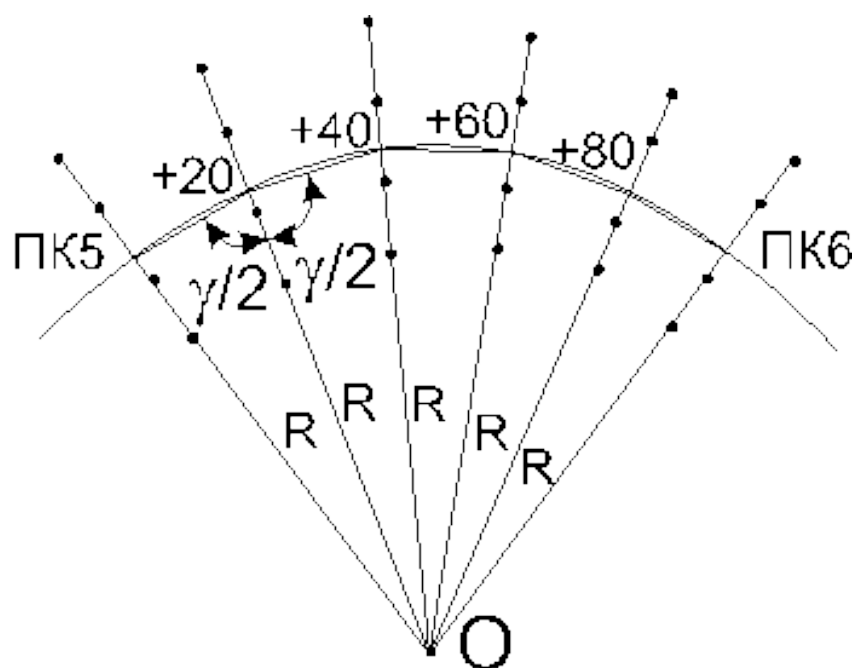


Рис. 16. Определение направления поперечного профиля на кривой

В осевой точке кривой измеряют угол γ между хордами, соединяющими эту точку с двумя соседними. Делят угол γ на две части и строят биссектрису. На этой биссектрисе разбивают поперечник.

Одновременно с разбивкой поперечников выносят в натуру проектные отметки, которые соответствуют отметке бровки дорожного полотна в законченном виде. Рабочие отметки, то есть высоты насыпей или глубины выемок, равны разности проектных отметок по бровке и фактических отметок местности по оси. Если проектная отметка больше отметки местности, то дорога идет по насыпи, а если меньше – в выемке.

Перед выходом в поле составляют писанный профиль, в котором на основании проектного профиля трассы вычисляют для каждого разбиваемого в натуре поперечника проектные и рабочие отметки, глубины кюветов и другие данные.

При **разбивке поперечника в насыпи** на местности, имеющей поперечный уклон не более 1:10 (рис. 17, а), расстояние d от оси до границы основания насыпи (подошвы) вычисляют по формуле:

$$OA = OC = d = B/2 + hm, \quad (17)$$

где B - проектная ширина земляного полотна; 1:m - проектный уклон откоса; h - высота насыпи, определяемая разностью проектной отметки верха земляного полотна и черной отметки поверхности земли.

Для обозначения бровок от оси дороги по створу поперечника откладывают в обе стороны расстояния $d_0 = B/2$, а для границ откосов – расстояния d . На местности кольями закрепляют положение проекции осевой точки, проекции бровок, точек подошвы насыпи и проекции точек кюветов.

После отсыпки насыпи вчерне для окончательной отделки полотна восстанавливают ось и выносят в натуру проектные отметки с учетом запаса на последующую осадку грунта. При отсыпке полотна автомобильной до-

роги производят разбивку для устройства корыта.

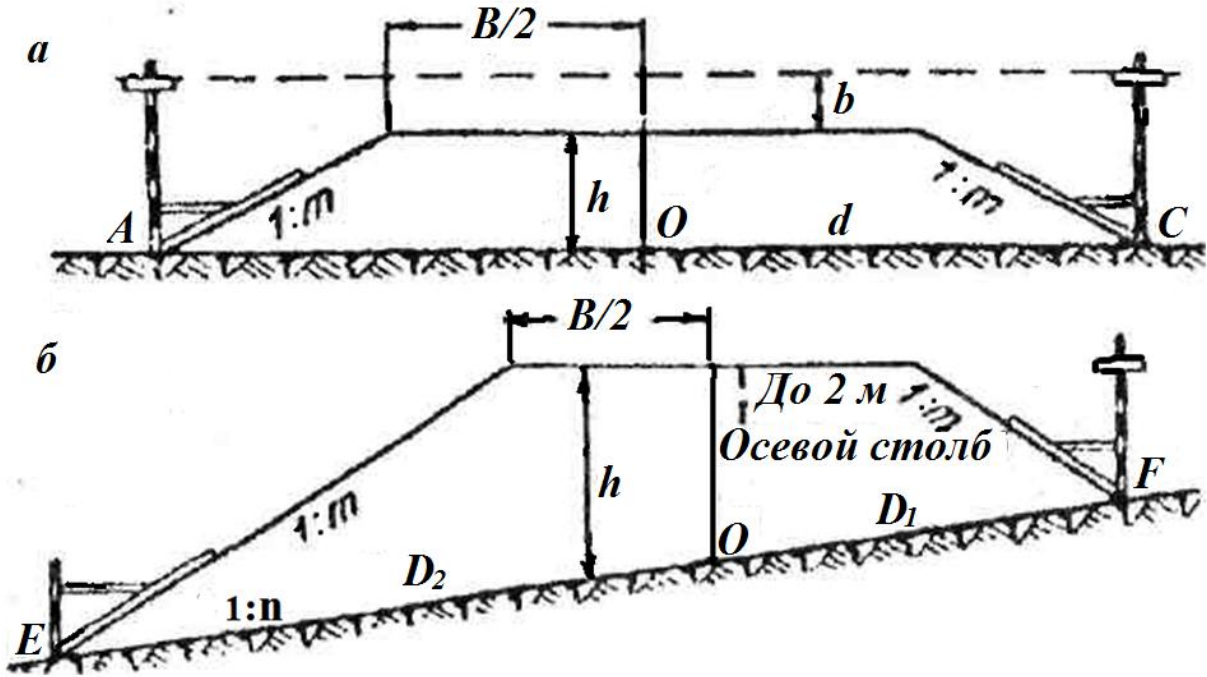


Рис. 17. Разбивка насыпей

При поперечном уклоне более 1:10 (рис. 17, б) расстояния от оси дороги до нагорной D_1 и подгорной D_2 границ откосов вычисляют по формулам:

$$OF = D_1 = \frac{\left(\frac{B}{2} + mh\right) \cdot \sqrt{(n^2 + 1)}}{n + m},$$

$$OE = D_2 = \frac{\left(\frac{B}{2} + mh\right) \cdot \sqrt{(n^2 + 1)}}{n - m},$$
(18)

где 1: n – уклон поверхности земли по поперечнику разбивки, значение которого вычисляют по поперечному профилю или определяют при помощи контрольного шаблона.

Расстояния D_1 и D_2 откладывают от оси при помощи рулетки и кольями закрепляют бровки.

При разбивке насыпей высотой до 0,5 м все колья, расположенные в точках детальной разбивки, забивают так, чтобы их верхний срез находился на проектной отметке верха земляного полотна. Для насыпей высотой более

0,5 м кольца в точках подошвы **заменяют инвентарными откосниками.**

Для разбивки насыпей высотой до 2 м можно использовать вешки-визирки, которые устанавливают по отвесу у вертикальной стойки откосников. Высота насыпи фиксируется горизонтальными планками, закрепляемыми с постоянным превышением b над проектной отметкой верха земляного полотна (рис. 13, а). Отметка на планке вешек-визирок передают с помощью нивелира.

Разбивка выемок в плане производится от оси дороги до бровок на местности по расстояниям, вычисляемым по формулам:

для уклона не более 1: 10 (рис. 18, а)

$$OM = ON = d = B/2 + c + mh \quad (19)$$

для уклона более 1: 10 (рис.18, б)

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= \frac{\left(\frac{B}{2} + mh\right) \cdot \sqrt{(n^2 + 1)}}{n - m}, \\ D_2 &= \frac{\left(\frac{B}{2} + c + mh\right) \cdot \sqrt{(n^2 + 1)}}{n + m}, \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

где c - ширина кювета поверху.

В равнинной местности для нахождения полевых бровок по перпендикулярам к оси дороги в обе стороны от нее при помощи рулетки откладывают расстояние d . При наклонной местности для нахождения нагорной границы откоса выемки от оси вверх по уклону откладывают расстояние D_1 , для подгорной стороны – расстояние D_2 . Полученные точки отмечают кольями или откосниками.

Для высотной разбивки выемок глубиной до 3 м используют вешки-визирки, закрепляя их на условном уровне $(h + b)$ (рис. 18, а). При сплошной разработке глубоких выемок вешки-визирки и откосники переставляют на плоскость откосов. В первом случае отметка линии визирования равна $H_{\text{виз.}} = H_{\text{пр.}} + h + b$.

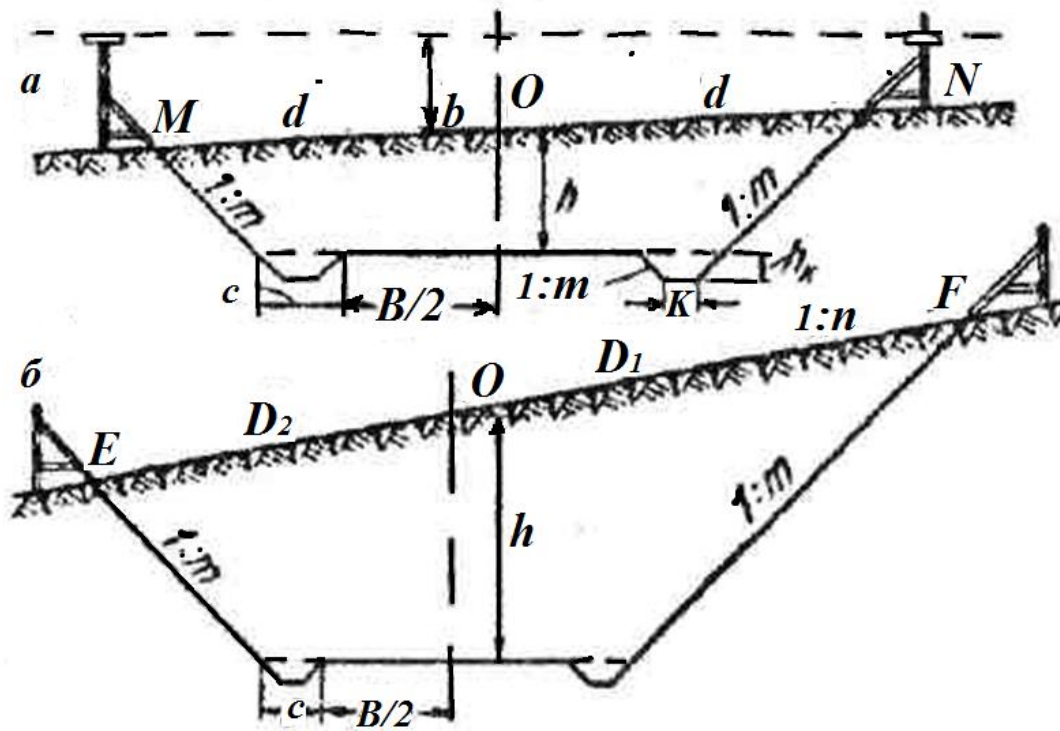


Рис.18. Разбивка выемок

Проектные отметки всех характерных точек земляного полотна вычисляют от проектной отметки бровки по конструктивным размерам, проектным уклонам и ширине отдельных частей дороги. Проектные отметки земляного полотна выносят в натуру с погрешностью не более 1 см.

Вдоль отбитых подошв насыпей и выемок прокладывают борозду, обозначающую их положение, ставят створные визирки, показывающие высоту насыпи, и откосники, указывающие направления откосов насыпей и выемок. По мере возведения земляного полотна визирки и откосники перемещают по откосу.

Окончательную планировку земляного полотна осуществляют бульдозерами и автогрейдерами. Их работу контролируют по кольям разбивки оси и бровок земляного полотна, а также по визиркам, опорным и ходовой, устанавливаемой на рабочем органе землеройной машины. Или используют для этой цели лазерные системы полуавтоматического или автоматического управления работой рабочих органов машин и механизмов (см. § 6).

После окончания работ по возведению земляного полотна производят исполнительную съемку. Для этого восстанавливают продольную ось и на каждом пикете проверяют ширину корыта, обочин, кюветов и др. На всех пикетах и переломах продольного профиля контрольным нивелированием определяют отметки характерных точек поперечников.

При возведении земляного полотна отклонения от проекта допускаются не более: в высотах бровок земляного полотна с учетом поправок на осадку ± 5 см; по ширине корыта ± 5 см; по поперечному уклону ± 5 ‰; по продольному уклону кюветов и нагорных канав ± 1 ‰.

Перенесение на местность точек с заданной отметкой и линий с заданным уклоном требуется при разбивке как поперечных, так и продольных профилей автодороги.

Для выноса в натуру точки с проектной отметкой $H_{пр}$ устанавливают нивелир между исходным репером с отметкой H_0 и проектной точкой и берут отсчет a_0 по рейке, установленной на репере.

После этого вычисляют горизонт инструмента $ГИ = H_0 + a_0$, а проектную точку обозначают высоким колышком. Забивая постепенно колышек, добиваются такого положения, когда отсчет по рейке на колышке будет равен вычисленному $a_{пр} = ГИ - H_{пр}$. В этом случае вершина колышка будет находиться на проектной отметке. Для контроля все операции повторяют, используя либо тот же исходный репер, либо другой, имеющийся поблизости.

Разбивка в натуре линии заданного уклона с помощью нивелира может быть выполнена двояко: горизонтальным и наклонным лучами визирования.

В случае с горизонтальным лучом визирования (рис. 19, а) производят отсчет a_0 по рейке, установленной в начальной точке, вынесенной в натуру описанным выше способом. По величине проектного (заданного) уклона $i_{пр}$, расстояниям d_1 d_2 ... от промежуточных точек до начальной и по на-

чальному отсчету вычисляют отсчеты по рейке на промежуточных точках:

$$\begin{aligned} a_1 &= a_0 + i_{\text{пр.}} \cdot d_1, \\ a_2 &= a + i_{\text{пр.}} \cdot d_2, \end{aligned} \quad (21)$$

Закрепив промежуточные точки высокими колышками, забивают последние до тех пор, пока в зрительную трубу нивелира не увидят отсчеты a_1, a_2, \dots по рейке, установленной в соответствующих точках. После этого линия, проходящая по вершинам колышков, будет иметь проектный уклон.

Если на местности вынесены по проектным отметкам начало и конец линии с заданным уклоном, то для получения промежуточных точек можно использовать наклонный луч визирования (рис. 19, б). Нивелир устанавливают посередине между точками А и В так, чтобы направление его двух подъемных винтов было параллельно линии АВ. Приводят зрительную трубу с помощью круглого и цилиндрической уровней в строго горизонтальное положение, а затем подъемными винтами, направленными вдоль линии АВ, наклоняют ее до тех пор, пока отсчеты по рейкам в точках А и В станут равными. В этом положении визирный луч параллелен проектной линии, имеющей заданный уклон. После этого забивают промежуточные колышки, отсчеты на которых должны быть равны отсчетам в точках А и В.

Эту же задачу можно решить с помощью визирок, если требования к точности невысоки. В точках А и В закрепляют на проектных отметках постоянные визирки одинаковой высоты (рис. 19, в), а на высокие промежуточные колышки поочередно устанавливают ходовую визирку такой же высоты и забивают колышки до положения, когда прорезь ходовой визирки окажется на прямой линии, проходящей через прорезы постоянных визирок, т.е. на визирной линии.

С помощью прямых линий на местности можно разбить плоскость заданного уклона. Для этого в натуре необходимо закрепить не менее трех параллельных между собой прямых линий, имеющих одинаковый уклон,

равный проектному.

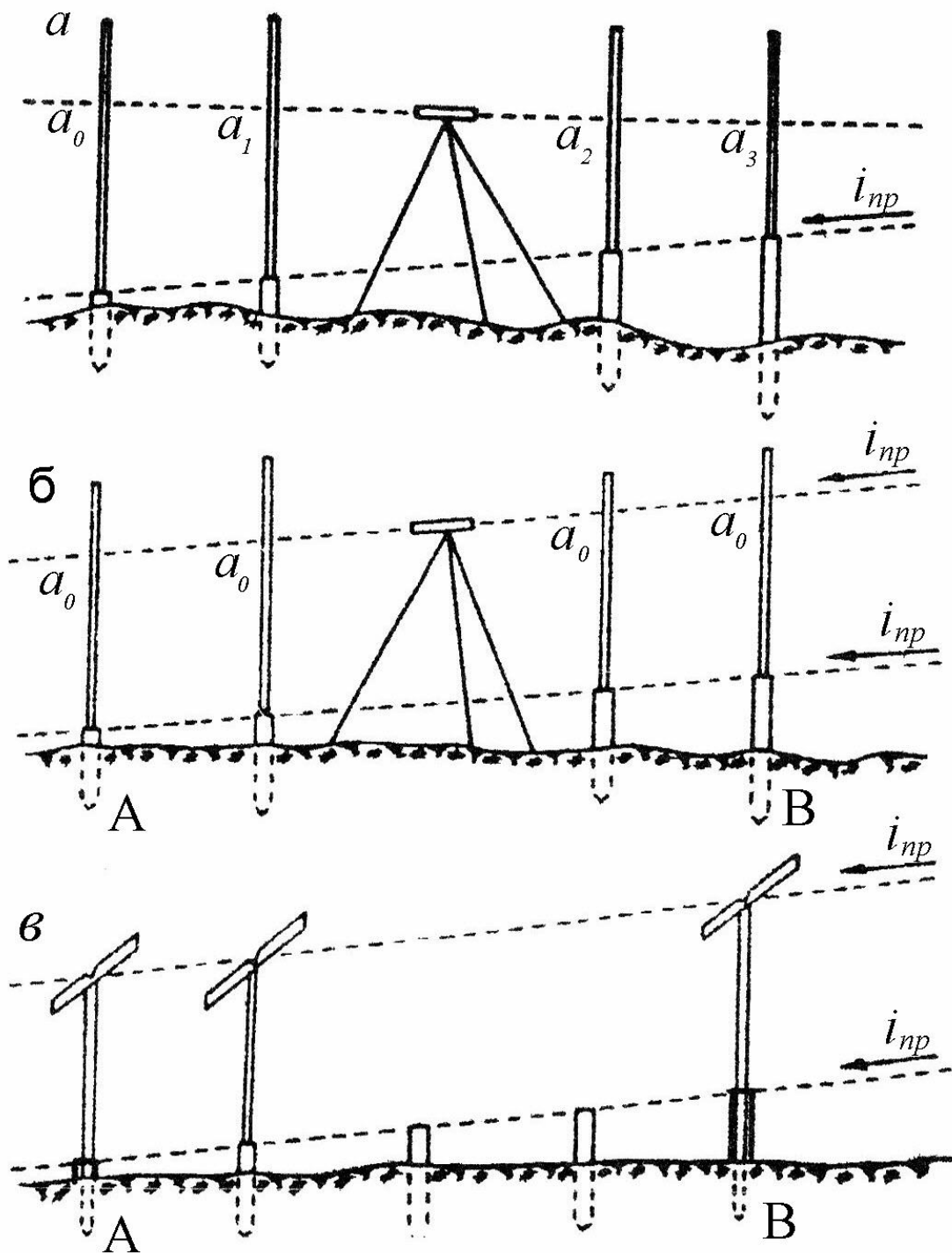


Рис. 19. Разбивка линии заданного уклона

а - горизонтальным лучом, *б* - наклонным лучом, *в* - с помощью визирок

Разбивку и контроль геометрических параметров строящейся авто-
 дороги и ее положение в пространстве можно автоматизировать (см. § 6).

§ 5. Разбивка верхнего строения дороги, виражей, серпантин

На возведенном земляном полотне выполняют детальную разбивку для строительства автодорожного покрытия, которое строится в приготовленном земляном корыте. Дно корыта является естественным основанием покрытия. **Покрытие на автомобильных дорогах** состоит из искусственного основания - песчаной или гравийной подушки; несущего слоя в виде бетона или камня; верхнего слоя износа – асфальтового. Общая толщина покрытия составляет около 32-40 см.

На уложенной и укатанной в земляном корыте песчаной подушке 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. 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 точки служат плановой и высотной основой для укладки камня или для установки опалубки при бетонировании дороги. В случае применения бетоноукладочных машин в качестве опалубки укладывают рельсовые направляющие – рельс-формы, которые устанавливают по теодолиту параллельно оси автодороги. Высотную установку рельсов на проектную высоту выполняют при помощи нивелира, при этом дают запас 2-3 мм на осадку основания после прохождения бетонообрабатывающей машины.

После окончательной отделки полотна дороги производят исполнительную съемку. При съемке автодорожного покрытия определяют отметки по поперечникам в точках на оси дороги и по краям проезжей части. Поперечные уклоны не должны отличаться от проектных более чем на 0,03.

На криволинейных участках автодороги, где радиусы меньше 3 000 м для дорог I категории и 2 000 м для других категорий, устанавливают

виражи - участки дороги с односкатным поперечным профилем с наклоном к центру кривой. Для уравнивания возникающей центробежной силы при движении транспорта возвышение h наружной части виража рассчитывают по формуле (рис. 20, а):

$$h = a \cdot V^2 / g \cdot \rho, \quad (22)$$

где обозначения те же, что и в формуле (10).

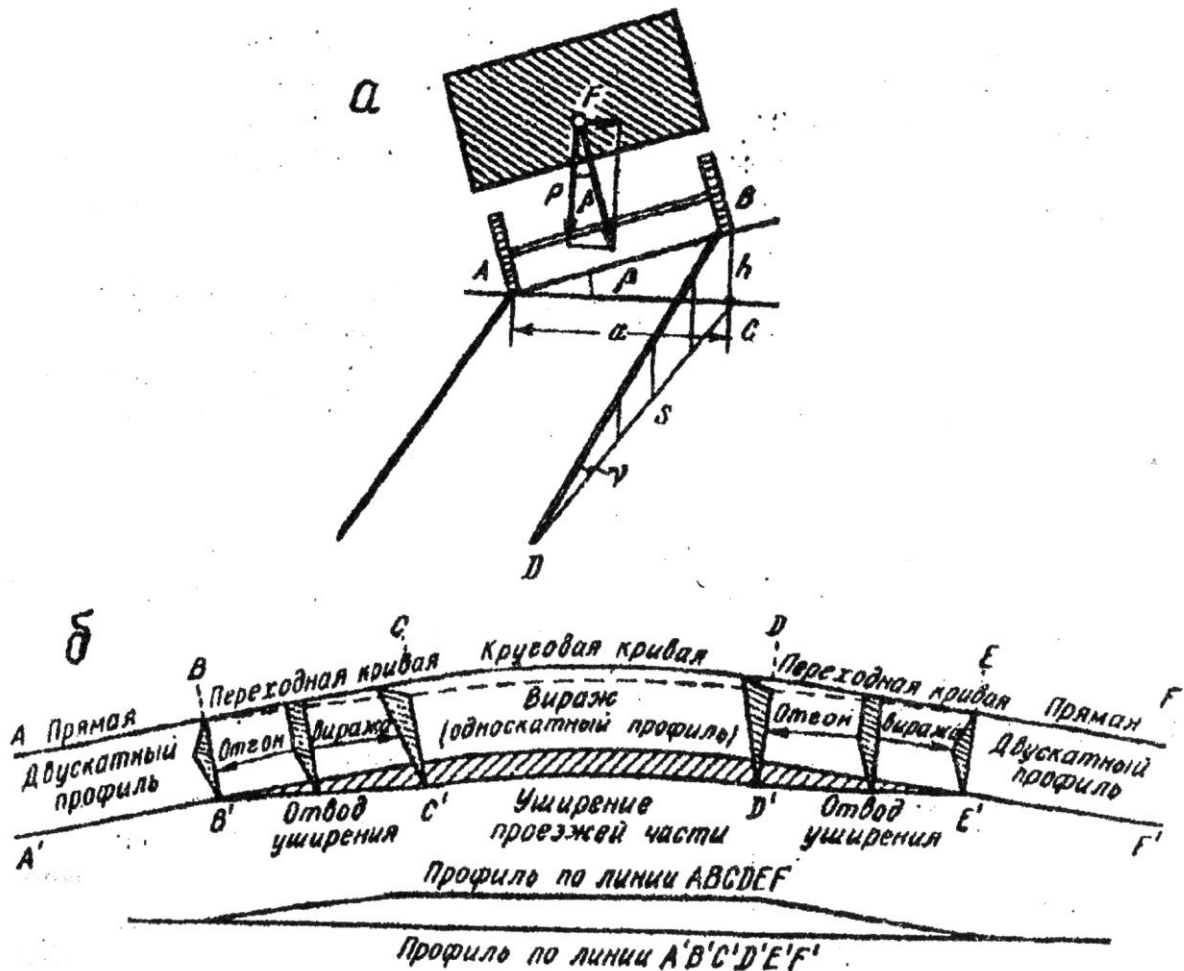


Рис. 20. Схема виража автодороги

Основными элементами виража являются:

- 1) уклон виража, т.е. величина односкатного поперечного уклона дорожного полотна;
- 2) длина отгона виража;
- 3) длина виража;

4) величина уширения проезжей части (рис. 20, б).

Поперечный уклон виража сохраняется на всем протяжении круговой кривой и зависит от ее радиуса. При радиусах 3 000-1 000 м уклон виража равен поперечному уклону проезжей части при двухскатном профиле. При радиусе меньше 1 000 м уклон виража проектируют больше поперечного уклона проезжей части. Допускается наибольший уклон 60 ‰ ($R \leq 600$ м).

Перед виражом на переходных кривых или прямых участках, смыкающихся к закруглению, назначают отгон виража, представляющий собой плавный переход от двухскатного поперечного профиля к односкатному. При этом главное изменение претерпевает наружная часть дорожного полотна.

Если уклон виража равен поперечному уклону проезжей части, то переход от двухскатного профиля к односкатному осуществляется путем вращения наружной половины полотна около оси дороги. Внутренняя часть полотна остается без изменения. При уклоне виража, превышающем уклон нормального профиля, на отгоне происходит постепенное вращение всего дорожного полотна около внутренней кромки проезжей части, профильные высоты которой не меняются. Длина отгона виража может быть подсчитана по формуле:

$$L = (b \cdot i_B) : i_{\text{доп.}}, \quad (23)$$

где b – ширина проезжей части дороги; i_B – поперечный уклон виража; $i_{\text{доп.}}$ – дополнительный продольный уклон бровки полотна.

При устройстве отгона виража в пределах переходных кривых длина последних должна быть не менее величины L .

При отгоне виража наружная бровка полотна возводится с некоторым дополнительным продольным уклоном $i_{\text{доп.}}$ (рис. 17), чтобы в начале круговой кривой эта бровка возвышалась над уровнем внутренней бровки на

некоторую величину h_2 . Чем больше длина отгона виража L , тем меньше уклон $i_{\text{доп.}}$, и тем плавней двухскатный профиль переходит в односкатный. Для дорог I и II категорий уклон $i_{\text{доп.}}$ не должен превышать 5 ‰, а для дорог III – V категорий – 10 ‰ в равнинной местности и 20 ‰ в горной.

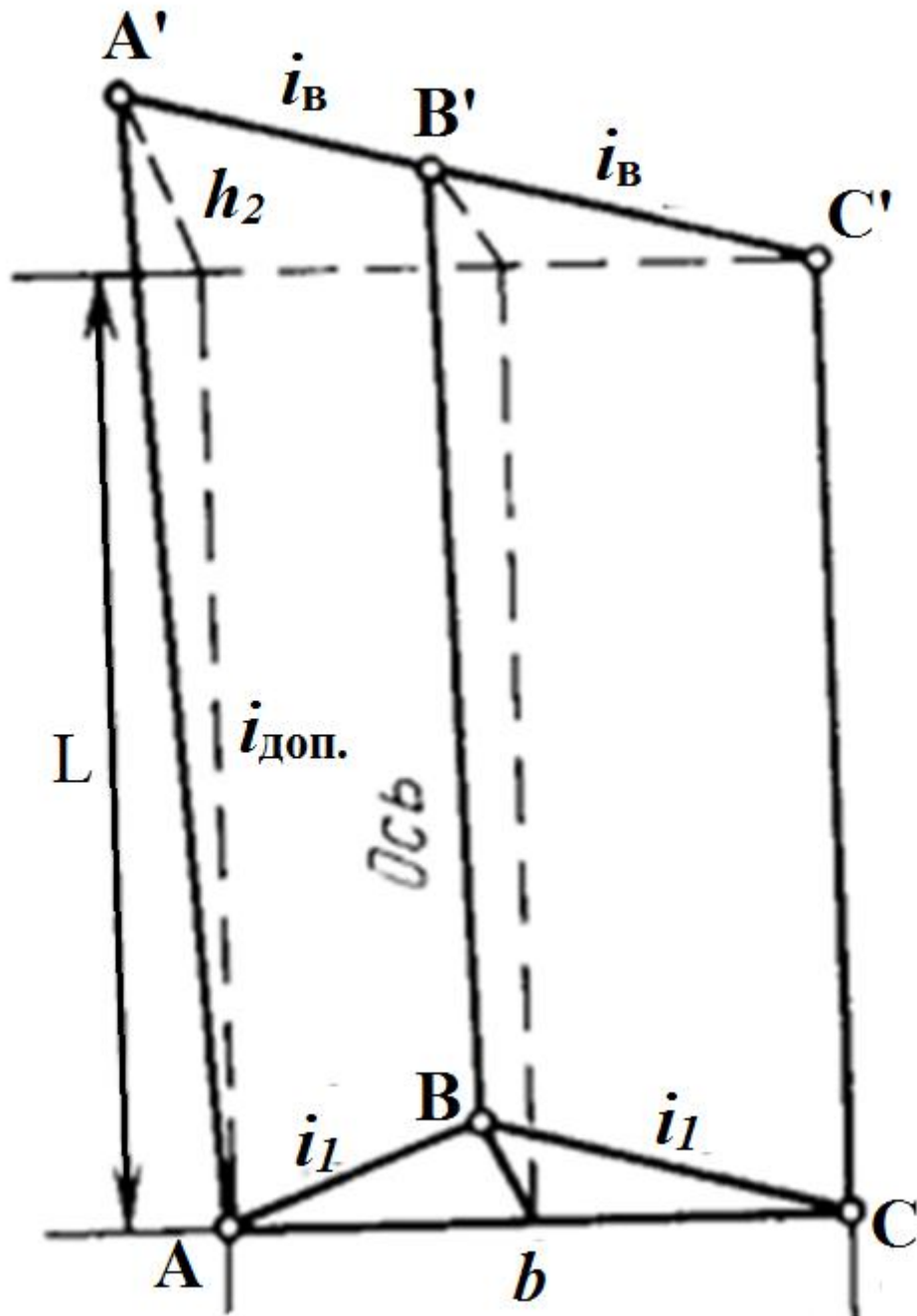


Рис. 21. Преобразование проезжей части на отгоне виража

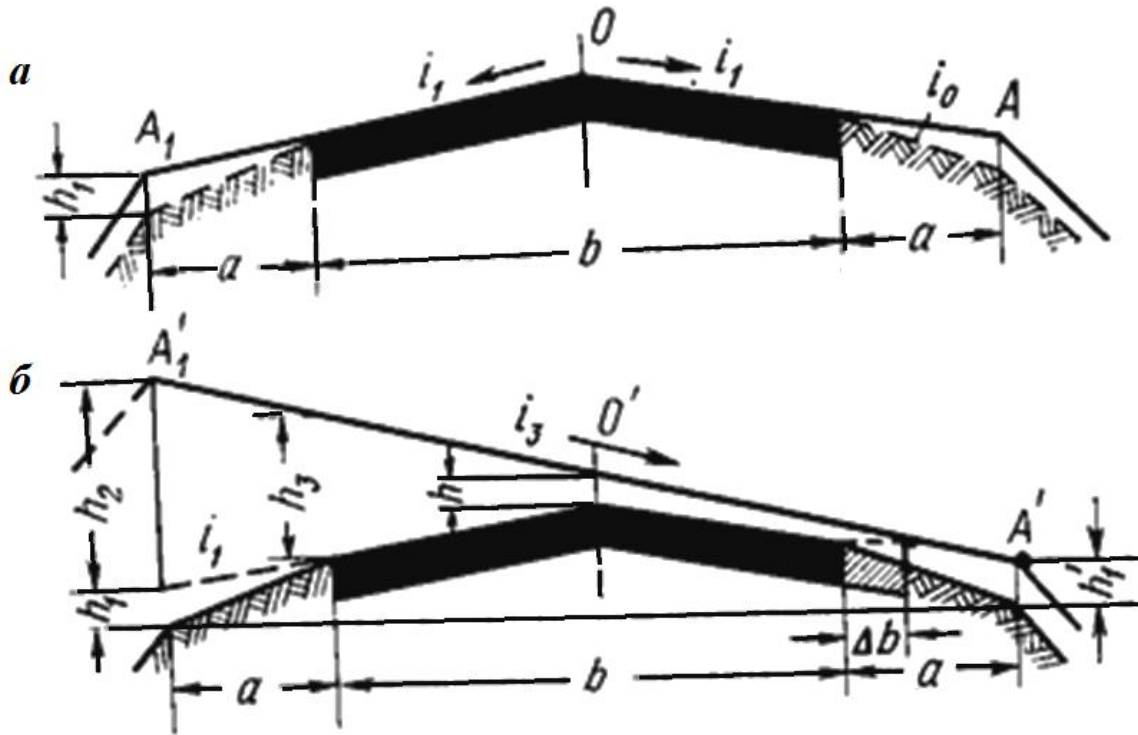


Рис. 22. Поперечный профиль автодорожного полотна:
 а) - в начале отгона виража AOA_1 ; б) - в конце отгона виража $A'O'A_1'$

Уширение проезжей части дороги делается на виражах с радиусом кривых менее 700 м, за счет уменьшения внутренней обочины. Однако оставшаяся часть обочины не должна быть менее 1,5 м для дорог I и II категорий и 1 м для остальных, в противном случае уширится земляное полотно.

В пределах круговой кривой виража проезжая часть уширится на полную величину, на переходных кривых отгона уширение постепенно уменьшается. При этом внутренняя кромка полного уширения разбивается по кривой радиуса

$$R_k = R - \left(\frac{b}{2} + \Delta b_0\right), \quad (24)$$

где R – радиус кривой по оси дороги, b – ширина проезжей части, Δb_0 – полная величина уширения.

Разбивка кромки отвода уширения производится по плавной многоцентрковой (коробковой) кривой.

На местности вираж разбивают путем построения поперечных профилей дорожного полотна через 5-10 м. До начала отгона виража обочинам придают уклон, равный уклону проезжей части, т. е. обе бровки полотна на протяжении 10 м поднимают на величину (рис. 22, а):

$$h_1 = a(i_0 - i_1), \quad (25)$$

где a - ширина обочины, i_0 - поперечный уклон обочины, i_1 - поперечный уклон проезжей части на двухскатном профиле. Поперечный профиль имеет вид AOA_1 .

В конце отгона виража (в начале круговой кривой) дорожное полотно будет иметь односкатный уклон $A'O'A_1'$ (рис. 22, б).

При этом если вращение дорожного полотна осуществляется вокруг его внутренней кромки, то превышение характерных точек поперечного профиля относительно начального сечения без учета продольного уклона дороги будет:

- для осевой точки:

$$h = \left(\frac{b}{2} + \Delta b\right) i_3 - \frac{b}{2i_1}; \quad (26)$$

- для внешней кромки проезжей части полотна:

$$h_3 = (b + \Delta b)i_3; \quad (27)$$

- для внешней бровки дорожного полотна:

$$h_2 = (a + b + \Delta b)i_3 + ai_1; \quad (28)$$

- для внутренней бровки:

$$h' = \Delta b i_0, \quad (29)$$

где Δb – уширение проезжей части дороги, i_3 – поперечный уклон виража.

Кроме этого, вследствие вращения около внутренней кромки происходит понижение высоты внутренней бровки на величину

$$h'' = (a - \Delta b)(i_3 - i_1).$$

Таким образом, общая величина изменения высоты внутренней бровки на выраже:

$$\begin{aligned} h' &= a(i_0 - i_1) + \Delta b i_0 - (a - \Delta b)(i_3 - i_1), \\ h' &= (h_1 + h') - h''. \end{aligned} \quad (30)$$

Превышения промежуточных поперечных профилей находят путем интерполирования величин, определенных по формулам (26)-(29), пропорционально расстоянию от начала отгона выража.

При трассировании дороги по крутому склону часто приходится разбивать линию в виде зигзагов с очень острыми внутренними углами. В этом случае нет возможности сопрягать прямые участки при помощи традиционных кривых, так как вследствие большой разности высот между началом и концом этих кривых и незначительной их длиной получаются большие продольные уклоны, намного превышающие допустимые. В связи с этим сопряжение линий на таких участках осуществляется при помощи сложных внешних (снаружи угла поворота) кривых, называемых **серпантинами** (рис. 23). Основные элементы серпантинны:

- 1) основная круговая кривая MQN радиуса R;
- 2) две вспомогательные кривые AE и BF с радиусами R₁ и R₂;
- 3) две прямые вставки или переходные кривые FN = ℓ₁ и EM = ℓ₂.

Прямые вставки необходимы для размещения отгонов выражей, переходных кривых и отводов уширения на основной и обратных кривых серпантин.

Если радиусы вспомогательных кривых и прямые вставки серпантин соответственно равны, т.е. R₁ = R₂ и ℓ₁ = ℓ₂, то она называется симметричной (рис. 23, б).

Серпантины устраиваются на дорогах III - V категорий. При расчетной скорости движения на серпантине 30-25 км/ч допускается наименьший радиус основной кривой 30-20 м, длина переходных кривых 30-25 м, поперечный уклон выража 60 ‰, уширение проезжей части 2,0-2,5 м, наи-

больший продольный уклон 30-35 %, радиусы вспомогательных кривых 150-100 м.

Перед разбивкой серпантины на местности производят расчет следующих ее основных элементов:

β – угол вспомогательной кривой; тангенс Т, биссектриса Б и длина вспомогательной кривой К (по таблицам с использованием β и заданного радиуса вспомогательной кривой R_1);

b – расстояние от вершины С вспомогательной кривой до центра О основной кривой;

γ – угол, определяющий направления на начальную и конечную точки основной кривой;

φ_0 – центральный угол основной кривой;

К – длина основной кривой;

R – радиус основной кривой (задается);

ℓ – длина переходных кривых или прямых вставок (задается);

φ – угол хода (измеряют теодолитом). При этом используют очевидные (рис.17, б) формулы:

$$\tan \frac{\beta}{2} = \frac{(\sqrt{\ell^2 + (2 \cdot R + R) \cdot R} - \ell)}{2 \cdot R_1 + R}; \quad b = \frac{R}{\sin \beta}; \quad (31)$$

$$\gamma = 90^\circ - \beta; \quad \varphi_0 = 360^\circ - 2 \cdot \gamma - \varphi; \quad K = \frac{(R \cdot \varphi_0^0)}{180^0}. \quad (32)$$

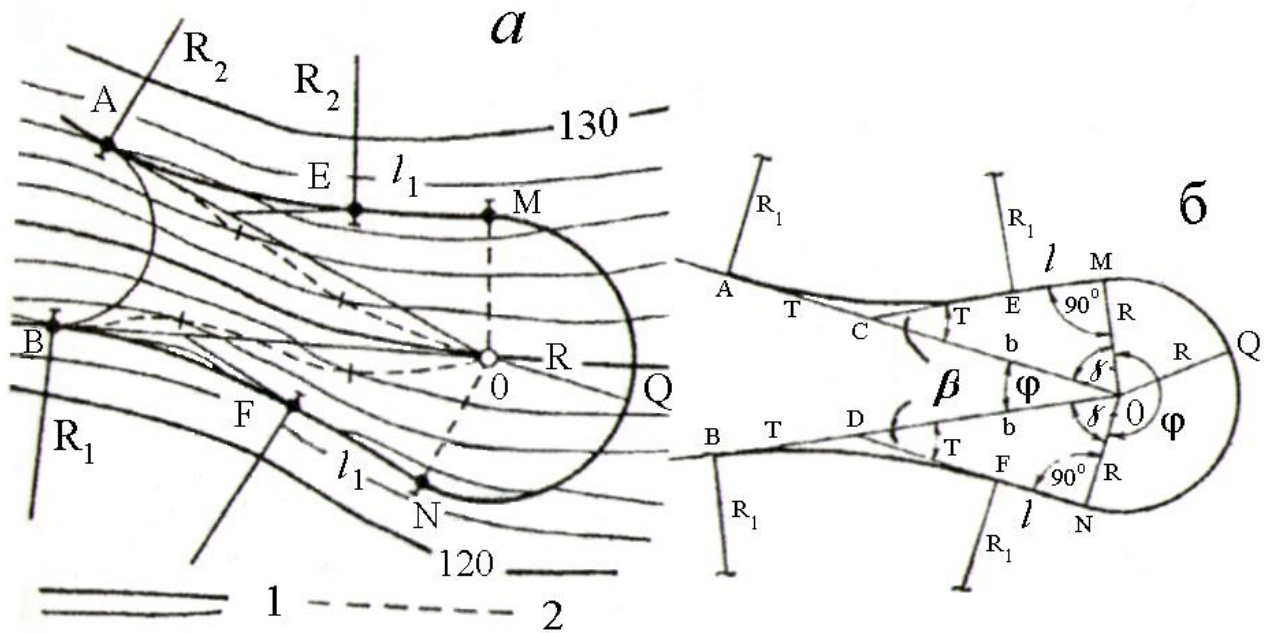


Рис. 23. а - проектирование серпантинны;
б - разбивка симметричной серпантинны

Для разбивки симметричной серпантинны теодолит устанавливают в вершине угла поворота O (рис. 23, б) и по створам прямых OA и OB откладывают величину b . Полученные точки C и D являются вершинами углов поворота обратных кривых радиуса R_1 .

Затем по направлениям OC и OD откладывают тангенсы и получают точки A и B (начало и конец серпантинны). От линий OA и OB откладывают в сторону трассы углы γ и вдоль полученных направлений отмеряют длину радиуса основной кривой R . Этими действиями находят на местности точки M и N начало и конец основной кривой. Точки E и F (конец первой и начало второй обратных кривых) получают отложением величины прямой вставки l по направлениям DN и CM .

Вследствие малого радиуса основной кривой ее разбивку производят через 5 м, непосредственными промерами от точки O . Для этого угол φ_0 делят на соответствующее число частей и по заданным теодолитом направлениям откладывают величину R . Детальную разбивку обратных кру-

говых кривых производят одним из описанных в § 3 способов. Разбивку несимметричных серпантин, серпантин второго рода и полусерпантин осуществляют в той же технологической последовательности, что и симметричных.

Геометрические элементы серпантин по СНиП 2.05.02 - 85 приведены в таблице 3.

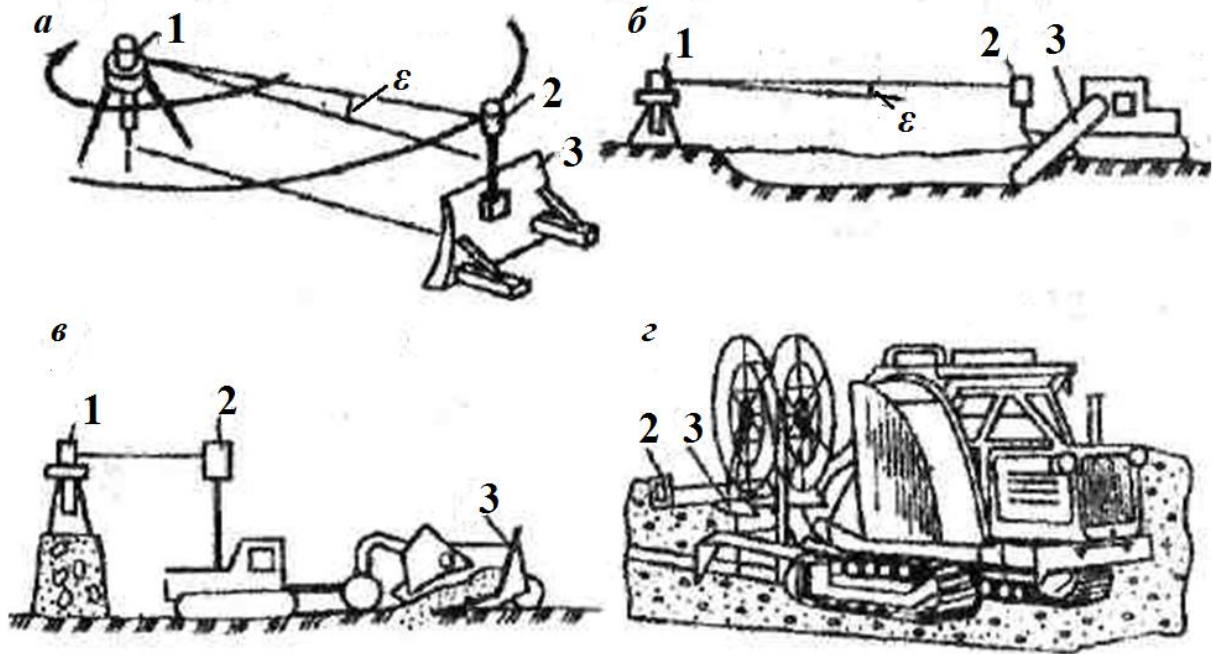


Рис. 24. Схема контроля работы:
а - бульдозера; б - многоковшового экскаватора; в - грейдера;
д - дренаукладчика

Таблица 3

Элементы серпантин	Нормы при скорости км/ч		
	30	20	15
Наименьший радиус основной кривой в плане, м	30	20	15
Поперечный уклон проезжей части на вираже, ‰	60	60	60
Длина переходной кривой, м	30	25	20
Уширение проезжей части, м	2.2	3.0	3.5
Наибольший продольный уклон в пределах серпантин, ‰	30	35	40

§ 6. Автоматизированные системы для планировочных работ

Производство земляных работ, связанных с изменением форм поверхности Земли, относящихся к планировочным, требует привлечения самой разнообразной техники. В задачу геодезических служб входит бесперебойный оперативный контроль за работой машин, механизмов, агрегатов и т.д. В областях промышленного, мелиоративного и дорожного строительства широкое распространение нашли лазерные геодезические приборы и системы, как открывающие широкие возможности автоматизации геодезических измерений и контроля. Такие приборы и системы задают в пространстве горизонтальные и наклонные опорные лучи или плоскости, относительно которых определяется и корректируется положение рабочего органа строительного механизма. Системы с опорным лазерным лучом различны по названию (лазерный нивелир, указатель направления, лазерный визир, проектор, прибор управления лучом и т.д.), но идентичны по принципу действия, который состоит в том, что в пространство с помощью зрительных труб и другой оптики высылают отдельно или совмещение визирный и лазерный лучи. Их основное рабочее положение может быть горизонтальным или наклонным (изменяется угол наклона обычными тангенциальными, элевационными и другими винтами). Широко известны отечественные приборы этого типа: ЛВ-5М, УКЛ-1, ЛВ-78, ЛУН-9, ПЛ-1, ПУЛ-78 и их модификации. Функциональные возможности систем с опорным лучом ограничены по сравнению с датчиками опорных плоскостей. В них ниже уровень автоматизации геодезического контроля. Поэтому такие приборы и системы здесь не рассмотрены.

Системы с опорными плоскостями включают в себя два основных блока: передающий (передатчик) и приемный (приемник). В процессе работы передатчик 1 (рис. 24), формирующий опорную лазерную плоскость, устанавливается в центре участка над точкой с известной высотой. На

землеройных машинах (бульдозер, многоковшовый экскаватор, грейдер и т.д.) устанавливаются приемники лазерного излучения 2, настроенные на соответствующую высоту. Они предназначены для приема оптического излучения, определения величины отклонения высотного положения машины от опорной лазерной плоскости и формирования команд на изменение положения рабочего органа 3 по высоте. Системы контроля планировки обеспечивают каждая работу нескольких машин в радиусе действия при перемещении их по сложным траекториям. Возможно обслуживание машин соседнего участка с другой высотой, но одинаковым уклоном.

В конструктивном отношении любой передатчик содержит лазер 1 (рис. 25), коллиматор 2 и блок развертки луча в плоскость 4 (например, в виде вращающейся пентапризмы). Лазерный луч может устанавливаться в строго вертикальное положение точными цилиндрическими уровнями 3 (рис. 25, а), круглым уровнем 7 и шарниром 5 (рис. 25, б), круглым уровнем и компенсатором 8 (рис. 25, в). В системах с наклонной опорной плоскостью (угол наклона ϵ переменный) между коллиматором или компенсатором и блоком развертки устанавливается блок 6 формирования угла наклона. В случаях, показанных на рис. 25, а, в, лазер и коллиматор могут располагаться горизонтально, но тогда необходим дополнительный оптический элемент, изменяющий направление лазерного луча с горизонтального на вертикальное.

Формирование горизонтальной опорной плоскости не сопряжено с какими-либо трудностями. Для этого достаточно направить идущий строго вертикально лазерный луч на вращающуюся вокруг вертикальной оси, совпадающей с лучом, призму (прямоугольную или пентапризму), изменяющую его направление на 90° .

Формирование опорной плоскости с переменным углом наклона ϵ (или уклоном i) несколько сложнее. Однако и вариантов решения задачи имеется много. Все их можно разделить на две группы: опти-

ко-механические и электрооптические. Одним из наиболее распространенных способов задания наклонной плоскости является способ, использующий свойство вращающейся прямоугольной (редко) призмы или пентапризмы. Такая призма может изменять вертикальное направление входящего луча на горизонтальное, разворачивать луч, отклоненный от вертикали на угол ε , в плоскость, наклоненную к горизонту на тот же угол ε , (для пентапризмы) или 2ε (для прямоугольной призмы). Если изменять угол отклонения луча от вертикали, то в пространстве будет изменяться угол наклона плоскости.

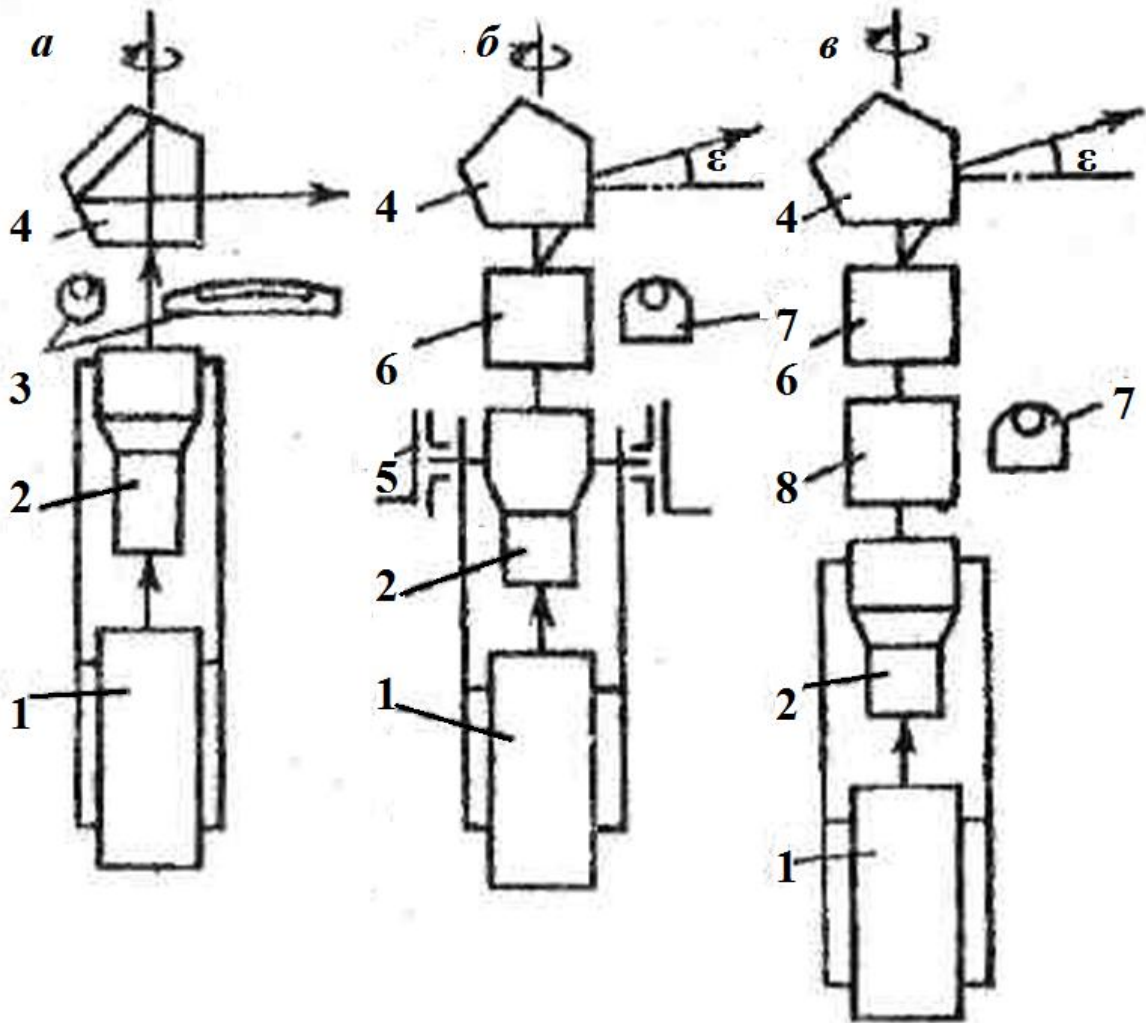


Рис. 25. Структурные схемы передатчиков

Для придания лазерному лучу определенного угла отклонения от вертикали, т.е. для управления этим лучом, имеется ряд устройств.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

§ 7. Геодезические работы на мостовых переходах

Переход через реку, особенно большую, представляет собой сложное инженерное сооружение. Проект мостового перехода составляется на основе гидрометрических, геологических и инженерно-геодезических изысканий. Эти изыскания включают такие виды работ:

1) Гидрометрические изыскания: определение отметок уровня воды в разное время, измерение скорости течения, определение уклонов, живого сечения, расхода воды, площади водосбора и др.

2) Детальная инженерно-геологическая разведка места перехода.

3) Инженерно-геодезические изыскания: выбор места перехода, трассирование его, составление топографического плана района перехода с измерением глубин водотока, построение мостовой триангуляции, опорной высотной сети и передача отметки через реку, определение длины моста и положения его опор и др.

При **выборе места мостового перехода** руководствуются следующими **требованиями**: ось перехода должна быть перпендикулярна к направлению течения с допуском 5° для судоходных и сплавных рек и 10° для остальных; трасса должна пересекать реку в самой узкой и возвышенной части поймы, где нет рукавов, отмелей, островов, перекатов, крутых поворотов; место перехода должно иметь благоприятные геологические условия с неглубоким залеганием коренных пород и пологим рельефом на берегах; избегают мест с оползневыми и карстовыми явлениями, с мокрыми косогорами, а на пойме - с озерами и староречьями.

На основании изучения материалов перехода выбирают его оптимальный вариант и закрепляют на обоих берегах железобетонными знаками с определением пикетажного значения точек крепления (точки А и В на рис.

26, а).

Для **проектирования** большого мостового перехода (длиной более 100 м) составляют **ситуационный план** района перехода. На плане в масштабе 1:5000 для средних рек (ширина в межень до 500 м) и 1:10000 для больших рек изображают: контуры ситуации и элементы рельефа, влияющие на направление и скорость течения потока; коренное русло с островами и перекатами; пойма с протоками, староречьями, озерами, болотами; характерные элементы рельефа с высотами берегов и урезов воды; границы разлива и направление течения высоких вод; постоянные и временные водомерные посты.

Ситуационный план служит основой для разработки генерального плана мостового перехода и его сопряжения с трассой. Он используется также при составлении проекта организации строительных работ и ППГР. Участок съемки распространяется на **1,5 ширины разлива реки вверх** по течению от оси перехода и **на одну ширину разлива вниз** по течению. По бокам снимают всю пойму до высоты, превышающей уровень высоких вод на 1-2 м. Основной метод съемки - тахеометрический. Съемка может выполняться в системе координат мостового перехода.

Детальный план перехода служит для составления рабочих чертежей мостовых сооружений и разработки проектов подходов трассы к мосту. Масштаб плана 1:1 000 при высоте сечения рельефа 0,5 м и длине перехода 300-500 м и 1:2 000 при сечении 1,0 м и большой длине. Съемка охватывает коренное русло и прилегающую пойму до отметки на 1-2 м выше расчетного уровня высоких вод, а вверх и вниз 1-1,5 по реке величины отверстия моста с таким расчетом, чтобы детально изобразить рельеф и ситуацию в местах, где проектируют мост, подходы, регулиционные сооружения. Выполняется съемка в той же системе координат и высот, что и ситуационный план. В процессе съемки параллельно ведут **промеры глубин**. Их выполняют зимой со льда, летом с лодки. В каждой промерной вертикали опре-

деляют: глубину реки, плановое положение вертикали, отметку уровня воды в момент промера. Глубину реки измеряют с помощью рейки (наметки) или речного эхолота. Плановое положение промерных вертикалей определяют засечками с базиса, расположенного на берегу и привязанного к магистрали.

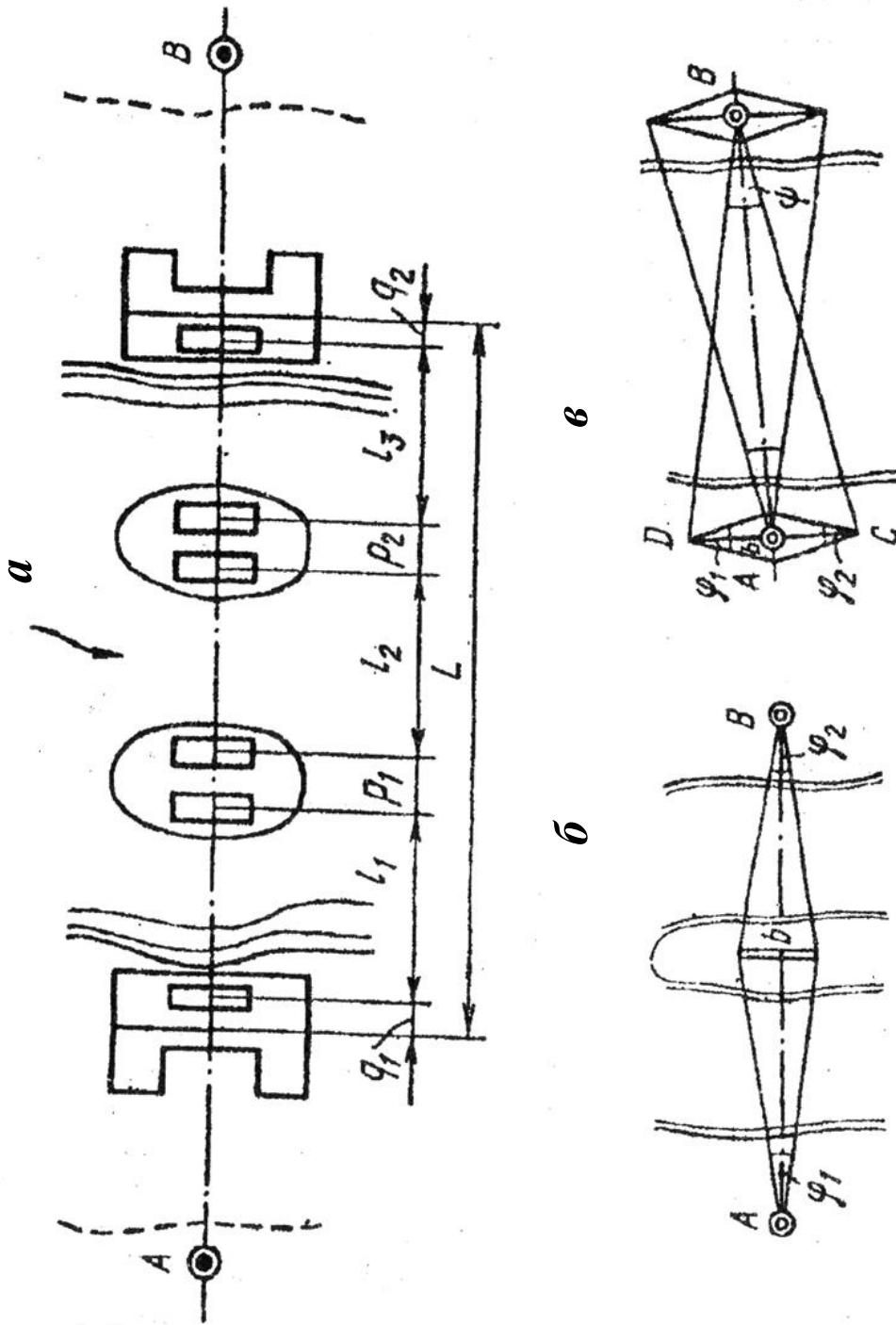


Рис. 26. Определение длины мостового перехода
 б - простое ромбическое звено; в - сложное звено

При проектировании мостового перехода вычисляют его длину L для аналитической привязки проекта мостовых сооружений к исходным пунктам и пикетажу трассы. По рис. 26, а

$$L = \sum_1^n l_i + \sum_1^{n-1} p_i + (q_1 + q_2), \quad (33)$$

где l_i - расчетная длина пролетного строения, p_i - расстояние между осями опорных частей смежных пролетных строений, q - расстояния от осей опорных частей до шкафных стенок береговых устоев, n - число пролетов моста.

Наиболее целесообразно длину мостового перехода определять светодальномером. При расположении моста на суходоле, а также в зимнее время по льду или при наличии временного моста длина перехода может быть измерена шкаловыми лентами или инварными проволоками.

При использовании параллактической полигонометрии базис располагают по возможности посередине реки (на острове, на льду), создавая наиболее точное симметричное звено (рис. 26, б). Длина определяется по формуле:

$$AB = S = (b/2) (\operatorname{ctg}\varphi_1/2 + \operatorname{ctg}\varphi_2/2). \quad (34)$$

На больших реках применяют сложное звено (рис. 20, в) и длину мостового перехода вычисляют по формуле:

$$AB = S = (b/2) \cdot (\operatorname{ctg}\varphi_1/2 + \operatorname{ctg}\varphi_2/2) \cdot \operatorname{ctg}\psi/2. \quad (35)$$

Здесь длина большого базиса $CD = \ell$ определяется посредством вспомогательного ромбического звена, в котором непосредственно измеряют базис b .

При строительстве больших мостовых переходов, согласно требованию СНиПа, на каждом берегу должно быть установлено не менее двух постоянных реперов (на средних и малых мостах по одному). Реперы располагают ближе к главной оси, но вне зоны земляных работ и в геологически устойчивых породах, их отметки определяют из ходов нивелирования

III класса с точностью 3-5 мм. При этом возникает задача передачи высоты через реку. Зимой эта задача решается нивелированием по льду, летом – методом двойного нивелирования, тригонометрическим или гидростатическим нивелированием (рис. 27). При менее точных работах можно передать отметку по уровню воды в реке на ее прямых участках.

Нивелирование по льду выполняют с помощью нивелира и реек, устанавливаемых на вмороженные в лед колья, либо на забитые в лунку сваи для ножек штатива и реек. Из-за подвижек льда по высоте этот метод передачи отметок через реку не дает удовлетворительных результатов. Удовлетворительного результата можно добиться одновременным нивелированием по льду всей ширины реки несколькими наблюдателями. Трассу разбивают на участки по 150-200 м для каждого нивелира и по сигналу на всех участках реки наблюдатели одновременно берут отсчеты на задние, передние и снова задние рейки. Таких приемов делают несколько для повышения точности.

Двойное геометрическое нивелирование состоит в том, что на обоих берегах примерно на одной высоте закладывают реперы 1 и 2 (рис. 27, а, б) 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 . При этом должно соблюдаться равенство расстояний $d'_3 = d''_{п1}$; $d''_3 = d''_{п2}$.

Установив нивелир в точке J_1 , берут отсчет Z_1 по ближней задней рейке, установленной на реп.1, и отсчет Π_1 по дальней рейке, установленной на реп.2. Затем прибор снимают и осторожно, чтобы не нарушить фокусировку трубы, перевозят на другой берег и устанавливают на второй станции J_2 . На второй станции берут отсчет Z_2 по дальней (задней) рейке и потом отсчет Π_2 по ближней (передней) рейке. На этом заканчивается один прием. Для достижения требуемой точности таких приемов делают несколько. Затем вычисляют превышения из полуприемов и среднее:

$$h_1 = (Z_1 - \Pi_1); \quad h_2 = (Z_2 - \Pi_2); \quad h = (h_1 + h_2)/2. \quad (36)$$

Если при наблюдениях на первой и второй станциях угол i нивелира не менялся, а влияние рефракции сохраняло свою величину и знак, то среднее превышение в приеме свободно от ошибок, вызванных влиянием этих факторов.

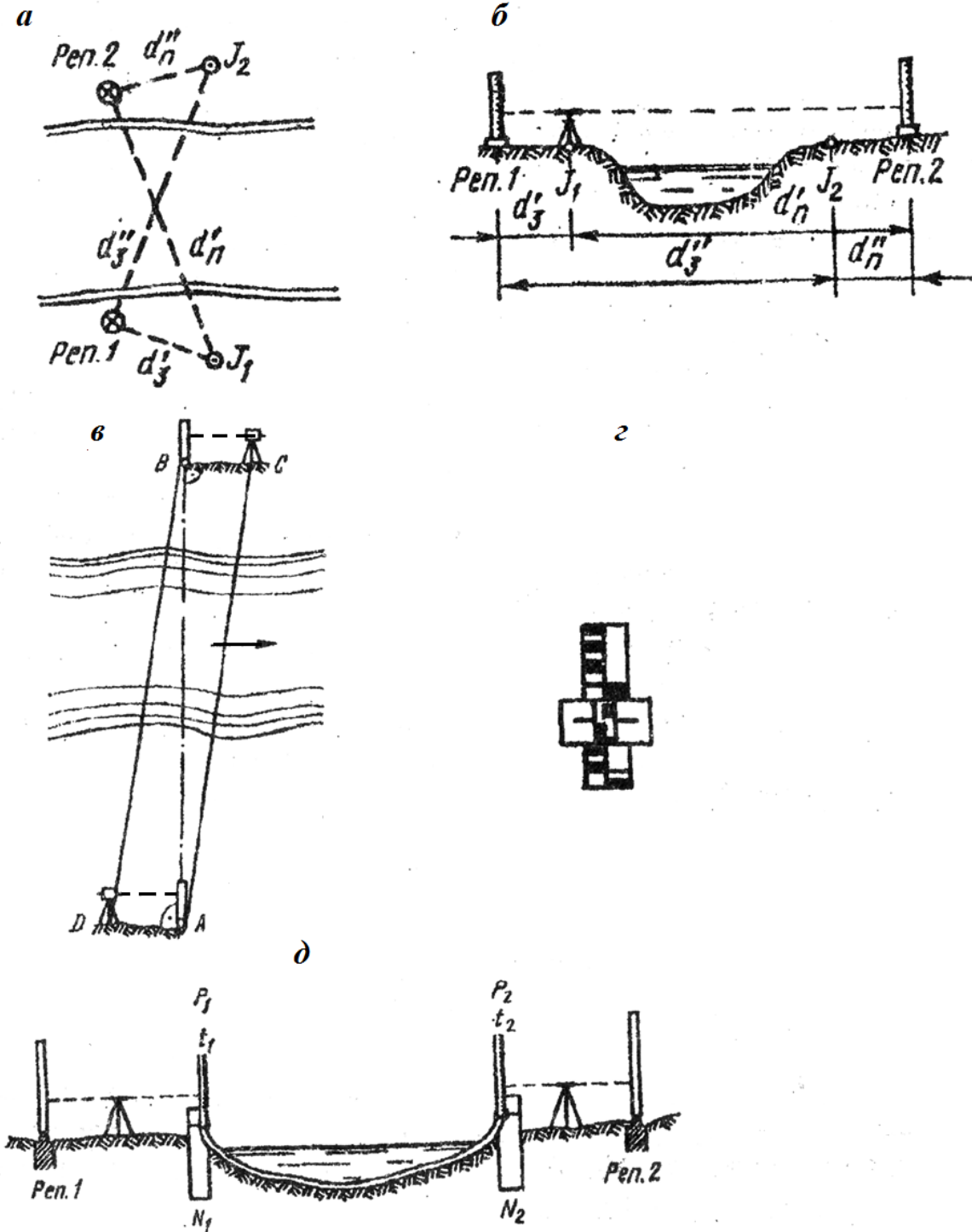


Рис. 27. Передача высоты через реку

Тригонометрическое нивелирование применяется при ширине реки свыше 200-500 м. Для передачи высот этим методом измеряют зенитные расстояния в период спокойных изображений точными теодолитами (T_1 , T_2). Наблюдения выполняют в прямом и обратном направлениях одновременно двумя приборами. Точки А и В (рис. 27, в) являются пунктами мостовой разбивочной основы и оборудуются как реперы. После этого измерения проводят в таком порядке:

1) Теодолиты и визирные цели располагаются в вершинах прямоугольника, причем расстояния АД и ВС должны быть равны и не превышать 3-4 м.

2) На центрах (реперах) вертикально на растяжках закрепляются рейки с передвижными марками в виде щитков с увеличенными штрихами (5-10 см) и с вырезами для точного совмещения штрихов марки с делениями рейки (рис. 27, г).

3) Определив место нуля МО или зенита МZ и приведя визирную ось теодолитов в горизонтальное положение, одновременно делают отсчеты по ближайшим рейкам; эти отсчеты будут давать высоту приборов над реперами.

4) Одновременно измеряют несколькими приемами вертикальные углы на марки, укрепленные на дальних рейках.

5) По окончании измерений приборы перевозят на другой берег и программу измерений повторяют в обратном порядке.

Превышения вычисляют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= D \cdot \operatorname{tg} \delta_1 + i_1 - V_2 + 0,43 \cdot D^2/R; \\ h_2 &= D \operatorname{tg} \delta_2 + i_2 - V_1 + 0,43 \cdot D^2/R; \\ h &= (h_1 + h_2)/2, \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

где h_1 , h_2 – прямое и обратное превышение; D – расстояние между определяемыми пунктами; δ_1 , δ_2 – измеренные углы наклона; i_1 , i_2 – высоты

приборов; V_1 , V_2 – высоты наблюдаемых марок; $0,43 \cdot D^2/R$ – поправка за кривизну Земли.

Передача отметки по уровню воды применяется при менее точных работах, считая, что на прямых участках реки со спокойным движением воды в безветренную погоду уровень воды горизонтален. На обоих берегах реки перпендикулярно к течению устраиваются ковши (ямы) для определения уровня воды. Для этого вырываются ямы размером около 2x2 м с глубиной слоя воды в них около метра, соединяющиеся с рекой канавами. В них забиваются сваи, в спиленные головки которых забиваются гвозди с круглой головкой. Вблизи водомерного поста на расстоянии одной нивелирной станции (50-100 м) закладывается грунтовый репер (рис. 27, е). Двойным ходом геометрического нивелирования определяется отметка одного репера (исходного), например А, и превышение между сваями поста и реперами А и В. Затем в течение нескольких дней в разное время одновременно на двух берегах определяются отметки уровня воды. Отметка определяемого репера В вычисляется по среднему уровню воды и превышениям между реперами и уровнем воды с точностью в пределах 3-6 см по формулам:

$$\begin{array}{l}
 h_1 = - (a_1 + b_1) + c_1, \\
 N_{ур.в.} = N_{RpA} + h_1
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} h_1 = - (a_1 + b_1) + c_1, \\ N_{ур.в.} = N_{RpA} + h_1 \end{array}} \right\} \text{ левый берег}$$

$$\begin{array}{l}
 h_2 = (a_2 + b_2) - c_2 \\
 N_{RpB} = N_{ур.в} + h_2
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} h_2 = (a_2 + b_2) - c_2 \\ N_{RpB} = N_{ур.в} + h_2 \end{array}} \right\} \text{ правый берег}$$
(38)

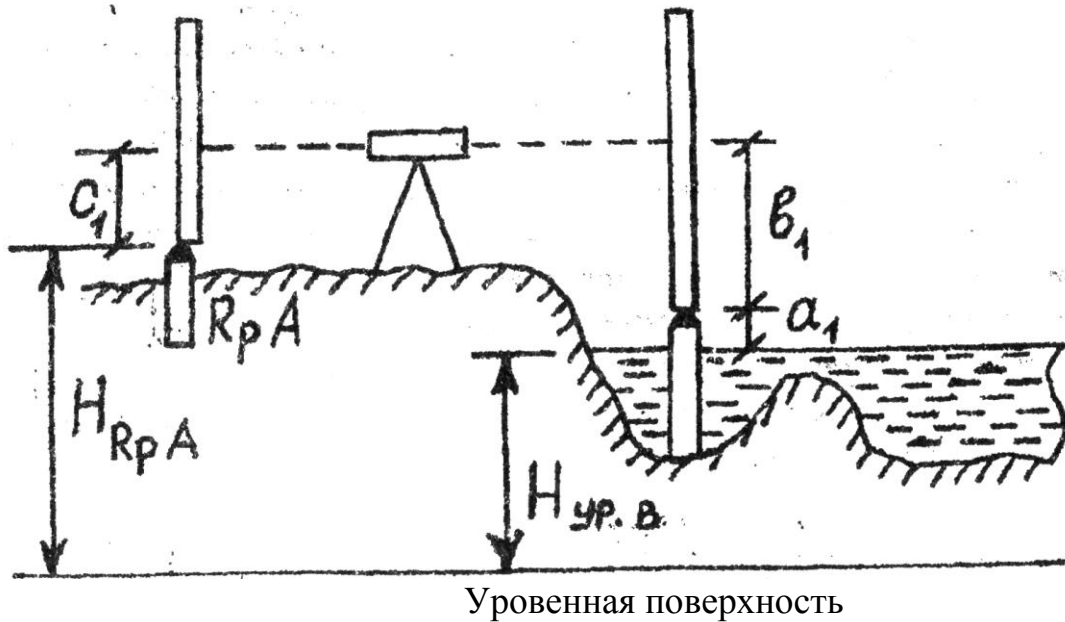


Рис. 28. Передача отметки по уровню воды

Гидростатическое нивелирование при благоприятных условиях обеспечивает точность в несколько миллиметров для больших водных преград. По дну водотока прокладывают прочный шланг, заполненный водой под большим давлением для устранения пузырьков воздуха. В концы шланга вставляют стеклянные трубки с делениями и укрепляют их на береговых столбах (рис. 27, д).

На расстоянии одной нивелирной станции от столбов в устойчивых местах устанавливают реперы 1 и 2. При наблюдениях полагают, что мениски жидкости в трубах № 1 и 2 лежат в одной уровенной поверхности и при помощи двух нивелиров связывают эту поверхность с реперами. Наблюдения ведут через определенные интервалы времени. Одновременно на каждом берегу измеряют давление, температуру воздуха и воды для введения поправок в результаты измерений. Из нескольких циклов наблюдений берут среднее.

§ 8. Мостовая разбивочная основа

Для проведения топографических съемок крупного масштаба и обеспечения геодезической основой проектирования, изысканий и строительства мостов в районах строительства развиваются сети **сгущения 1-го и 2-го разрядов**, опирающиеся на пункты государственной опорной сети 1, 2, 3 и 4-го классов. **Пункты сетей сгущения и представляют мостовую разбивочную основу.** В зависимости от принятого способа разбивки опор и условий местности на мостовом переходе геодезическую сеть создают в виде триангуляции, трилатерации, линейно-угловых (базовых) треугольников, полигонометрии. Чтобы обеспечить точность монтажа пролетного строения 15-20 мм, ошибка положения пунктов мостовой основы не должна превышать 10 мм, а по осям координат 6мм (СНиП).

Пункты мостовой основы закрепляют в геологически устойчивых местах, не затопляемых высокими паводковыми водами, обеспечивающих взаимную видимость и удобство при производстве разбивочных работ.

Мостовая триангуляция строится в форме сдвоенного геодезического четырехугольника (рис. 29, а), в котором сторона АВ совпадает с продольной осью мостового перехода, а стороны СД и ЕF служат базисами разбивки опор. В стесненных условиях иногда ось перехода АВ сопрягается с пунктами триангуляции дополнительными построениями (рис. 29, б).

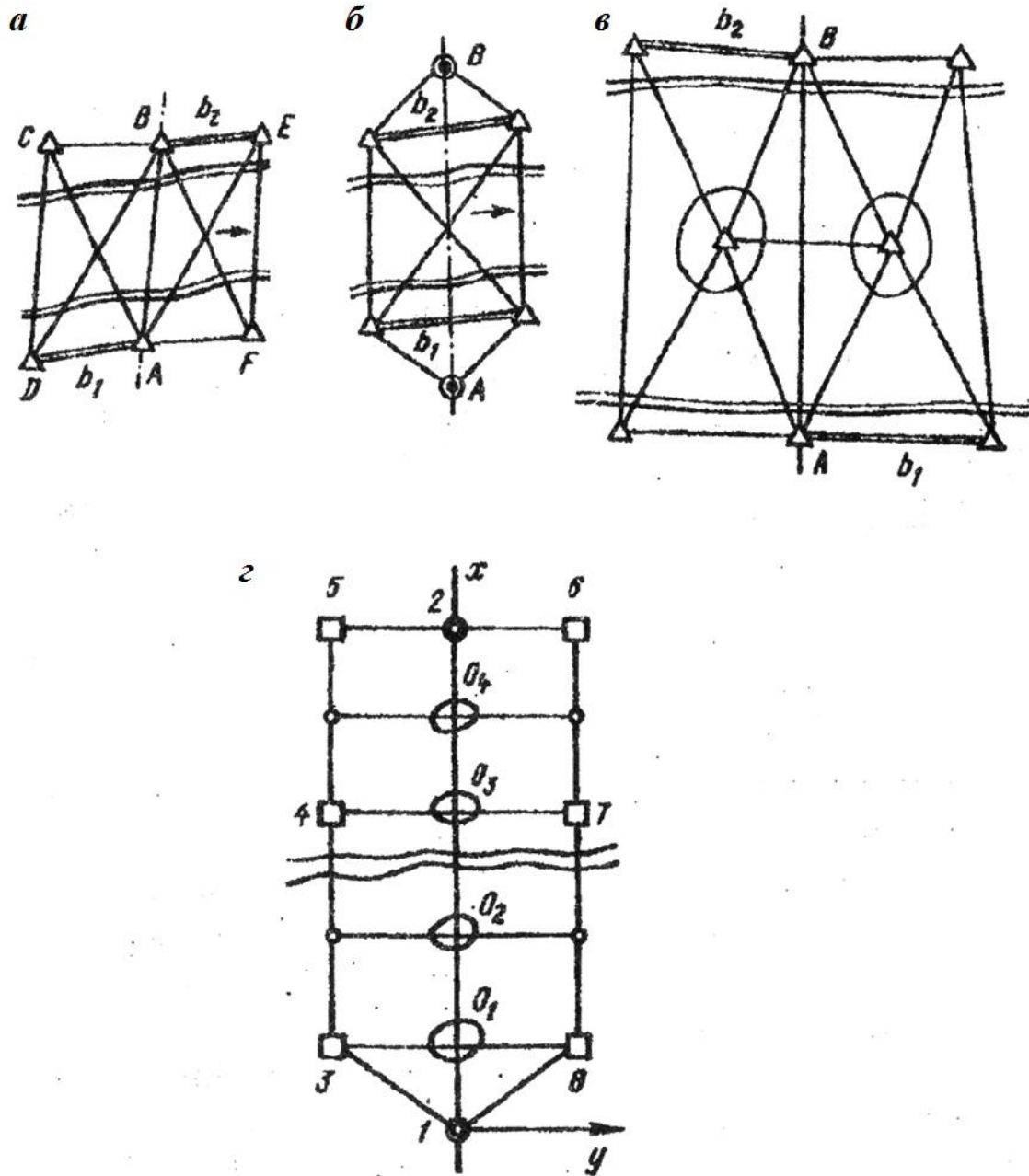


Рис. 29. Схемы геодезических сетей
 а, б, в - мостовая триангуляция;
 г - мостовая полигонометрическая сеть

При наличии на больших реках островов мостовая триангуляция может развиваться в виде центральных систем (рис. 29, в). В этом случае пункты устанавливают в воде на прочно забитых сваях с защитными от ледохода устройствами.

Форма геодезического четырехугольника выбирается из условия разбивки опор с пунктов мостовой триангуляции способом прямой засечки с максимально возможной точностью как минимум тремя направлениями. Поэтому к точности измерений в сетях триангуляции предъявляются требования, помещенные в таблице 4.

Таблица 4

Длина моста, м	Погрешности			Невязки в треуголь- никах
	определения длины моста	измерения базиса	измерения углов	
До 200	1:5 000	1:10 000	$\pm 20''$	$\pm 35''$
От 200 до 500	1:15 000	1:30 000	± 7	± 10
От 500 до 1000	1:25 000	1:50 000	± 3	± 5
Свыше 1 000	1:40 000	1:80 000	$\pm 1,5$	± 2

Для обеспечения такой точности при угловых измерениях необходимо использовать высокоточные теодолиты Т1, Т2 и современные светодальномеры.

Полигонометрия взамен триангуляции развивается на сравнительно сухой пойме или суходоле, опирается на исходные пункты мостового перехода (рис. 29, г). 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, углы – 2–3", т.е. с таким расчетом, чтобы 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.

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. Разбивка центров мостовых опор

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.

Положение мостового перехода на местности определяется общим пикетажем трассы и привязкой к исходным пунктам А и В (рис. 30, а). Перед разбивкой предварительно **вычисляют координаты всех пунктов триангуляции и центров опор в условной системе координат**, принимая за начало координат точку А начала мостового перехода, а за ось абсцисс – направление АВ оси мостового перехода.

Разбивку центров мостовых опор ведут в основном двумя методами: линейных измерений и угловых засечек.

Метод линейных измерений заключается в непосредственном откладывании проектных расстояний между исходными точками А, В и опорами моста с помощью мерных лент или светодальномеров. Он используется при расположении моста на суходоле или в случае разбивки в зимнее время по льду. Измерения производят либо по оси моста АВ, либо по параллельной ей оси А'В' (рис. 30, б). Разбивку ведут от обоих исходных пунктов к середине. Вследствие ошибок измерений **для центра средней опоры получают две точки**: одна по измерениям от точки А, другая – от точки В. Если расстояние между полученными точками не превышает предельной точности измерений (± 20 мм), 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 невязку. Центры опор фиксируют на мостах, а продольные оси закрепляют сваями (по две с каждой стороны – рис. 30, б), что дает возможность выносить продольные оси на строящиеся опоры даже при отсутствии видимости между правой и левой параллельными осями.

Прямая угловая засечка применяется на переходах через большие судоходные реки. Центр каждой опоры засекают минимум тремя направлениями: с двух пунктов базиса С, D и по створу продольной оси перехода с точки А (рис. 30, в). В контуре опоры визирная цель устанавливается в точке пересечения линий визирования двух теодолитов, одновременно задающих разбивочные углы γ и β с пунктов С и D базисов засечки. Построение выполняют при двух положениях круга, закрепляя среднюю точку. Третьим теодолитом из точки А уточняют положение полученного центра опоры (1, 2...) на оси перехода. На острове или суходоле ошибка разбивки центра опоры не должна превышать 10-20 мм. Для достижения такой точности разбивочные углы необходимо строить с точностью 3-5", т.е. с использованием теодолитов Т1, Т2.

Разбивочные углы получают на основе решения обратных геодезических задач. Так, по рис. 30, в имеем:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{AB} = 0^\circ; \quad \operatorname{tg}\alpha_{AC} = y_C/x_C; \quad \operatorname{tg}\alpha_{AD} = y_D/x_D; \\ \operatorname{tg}\alpha_{D1} = -y_D/(x_1 - x_D); \quad \operatorname{tg}\alpha_{C1} = -y_C/(x_1 - x_C); \\ \beta_1 = \alpha_{D1} - \alpha_{DA}; \quad \gamma_1 = \alpha_{CA} - \alpha_{C1}. \end{aligned} \right\} (39)$$

Кроме рассмотренных способов для разбивки центров мостовых опор иногда используют способ приведений (обратная угловая засечка по пунктам мостовой сети с редуцированием точки определения к проектному центру опоры) и разбивка на плаву (отличается невысокой точностью 10 – 20 см и эффективен при использовании для визирования и засечек лазерных

теодолитов).

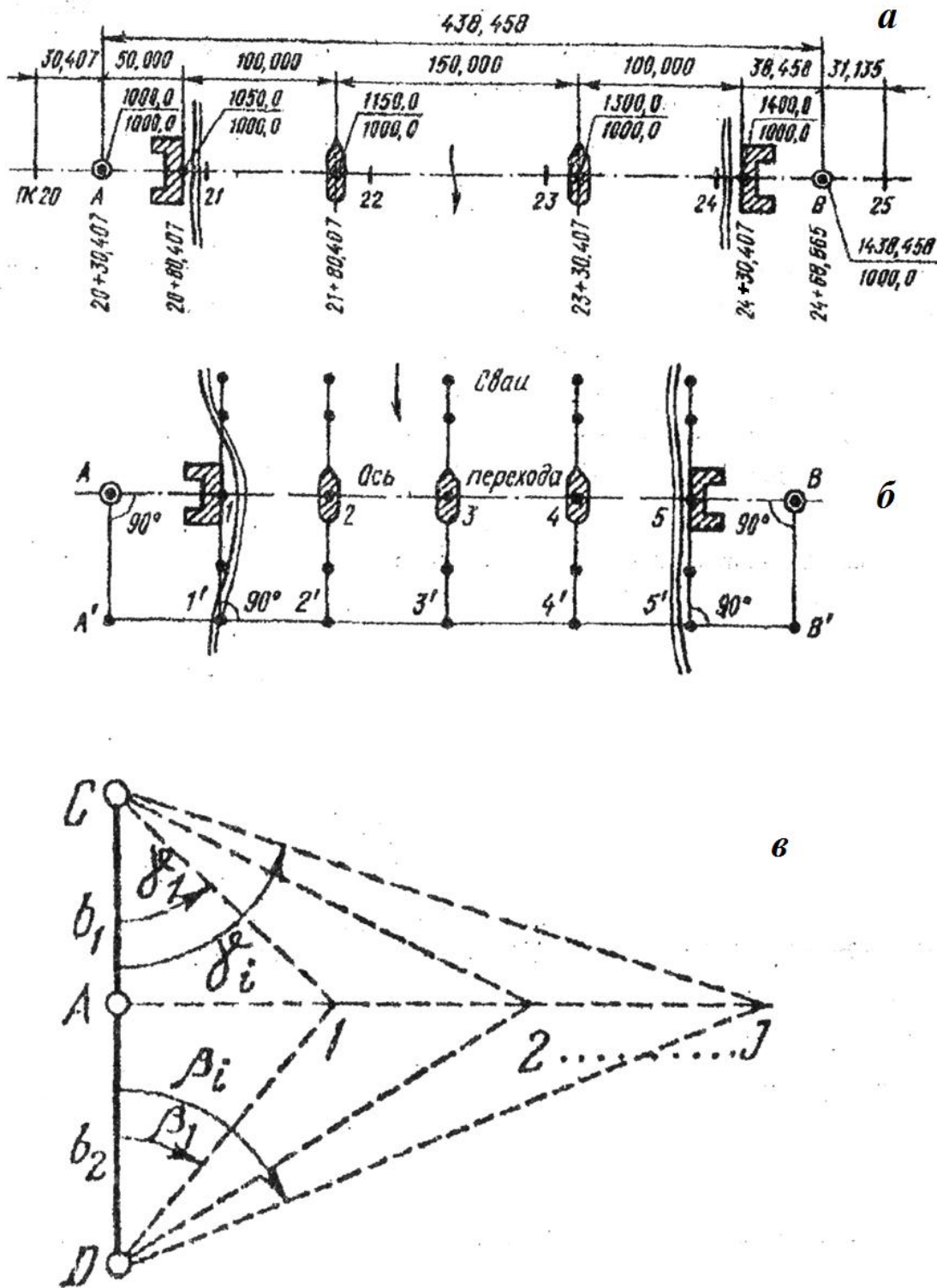


Рис. 30. Привязка и разбивка центров мостовых опор

§ 10. Детальная разбивка опор моста*

Основания мостовых опор. Опоры больших мостов делают массивными, из каменной или бетонной кладки. В опоре различают (рис. 31): фундамент 1, тело опоры 2 и подферменную часть 3, на которой устанавливают пролетное строение. В береговых опорах – устоях дополнительно возводят две обратные стенки для сопряжения с земляной насыпью. При необходимости в верховой части опор строят ледорезы.

Фундамент опоры заглубляют до плотных пород. Верх фундамента имеет в плане несколько большие размеры, чем основание тела опоры, поэтому по периметру образуется уступ 4 до 0,5 м, называемый обрезаем фундамента. Во время разбивки опор обрезаем фундамента позволяет при некотором отклонении от проекта осей фундамента соответственно сместить тело опоры и построить его точно по проекту.

На глубоких реках опоры сооружают на свайных основаниях, опускных колодцах или кессонах.

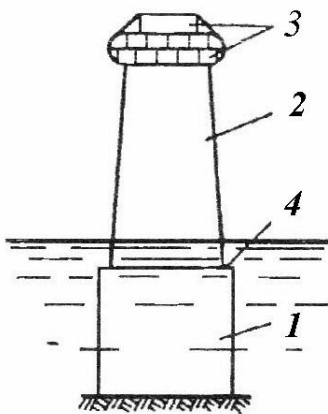


Рис. 31. Мостовая опора

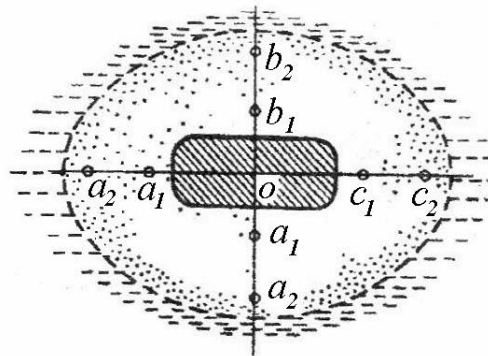


Рис. 32. Разбивка опоры на острове

Свай-оболочки представляют собой железобетонные трубы, погружаемые в грунт виброустановками. Из труб выбирают грунт и заполняют их бетоном (иногда армированным). На меженном уровне сваи перекрывают железобетонной плитой и на ней сооружают тело опоры.

* Материал заимствован из [6]

Кессон - камера, закрытая сверху и открытая снизу. Незакрытой частью камера опускается в воду, на дно. Вода из камеры удаляется при помощи сжатого воздуха, который подается в камеру по трубам и создает давление до $2,5 \times 10^5$ Па (2,5 атм.). Через особые шахты в камеру спускаются рабочие, разрабатывающие гидромониторами грунт на площади, закрываемой кессоном. По мере удаления наружу грунта кессон под действием собственного веса опускается, причем одновременно сверху производится надкессонная кладка с таким расчетом, чтобы уровень кладки был на несколько метров выше уровня воды в реке. Когда нож кессона достигает проектной отметки, основание под ним бетонируется и затем вся камера заполняется кладкой. Кессон можно опускать на глубину до 35 м от уровня воды.

Опускные колодцы имеют открытый низ и верх. Грунт под ножом колодца и внутри него удаляется грейфером. По мере опускания колодца стенки его постепенно наращивают над водой. После опускания на проектную глубину производят подводное бетонирование основания и нижней части колодца, а затем и всего колодца. Глубина опускания колодца может достигать 50 м и больше.

Разбивка осей опор на суходоле и на острове. Детальную разбивку опор производят от закрепленных в натуре их центров и осей. При сооружении опоры на суходоле предварительно устраивают горизонтальную обноску, на которую из центра опоры теодолитом выносят главную ось мостового перехода и перпендикулярно к ней продольную ось опоры. От этих осей по обноскам разбивают контуры элементов фундамента, которые проектируют в котлован при помощи монтажной струны и отвеса.

На реках глубиной до 5-6 м основания опор опускают с намытых островов, а при большой глубине – с понтонов на плаву.

При сооружении основания на намытом острове определяют светодальномером или угловыми засечками точное положение центра опоры O и,

установив над ним теодолит, визируют на правый и левый исходные пункты, закрепляя в створе главной оси мостового перехода точки a_1 , a_2 и b_1 , b_2 (рис. 32) – поперечную ось опоры. Перпендикулярно к этой оси фиксируют продольную ось опоры точками c_1 , c_2 и d_1 , d_2 . На острове устанавливают два рабочих репера, высоты которых периодически проверяют от постоянных реперов на берегу.

Разбивка контура камеры или центров свай производится от закрепленных точек осей опоры способом прямоугольных координат (с точностью до 1 см). При установке кессона или опускаемого колодца площадка предварительно тщательно планируется под одну высоту, нож камеры по нивелиру приводят в строго горизонтальное положение.

Наблюдения за опусканием основания опоры на острове в плавном положении ведут путем периодических измерений расстояний от осевых знаков до опускаемого контура, по высоте – контрольным нивелированием от рабочих реперов.

Разбивка мостовых оснований на плаву. На плаву свайные основания строят при помощи рамного каркаса на понтонах (рис. 33), в котором замаркирован центр и конструктивные оси x и y , в соответствии с проектом сделаны отверстия с вертикальными направляющими для установки свай. Каркас подвозят на буксире к месту расположения опоры, закрепляют на якорях и методом приближений устанавливают в проектное положение по данным угловых засечек с геодезических пунктов и визированием по оси мостового перехода, как при разбивке центров опор. Глубина заложения свай определяется по длине забитых оболочек. Для возведения опорной плиты фундамента верх свай нивелируют и привязывают к береговому реперу.

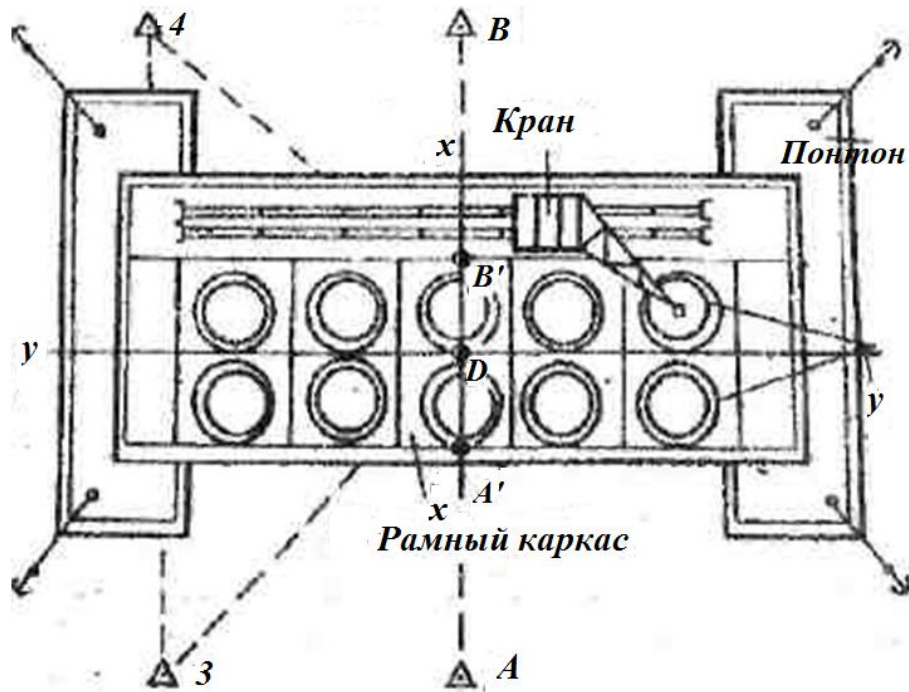


Рис. 33. Разбивка свай-оболочек опоры на плаву.

При сооружении фундаментов с кессонным основанием или открытым колодцем геодезические работы заключаются в систематических наблюдениях за опусканием камеры и в разбивке опалубки для верхней кладки. Эти наблюдения включают:

- а) измерение глубины опускания камеры и высоты ножа;
- б) определение наклона ножа камеры по продольной и поперечной осям;
- в) определение планового смещения центра камеры.

Для измерения глубины опускания камеры на ее внешней стенке наносят шкалу с делениями через 1 дм. Нулевое деление шкалы совмещают с линией ножа камеры. По мере опускания камеры шкалу наращивают. Для определения высоты H_H ножа нивелиром берут отсчет по рейке, стоящей на рабочем репере, и по шкале камеры. Тогда:

$$H_H = H_{\text{РЕП.}} + a_r - b_{\text{Ш}}, \quad (40)$$

где $H_{\text{РЕП.}}$ – высота репера, a_r и $b_{\text{Ш}}$ – соответственно отсчеты по рейке и

шкале камеры.

Кессоны и колодцы должны опускаться отвесно. Для определения наклона кессона в рабочей камере на внутренней стенке по осям устанавливают четыре постоянных марки на высоте 1,5 м от основания. Перед опусканием кессона при строго горизонтальном положении ножа определяют превышения между марками с точностью до 1 мм и расстояние между ними. Периодически, по мере опускания кессона, эти марки нивелируют и по разности их высот находят продольный и поперечный наклон кессона

$$i = \Delta h/d, \quad (41)$$

где Δh – изменение превышения между противоположными марками по сравнению с начальным значением, полученным при горизонтальном положении кессона; d – расстояние между марками.

Под влиянием наклона основания отклонится от вертикали на тот же угол i ось кессона. Линейная величина крена в верхней части составит (рис. 34, а)

$$q = i \cdot h, \quad (42)$$

где h – глубина опускания кессона, $i = \operatorname{tg} \nu$.

При плановом смещении Δl_C положения центра ножа на ту же величину сместится верхняя часть кессона (рис.34, б). Величина этого смещения определяется по измеренному отклонению центра опоры, вынесенного с пунктов геодезической сети, от фактического пересечения осей кессона. Следовательно, если камера занимает горизонтальное положение ($\Delta h = 0$), то верхнее смещение является результатом сдвига камеры в плане на ту же величину.

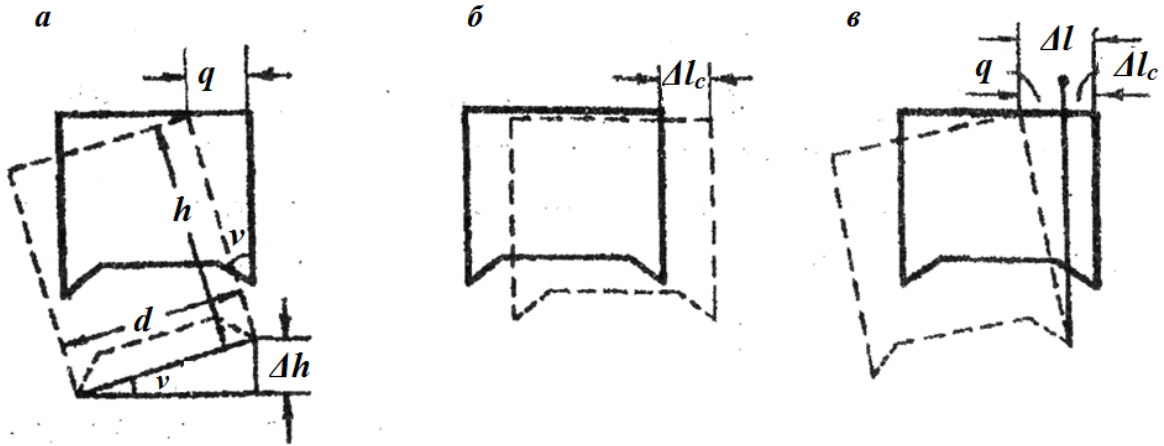


Рис. 34. Наблюдения за опусканием кессона
 а - крен кессона; б - плановое смещение; в - крен и плановое смещение

При наличии крена камеры q и сдвига Δl_c в плановом положении ножа общее смещение верхней части Δl будет (рис. 34, в):

$$\Delta l = \Delta l_c + q. \quad (43)$$

При этом надо учитывать знаки слагаемых величин, т.е. если сдвиг в плановом положении и крен направлены в одну сторону, то общее смещение равно их сумме; если они направлены в противоположные стороны – разности.

В результате наблюдений за опусканием колодца всегда имеется возможность определить величины Δl и q . Следовательно, из формулы (43) можно определить и сдвиг камеры в плане:

$$\Delta l_c = \Delta l - q. \quad (44)$$

Зная величину крена и сдвига камеры, принимают меры к приведению ее оси в вертикальное положение и к устранению сдвига.

Крен опускного колодца или сваи-оболочки большого диаметра измеряют при помощи тяжелых отвесов, опущенных по осям внутри колодца на расстояние 10-15 см от стенок. Отвесы проектируются на линейки с рисками, укрепленные на верхней грани ножа колодца. По мере наращи-

вания стенок отвесы переносят наверх, измеряя их первоначальное положение относительно контрольных рисок. Изменение отклонения отвесов от рисок характеризует величину и направления крена колодца.

Плавное смещение центра верхнего обреза колодца определяют, как и в кессонах, по измерениям с пунктов геодезической сети.

Согласно требованиям СНиП предельная величина горизонтального смещения кессона и опускного колодца от проектного положения не должна превышать $1/100$ общей глубины опускания. При достижении проектной глубины определяют высоту ножа. При нормальном положении камеры и надежных для опор грунтах прекращают ее опускание и заполняют кладкой.

Выверка опалубки фундамента опоры. Внешняя поверхность фундамента - опалубка является направляющей при опускании колодца, и от ее правильного построения зависит скорость и точность опускания. По мере опускания колодца опалубка наращивается вертикальными секциями высотой около 3 м. При этом, чтобы не было излома поверхности, разбивают и строят опалубку только при вертикальном положении оси колодца.

Разбивка опалубки ведется по осям от центра опоры. В построенной опалубке проверяют вертикальность стенок и соответствие внутренних ее размеров проектным размерам опоры. Допускаемое отклонение отделочных точек опалубки от вертикали не должно превышать 2 см.

Воздвигнув кладку до уровня обреза фундамента, необходимо с пунктов мостовой сети уточнить положение центра опоры, а также продольной и поперечной осей, а с береговых реперов проверить высоту обреза. От уточненных осей намечают контуры кладки тела опоры. Так как при опускании камеры, особенно на плаву, могло произойти некоторое смещение фундамента в плавном отношении, тело опоры в пределах обреза фундамента сдвигают, чтобы центр занял проектное положение. Соответственно уточняют разбивку осей опоры.

По мере возведения опоры, закрепленные оси проектируют вверх, на следующую секцию. Однако, чтобы избежать заметных ошибок, необходимо периодически проверять положение центра опоры от пунктов мостовой сети способом прямой или обратной засечки.

Для передачи проектных высот на опоры закладывают ряд рабочих реперов, которые располагают как можно ближе к месту работы, в том числе и на строящихся опорах. Высоты рабочих реперов периодически контролируют привязкой к постоянным реперам.

Наиболее тщательно разбивают подферменную часть опоры, на которую опирается пролетное строение моста. С пунктов мостовой сети уточняют положение центра опоры, а от него – продольных и поперечных осей. Путем проложения по опорам нивелирного хода с одного берега на другой проверяют высоты рабочих реперов. От осей опоры способом прямоугольных координат или линейных засечек разбивают положение подферменных площадок; их рабочие поверхности устанавливают на проектную высоту (с ошибкой 1-2 мм относительно рабочего репера).

Разбивку осей регуляционных сооружений выполняют от ближайших геодезических пунктов. По мере строительства земляной насыпи положение ее криволинейной оси уточняют проложением по ней теодолитного хода.

Исполнительная съемка опор. По окончании строительства опор производится исполнительная съемка, которая включает:

- 1) определение координат центров опор и размеров пролетов;
- 2) контрольное нивелирование подферменных площадок и рабочих реперов;
- 3) детальную съемку опор и регуляционных сооружений.

Реальное положение центров опор фиксируют на верхнем контуре тела опоры и координируют их с пунктов мостовой сети. Одновременно измеряют расстояния между продольными осями опорных частей подфер-

менных площадок и центрами опор и определяют исполнительные величины пролетов, которые не должны отличаться от проектных на 1-2 см.

Высотный контроль опор выполняют нивелированием по программе IV класса. Нивелирный ход прокладывается в прямом и обратном направлениях от репера на одном берегу по опорам до репера на другом берегу. При нивелировании проверяют на каждой опоре высоты рабочих реперов, проектные высоты подферменных площадок, центра и точек контура верхней части опоры.

Детальную съемку опоры производят от продольной и поперечной осей, определяя размеры диаметров опоры, подферменных площадок и других частей. Одновременно со съемкой дополнительно закрепляют центры и оси опор для последующих работ. Знаками крепления служат скобы (или металлические пластины) с метками, бетонированными в подферменную часть опоры.

По материалам исполнительных съемок составляют исполнительные чертежи опор, ведомости расстояний между центрами опор и величин пролетов, ведомости высот реперов, установленных на опорах. Вся эта документация служит в качестве исходной для монтажа пролетного строения.

§ 11. Выверка пролетного строения моста.

Наблюдения за деформациями *

Способы монтажа. 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

* Материал заимствован из [6]

главной ферме.

Монтаж пролетного строения может быть выполнен несколькими способами: полунавесной и навесной сборкой непосредственно в пролете; сборкой на береговой подходной насыпи с последующей надвижкой в пролет; сборкой на прибрежном стапеле с перевозкой к пролету плавучими средствами. Независимо от принятой технологии монтажа геодезические работы при сборке и установке пролетного строения включают:

а) детальную разбивку продольной оси моста и периодическую выверку прямолинейности и соосности сборки главных ферм. Применяют способ оптического визирования по продольной оси или способ бокового нивелирования по нижнему поясу с параллельной оси, отстоящей от первой на величину $l = b / 2 + 0,5$ м, где b – ширина пролетного строения, с допустимым 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 Н-3 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. При полунавесной или навесной сборке 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. В способе бокового нивелирования очередная секция пролетного

строения устанавливается при одних и тех же отсчетах по горизонтальным рейкам.

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.

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.

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 определяет высоты одних и тех же узловых точек нижних и верхних поясов.

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.

При нивелировании прибор устанавливают на опорах или 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 $1/1000$ ширины пролетного строения для сечений на опорах и $1/500$ – для сечений в пролете при условии сохранения плавности кривой строительного подъема.

Применение лазерных приборов. Для монтажа пролетного строения и контрольных измерений весьма эффективным является применение лазерных визиров и лазерных нивелиров. 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).

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.

В способе продольной надвигки пролетного строения по ориентированному лазерному лучу ведут непрерывные наблюдения за совпадением геометрической оси строения, зафиксированной в конечных точках ферм, с заданной осью мостового перехода.

Высотную установку пролетного строения удобно производить относительно горизонтального лазерного луча или лазерной плоскости, за-

даваемых на проектной высоте лазерным нивелиром, установленным на постоянной или временной опоре. 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.

Относительно видимой в натуре горизонтальной лазерной плоскости легко определять по подвешенным рулеткам или рейкам ординаты кривой строительного подъема и контролировать высоты опорных частей и монтируемых узлов.

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 железнодорожных мостов или покрытия для автодорожных мостов.

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.

На профиле строительного подъема указывают высоты верхних и нижних металлических поясов, отклонение ординат строительного подъема от проектных величин, высоты бетонных плит в точках стирания 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).

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 месяца, а также после весеннего и

осеннего паводков.

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. Согласно требованию СНиП средняя квадратическая ошибка определяемых осадок опор не должна превышать 1,5 мм. По результатам наблюдений составляют ведомости и графики, дающие наглядное представление о величине и скорости оседания каждой опоры.

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.

Наблюдения за продольным смещением опор выполняют створным методом. Для этого в одной створной плоскости устанавливают знаки на подферменной части опор с правой или левой стороны от пролетного строения и закрепляют на каждом берегу в устойчивых местах прочными знаками.

В каждом цикле наблюдений способом подвижной марки или измерения малых углов определяют отклонения установленных на опорах точек от закрепленного створа. Разности этих отклонений между циклами наблюдений и дают величины смещения опор, которые показываются на графике.

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.

Горизонтальные смещения мостовых опор определяют со средней квадратической ошибкой:

$$m_{x,y} = 0,0004 \cdot h \text{ (но не более 5 мм),}$$

где h – высота опоры.

Библиография

1. Гусев Ю.С., Кочетов Ф.Г., Кочетова Э.Ф. Инженерная геодезия в автодорожном строительстве. Н.Новгород, 2001.
2. Андреев О.В. и др. Справочник инженера дорожника. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. М., 1997.
3. Кочетов Ф.Г. Автоматизированные системы для геодезических измерений. М., 1991.
4. Левчук Г.П. и др. Прикладная геодезия: геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений, М., 1983.
5. Митин Н.А. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах. М., 1976.
6. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. М., 2002.
7. Федоров В.И., Титов А.И., Холдобаев В.А. Практикум по инженерной геодезии и аэрогеодезии. М., 1987.
8. Федотов Г.А., Неретин А.А. Основы аэрогеодезии и инженерно-геодезические работы. М., 2012.
9. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Геодезия М., 2012.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
---------------	---

Раздел первый

Трассирование линейных сооружений

§ 1. Общие сведения о трассе и трассировании	4
§ 2. Задачи, стадии и методы изысканий трасс автодорог. Камеральное трассирование	8
§ 3. Полевое трассирование.....	14

Раздел второй

Инженерно-геодезические работы
в период проектирования и строительства автодорог

§ 4. Проектирование автодорог. Разбивка земляного полотна	34
§ 5. Разбивка верхнего строения дороги, виражей, серпантин	48
§ 6. Автоматизированные системы для планировочных работ.....	58

Раздел третий

Геодезические работы на мостовых переходах

§ 7. Геодезические работы на мостовых переходах	61
§ 8. Мостовая разбивочная основа	70
§ 9. Разбивка центров мостовых опор	73
§ 10. Детальная разбивка опор моста	76
§ 11. Выверка пролетного строения моста. Наблюдения за деформациями	84
Библиография.....	91

Кочетова Элеонора Федоровна

Инженерная геодезия в автодорожном строительстве

Учебное пособие

Редактор:
П.В. Сидоренко

Подписано в печать Формат 60x90 1/16 Бумага газетная. Печать трафаретная.
Уч. изд. л. 5,4. Усл. печ. л. 5,8. Тираж 300 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» 603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.
Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65
<http://www.nngasu.ru>, srec@nngasu.ru