

## Лекция 1. Инженерно-геодезические изыскания линейных сооружений. Способы организации. Этапы осуществления.

*Геодезические изыскания* – это оптимизация пространственно-геометрических параметров предполагаемого возведению сооружения в некоторой области окружающей среды.

*Геодезические изыскания* для строительства должны обеспечивать получение топографо-геодезических материалов и данных о ситуации и рельефе местности существующих зданиях и сооружениях и других элементах планировки, необходимых для комплексной оценки природных и техногенных условий территории строительства и обоснования проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации объектов.

Геодезические изыскания выполняются как самостоятельный вид инженерных изысканий, так и в комплексе с другими видами инженерных изысканий.

Инженерно-геодезические изыскания выполняются в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

В подготовительном этапе должны быть выполнены:

получение технического задания;

сбор и обработка материалов инженерных изысканий прошлых лет на район изысканий, а также топографо-геодезических, картографических, аэрофотосъемочных и других материалов;

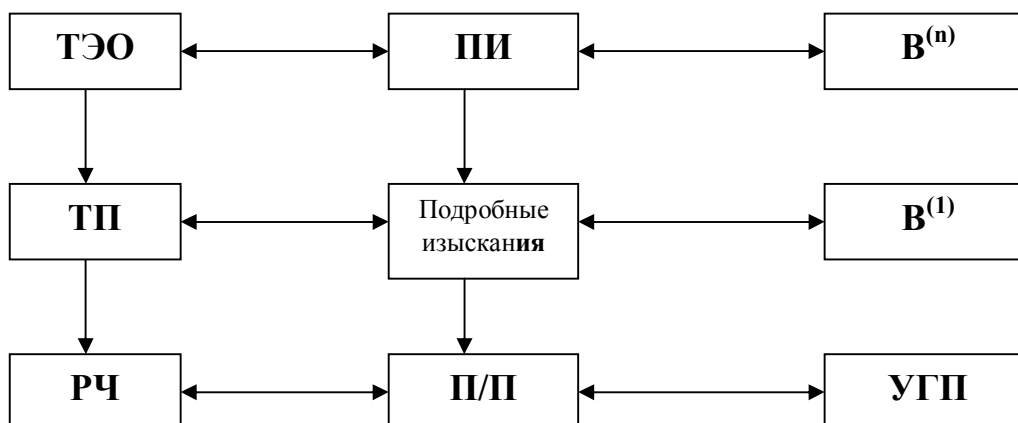
подготовка программы инженерно-геодезических изысканий в соответствии с требованиями технического задания.

В полевом этапе должны быть произведены рекогносцировочные обследования территории и комплекс полевых работ в составе геодезических изысканий, а также необходимый объем вычислительных и других работ по предварительной обработке полученных материалов.

В камеральном этапе должны быть выполнены:

окончательная обработка полевых материалов и данных с оценкой точности полученных результатов;

составление и передача технического отчета.



Порядок выполнения инженерно-геодезических изысканий  
3 стадии:

**ТЭО** (технико-экономическое обоснование) является предпроектным документом. Определяют целесообразность намеченного строительства с народнохозяйственной точки зрения. Устанавливают технические параметры, предварительно определяют объемы и стоимость работ, сроки строительства.

**ТП** (техническое проектирование) состоит из трех главных частей – экономической, технологической и строительной.

Строительная часть, в которой принимают участие геодезические службы, содержит данные о строительных и конструктивных решениях, размерах отдельных элементов проектируемых сооружений, о размещении всего объекта на строительной площадке и об использовании прилегающей части территории. В нее включаются планы и чертежи с указанием размеров сооружений. На стадии технического проектирования выполняют подробные изыскания, в которые входит:

1. выбор оптимального варианта путем технико-экономического сравнения;
2. сбор достоверных материалов для разработки технического проекта объекта и всех сооружений на нем;
3. составление сметы строительства.

**ПП** (предпостроечные изыскания) производят по выбранному и утвержденному варианту и имеют своей целью:

1. установление и закрепление на местности точного положения объекта;
2. сбор полных и точных материалов и данных для составления рабочего проекта, состоящего из: рабочих чертежей на все сооружения; пояснительной записки с обоснованиями, расчетами, ведомостями объемов работ, документами согласований, геодезическими данными; сметы.

Предпостроечные изыскания – это в основном полевые изыскания.

Линейные сооружения по их местоположению можно подразделить на:

1. Наземные (железные и автомобильные дороги, трамвайные пути);
2. Подземные (трубопроводы): водопровод, газопровод, паропровод, нефтепровод, а также кабельные линии передачи энергии и связи;
3. Наземные (воздушные): ЛЭП, линии связи, трубопроводы на опорах, канатно-подвесные дороги.

В зависимости от типа линейного сооружения, его протяженности и хозяйственной значимости изыскания проводят в две или одну стадию.

### **Подземные трубопроводы.**

Изыскания магистральных трубопроводов проводят в два этапа. На стадии проектного задания для выбора направления трассы и установки общей мощности трубопровода производят *предварительные изыскания*. Для составления технического и рабочего проекта производят *окончательные изыскания*.

#### *Предварительные изыскания.*

Исходный этап при изыскании трубопровода состоит в определении местоположения начального и конечного пунктов транспортировки нефти или газа. Начальным пунктом обычно служит площадка головных сооружений (состоит из головной насосной, создающей напор в трубопроводе, и парка емкостей для сбора и хранения нефти или газа). Конечным пунктом при

транспортировке сырой нефти является или нефтеперерабатывающий завод, на площадке которого создается специальный парк сырьевых емкостей для хранения нефти, или перевалочная база, откуда нефть перевозится на завод по водным или ж/д путям.

На продуктопроводах, идущих от нефтезаводов, конечным пунктом обычно служит крупная нефтебаза, расположенная вблизи большого транспортного узла. Конечным пунктом поступления газа является площадка распределительного пункта в большом промышленном или административном центре, на которой для хранения запасов газа сооружаются особые газовые хранилища – газгольдеры.

После выбора начального и конечного пунктов приступают к изысканиям кратчайшей трассы трубопровода, которая удовлетворяла бы всем техническим условиям и требовала бы минимальных затрат на строительство.

Первоначально трассу проектируют на карте, придерживаясь прямого, наиболее короткого направления между выбранными пунктами. На коротких трассах проектирование можно вести сразу по листам карты масштаба 1:100 000, предварительно смонтировав их на весь участок трассы. Трубопроводы большой длины проектируют сначала по обзорно-топографическим картам масштаба 1:500 000 или 1:1 000 000 и лишь затем уточняют положение трассы по картам масштаба 1:100000 и более крупным.

При проектировании трассы по карте приходится отклоняться от прямого, кратчайшего направления, чтобы обойти заболоченные места, глубокие и крупные овраги, горы с крутыми склонами, населенными пунктами, промышленными предприятиями и т.д.; при этом по возможности стремятся приблизить трассу к существующим железным и автомобильным дорогам, чтобы использовать их при строительстве и эксплуатации трубопровода.

В полевой этап предварительных изысканий обследуют местность, уточняют положение трассы в натуре и закрепляют ее основные точки.

При этом стремятся расположить трассу вдоль участков со спокойным рельефом и грунтами, легко поддающимися разработке, учитывая коррозионность грунтов, уровень грунтовых вод и другие факторы, удорожающие строительство трубопровода.

Минимальное приближение трубопровода к большим населенным пунктам допускают 600м. Когда трудно выдержать такой разрыв, он может быть уменьшен до 300м, но при условии, что населенный пункт лежит выше трассы и в случае аварии нефть не потечет в сторону населенного пункта. Это правило относится и к газопроводам с той лишь разницей, что его выгодно располагать, наоборот, выше населенного пункта, ибо в противном случае от газопровода газ может просачиваться по трещинам земли, канализационным и водопроводным трубам в населенный пункт и концентрироваться под зданиями с глубоко заложенными фундаментами, что может привести к опасному взрыву.

Такие препятствия, как *глубокие овраги* с обрывистыми берегами, вызывают необходимость устройства дорогих эстакад и дюкеров с резкими изломами труб, что крайне нежелательно. Частые овраги и промоины сильно затрудняют движение транспорта при строительстве трубопровода и его эксплуатации. Опыт показывает, что больше всего трубопроводы разрывают на промоинах и

растущих оврагах, где в половодье трубы сильно размываются и, потеряв изоляционный слой, быстро ржавеют и лопаются.

*Заболоченные места* способствуют быстрому распространению коррозии и, следовательно, преждевременному износу труб. Ликвидировать же аварии в таких местах очень трудно.

Каменистые грунты не позволяют применять канавокопатели, чем затрудняют рытье траншей. Кроме того, чтобы не повредить изоляции об камни при укладке трубопровода, ан каменистое дно приходится насыпать слой мягкого грунта. Все это удорожает строительство трубопровода.

Параллельно идущие высоковольтные линии электропередач должны отстоять от нефтепровода не меньше чем на 500м, т.к. блуждающие токи систематически влияют на трубы и последние быстро съедаются коррозией. Поэтому пересечение трубопровода с ЛЭП стремятся делать под прямым углом и лишь в крайнем случае под углом, не меньше 45°.

При выборе трассы на местности ведутся также предварительные инженерно-геологические обследования. Путем осмотра устанавливают участки заболоченные, засоленные или загрязненные сточными водами.

При изысканиях трассы трубопровода надо иметь в виду, что рядом с ней должна располагаться линия связи и вблизи проходить грунтовая дорога, полоса отвода вдоль трассы устанавливается шириной 15-20м. Если трубопровод укладывают в две нитки, то разрыв между ними устанавливается шириной 10м.

#### Окончательные изыскания.

Для составления технического проекта трубопровода производят окончательные изыскания трассы с измерением и закреплением углов поворота, разбивкой и нивелированием пикетажа, съемкой пересечений и переходов.

Выбрав трассу в натуре, отмечают вершины поворота вехами, стремясь чтобы углы поворота были минимальными. Большие углы поворота создают неудобства при разбивке кривых. Для магистральных трубопроводов рекомендуют назначать радиусы закруглений 500-1000м.

Вдоль трассы устанавливают угловые столбы и реперы. Угловые столбы зарывают на глубину 1,2 м, а реперы на 1,6-2,0 м в зависимости от глубины промерзания грунта.

Реперы ставят на трассе через 2-3 км. На длинных трассах в местах, не обеспеченных высотной основой, через каждые 10 км устанавливают железобетонные реперы (глубиной 2-2,5 м). Все реперы в плановом положении привязывают к трассе.

В полосе шириной 100 м вдоль трассы снимают не только ситуацию, но и рельеф, чтобы можно было не только запроектировать трубопровод, но и правильно организовать работу по его сооружению.

В пикетажной книжке отмечают все плюсовые точки (пересечение трассы с бровками, оврагами, ЛЭП и т.д.). На поворотах трассы разбивают главные точки кривых и выносят пикеты и плюсовые точки на кривые.

В том случае, когда трасса проходит по местности, хорошо обеспеченной высотной основой, и есть возможность привязывать трассу к реперам не реже чем через 20-30 км, нивелирование по пикетажу обычно выполняется одиночным ходом по двусторонним рейкам.

Если же трасса проходит по местности, не обеспеченной высотной основой, то нивелирование по пикетажу и реперам вдоль трассы выполняют двумя инструментами, следующими один за другим.

Вслед за нивелированием производят бурение скважин на глубину до 3 м через 200-300 м. В оврагах бурят по три скважины: две на бровках, одну на дне.

На переходах через дорожные магистрали бурят по две скважины по обеим сторонам полотна. Трасса привязывается к геодезическим пунктам не реже чем через 50 км.

### **Изыскания ЛЭП.**

ЛЭП разделяются на *кабельные* (подземные) и *воздушные*. Кабельные линии, как более дорогостоящие, прокладываются на территории городов, аэропортов, предприятий. Передача тока высокого напряжения на значительные расстояния производится по воздушным линиям.

Основными элементами воздушных линий являются опоры, провода, изоляторы. Опоры различают анкерные и промежуточные. *Анкерными* называют такие опоры, которые воспринимают на себя все усилия от натяжения провода.

Среди анкерных опор выделяют угловые опоры, помещаемые в вершинах углов поворота трассы, и специальные опоры, устанавливаемые на переходах через широкие или высокие препятствия.

*Промежуточные* опоры только поддерживают провода, натянутые между анкерными опорами.

Расстояние (горизонтальное проложение) между двумя соседними опорами называют *пролетом*. Для линий с напряжением 110-154 кв пролеты делают равными 250-275 м; для линий 220 кв – 300-350 м и в 400 кв- 400-450 м. Анкерные пролеты принимают равными 5-7 км.

При изыскании ЛЭП необходимо принимать во внимание так называемые *габариты приближения проводов*, т.е. допустимые кратчайшие расстояния между наинизшей точкой натянутого провода (при тах стреле провеса) и поверхностью земли или сооружений, расположенных под линией.

Для линий с напряжением 110-220 квт допустимая величина габарита равна:

- а) до поверхности земли 6-7 м; в населенных местах 7-8 м;
- б) до покрытия автодорог 7-8 м; до головки рельсов ж/д 7,5-8,5 м;
- в) до поверхности высоких вод в судоходных и сплавных реках и каналах 6-7 м;
- г) до надземных трубопроводов 4-5 м;
- д) до проводов других высоковольтных линий или линий связи 3-4 м.

Наименьшее горизонтальное проложение от крайних проводов ЛЭП до ближайших частей зданий и сооружений должно быть не менее 10-15 м. Это расстояние в обе стороны от крайних проводов создает так называемую охранную зону, в пределах которой без разрешения Управления энергосистемы запрещается вести строительные работы, разрабатывать карьеры и т.д.

*Начальным пунктом ЛЭП* обычно является гидроэлектростанция или теплоэлектроцентраль, *конечным пунктом* – крупный промышленный центр.

Задача изысканий заключается в том, чтобы между этими заданными пунктами выбрать наиболее короткую трассу, расположенную в благоприятных

топографических и геологических условиях, строительство которой потребует наименьшие затраты.

При выборе трассы стремятся, чтобы она приближалась к прямолинейной и имела минимальное число углов поворота; эти углы надо выбирать по возможности не большими  $15-20^\circ$ . При этом трассу следует приближать к существующим путям сообщения, чтобы использовать их при строительстве и эксплуатации линии и тем самым уменьшить расходы на постройку дорог.

По возможности трассу направляют по пологой, слабо пересеченной местности, избегая болот, горных участков, крупных лесных массивов, чтобы не сооружать специальных фундаментов и высоких опор, не рубить широких просек и тем самым увеличивать стоимость строительства.

В предгорных участках и сильно пересеченной местности трассу следует располагать на незатопляемых террасах долин и устойчивых склонах, а не на вершинах водоразделов, чтобы уменьшить воздействие на линию грозových явлений и ветров.

Пересечение трассой дорожных магистралей выбирают в местах, где дорога проходит в выемках с целью уменьшения высоты опор.

Желательно, чтобы трасса как можно меньше пересекала водотоки, ущелья, инженерные сооружения. Места пересечений с водотоками выбирают на прямолинейных участках реки с высокими устойчивыми берегами и узкой поймой.

В техническом задании на изыскания ЛЭП обычно указывают конечные пункты трассы, основные габаритные расстояния, величины анкерных пролетов и т.д. На основании этих данных по топокартам намечают предварительные варианты трассы, производят технико-экономическое сравнение их и выбирают наиболее удачные для полевого обследования.

В процессе предварительных изысканий обследуют на местности общие топографические и геологические условия вдоль намеченных вариантов и выявляют преимущества и недостатки.

Одновременно обследуют существующую вдоль трассы плановую и высотную геодезическую основу и несколько обновляют имеющуюся на данный район топографические карты.

Полуинструментальным путем или глазомерно наносят на карту новые ЛЭП и линии связи, попадающие в зону влияния проектируемой ЛЭП, также новые дороги, сооружения.

Во время предварительных изысканий инструментальные геодезические работы проводятся в редких случаях и лишь для решения особо важных задач.

По материалам предварительных изысканий составляют проектное задание, в котором окончательно выбирают тот или другой вариант трассы.

### **Окончательные изыскания ЛЭП.**

При окончательных изысканиях ЛЭП принятый вариант переносят на местность, закрепляют, производят по нему подробные топографо-геодезические работы и детальные инженерно-геологические обследования.

*Полевое трассирование ЛЭП* начинают с рекогносцировки местности, в процессе которой определяют положение вершин углов поворота трассы и намечают способы перенесения трассы в натуру.

В отличие от других трасс ЛЭП состоит только из прямых участков, без кривых, с поворотами в вершинах углов. Поэтому углы поворотов должны выбираться в местах, удобных для сооружения опор, т.е. геологически устойчивых. При этом надо иметь в виду, что на углах поворота величиной до  $5^\circ$  устанавливают обычные анкерные опоры; на поворотах с углами более  $5^\circ$  устанавливают специальные угловые опоры, которые значительно сложнее и дороже.

Если имеется видимость между соседними угловыми точками, трассу переносят в натуру при помощи прямого визирования; при этом намечают ряд створных точек, между которыми в дальнейшем провешивают и измеряют линии.

Однако т.к. расстояние между углами поворота достигает 15-20 км и более, то прямой видимости между ними может не быть и для разбивки трассы на местности необходимо предварительно определить ее направление.

Если вблизи трассы расположены пункты триангуляции или полигонометрии, то, привязав к ним вершины углов поворота определяют их координаты, а по ним и направление с вершины одного угла на вершину другого.

Створные точки выбирают в пределах прямой видимости, но не реже чем через 1 км. Углы поворота и створные точки закрепляют столбами и измеряют между ними расстояние, а также расстояние от закрепленных точек до пересекаемых трассой инженерных сооружений, берегов рек и озер, бровок оврагов.

Трассирование линий проводят обычным порядком. Т.к. кривые на трассе отсутствуют, то пикеты разбивают между углами поворота без учета домера. Отметки поверхности земли по трассе ЛЭП необходимы для того, чтобы по ним запроектировать такую высоту опор, при которой в любой точке пролета были бы выдержаны требуемые габариты. Ошибка определения отметок земли более  $\pm 25$  см. не допускается.

Для обеспечения необходимой точности трассу ЛЭП привязывают в высотном отношении к пунктам государственной или ведомственной нивелирной сети не реже чем через 60-80 км.

На косогорах с наклоном местности 0,2 на каждом пикете нивелируют поперечники длиной 5-8 м в каждую сторону.

В горной местности определяют отметки характерных точек рельефа в полосе 50м. через 8-10 км устанавливают на трассе ж/б или деревянные реперы.

В отличие от дорожных трасс и трасс трубопроводов, где разбивка пикетажа необходима не только для составления проектной документации, но и как основа для перенесения проекта в натуру, на трассах ЛЭП наличие на местности пикетов через 100 м особой роли не играют. Продольные профили можно составлять по плюсовым точкам.

В связи с этим при трассировании ЛЭП взамен разбивки пикетов через 100 м можно закреплять только характерные точки рельефа и точки пересечений с контурами.

В результате *окончательных изысканий* ЛЭП составляют план трассы в масштабе 1:25000 и продольный профиль в масштабе 1:5000; план и профили пересечений с существующими сооружениями и препятствиями, планы

подходов к подстанциям, площадок монтерских пунктов и ремонтных баз – в масштабе 1:1000.

## **Лекция 2. Трассирование. Содержание работ. Полевые материалы. Обработка материалов трассирования. Составление ведомости прямых и кривых**

*Элементы трассы.* Т р а с с о й называется ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности, нанесенная на топографическую карту и фотоплан или заданная координатами основных точек в цифровой модели местности.

Основными элементами трассы являются: п л а н — ее проекция на горизонтальную плоскость и п р о д о л ь н ы й п р о ф и л ь — вертикальный разрез по проектируемой линии.

Трасса представляет собой сложную пространственную линию. В плане она состоит из прямых участков разного направления, сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми постоянного и переменного радиуса кривизны.

В продольном профиле трасса состоит из линий различного уклона, соединяющихся между собой вертикальными кривыми. На ряде трасс (электропередач, канализации) горизонтальных и вертикальных кривых не проектируют, и трасса представляет собой пространственную ломаную линию.

Так как уклоны трасс обычно небольшие, то для наглядности их изображения вертикальный масштаб продольного профиля обычно делают в 10 раз крупнее горизонтального (например, горизонтальный масштаб 1 : 10 000, вертикальный— 1 : 1000).

Для характеристики местности и проектируемого линейного сооружения в направлениях, перпендикулярных к трассе, составляет п о п е р е ч н ы е п р о ф и л и в одинаковом горизонтальном и вертикальном масштабах (1 : 100 и др.).

*Категории трасс.* По топографическим условиям прохождения на местности различают трассы долинные, водораздельные, косогорные, поперечно-водораздельные.

Д о л и н н а я т р а с с а (рис. 2.1, I) укладывается на одной из надпойменных террас долины. Она обычно имеет спокойный план и профиль, но пересекает большое число водотоков и требует возведения дорогостоящих переходов, что сильно увеличивает ее стоимость. Иногда от долинной трассы приходится отказываться из-за неблагоприятных геологических условий.

В о д о р а з д е л ь н а я т р а с с а (рис. 2.1, IV) идет по наиболее высоким отметкам местности. В плане трасса сравнительно сложна, но объемы работ небольшие, искусственных сооружений мало, геологические условия благоприятные. Это выгодно отличает водораздельную трассу, особенно в равнинных и среднепересеченных районах. Однако в холмистой местности водоразделы часто бывают узкие и извилистые, поэтому трассу приходится крайне усложнять, что в значительной степени уменьшает ее преимущества перед другими категориями трасс.



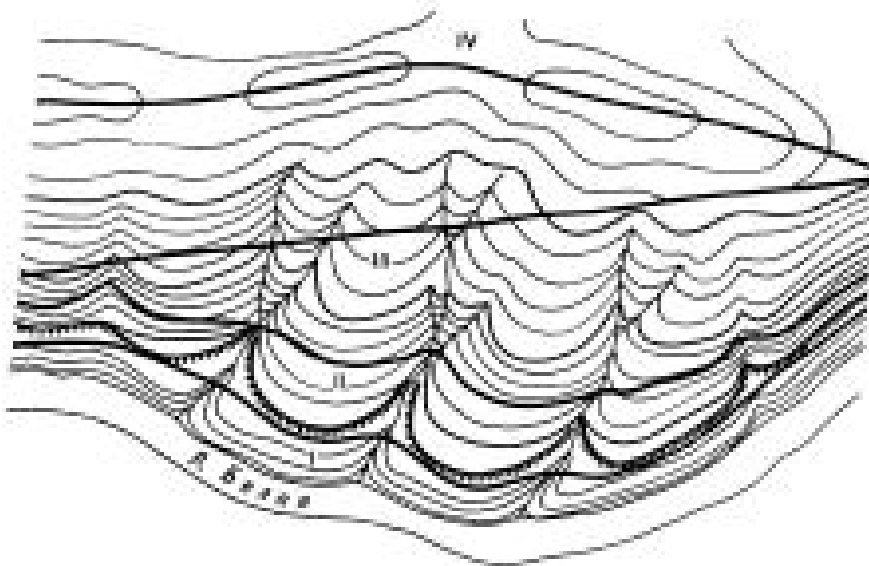


Рис.2.1

**К о с о г о р н а я т р а с с а** (рис. 2.1, II) располагается на склонах гор. Она может быть запроектирована с очень плавным уклоном, но обычно весьма извилиста в плане, с большим количеством переходов. Здесь часто встречаются обвалы, осыпи, селевые потоки, которые затрудняют эксплуатацию линии.

**П о п е р е ч и о - в о д о р а з д е л ь н а я т р а с с а** (рис. 2.1, III) пересекает долины и водоразделы. В плане трасса близка к прямой; в продольном профиле часто встречаются затяжные предельные уклоны; приходится строить с сложные переходы. Это наиболее дорогостоящая трасса.

На практике редко бывают случаи, чтобы магистральная трасса располагалась вдоль долины или целиком шла по водоразделу. Обычно в зависимости от характера местности сочетаются различные категории трасс.

*Параметры трассирования.* Трасса должна удовлетворять определенным требованиям, которые устанавливаются техническими условиями на ее проектирование. Задаются наибольшие или наименьшие продольные уклоны, минимально допустимые радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, габариты приближений и др.

Комплекс инженерно-изыскательских работ по выбору трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на ее возведение и эксплуатацию, называется **т р а с с и р о в а н и е м**. Оптимальную трассу находят путем технико-экономического сравнения конкурирующих вариантов.

Если трасса определяется по топографическим планам, аэрофотоматериалам и цифровым моделям местности, то трассирование называют **к а м е р а л ь н ы м**; если она выбирается непосредственно на местности, то **п о л е в ы м**.

При трассировании различают **п л а н о в ы е** параметры: углы поворота, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки и **в ы с о т н ы е** (профильные) параметры: продольные уклоны, длины элементов в профиле («шаг проектирования»), радиусы вертикальных кривых. Для одних сооружений (самотечные трубопроводы, каналы) наиболее важно выдержать высотные параметры (продольные уклоны). Для других (напорные

трубопроводы, линии электропередач и связи) уклоны местности мало влияют на проект трассы и ее стремятся выбрать наиболее короткой, расположенной в благоприятных условиях.

Сложными для трассирования являются дорожные трассы, требующие соблюдения и плановых, и профильных параметров. Независимо от характера линейных сооружений и параметров трассирования, все трассы должны удачно вписываться в ландшафт местности и не нарушать природной эстетики. По возможности трассу располагают на землях, которые имеют наименьшую ценность для народного хозяйства.

*Трассирование* в равнинной местности. Положение трассы в равнинных районах определяется к о н т у р н ы м и п р е п я т с т в и я м и , т. е. ситуацией. Так как средний уклон местности здесь меньше допустимого проектного уклона, то в высотном отношении трассу ведут « в о л ь н ы м ходом», определяя проектную линию по характерным точкам местности вдоль намеченного направления. В плане стремятся иметь прямую трассу, ведя трассирование по заданному направлению («азимуту стремления»). Однако встречающиеся препятствия в виде водотоков, болот, больших оврагов, а также населенные пункты, ценные сельскохозяйственные угодья и др. заставляют отклонять трассу АВ в ту или иную сторону. Каждый угол поворота Q дает некоторое удлинение трассы.

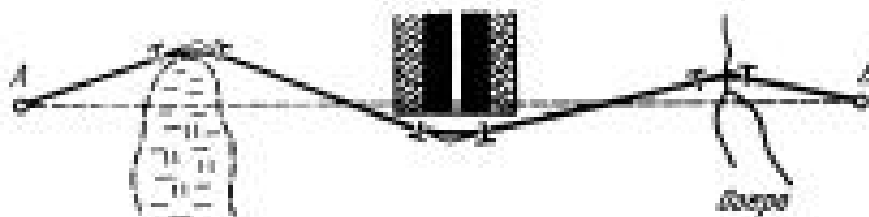


Рис.2.2

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

1) трассу прокладывать по прямой от одного контурного препятствия к другому (рис.2.2). Необходимость отклонения трассы от прямой и назначения угла поворота должна быть обоснована;

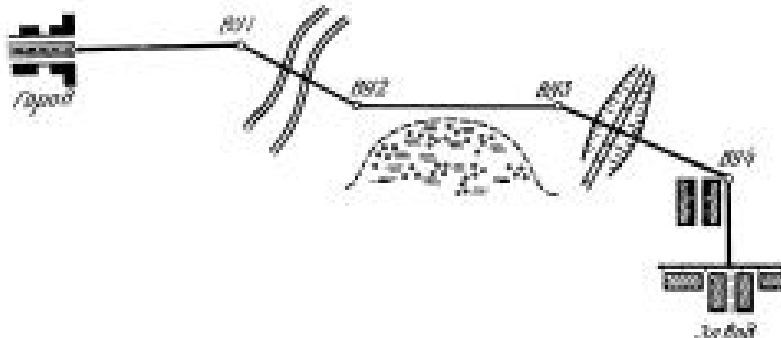


Рис.2.3

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

3) углы поворота стремиться иметь по возможности не более 20—30°, чтобы заметно не удлинять трассу.

Однако на местности со сложной ситуацией положения углов поворота часто определяются условиями наивыгоднейшего пересечения или обхода препятствия. Пример такого участка трассы приведен на рис. 2.3. Угол поворота  $BV1$  определяется пересечением продолженной оси улицы и оси выбранного мостового перехода через реку. Угол  $BV2$  определяется пересечением оси мостового перехода с направлением выбранного обхода заболоченного и покрытого лесом массива. Угол  $BV3$  находится из условий выгодного пересечения существующей железнодорожной магистрали и т. д.

*Трассирование в горной местности.* Положение трассы в горных районах определяется высотными препятствиями, т. е. рельефом. Так как уклоны горной местности значительно превосходят допустимые уклоны трассы, то трассирование здесь ведется «напряженным ходом», когда каждая линия задается предельным уклоном. Чтобы выдержать этот уклон, приходится удлинять трассу, отклоняя ее на большие углы от прямой, или, как говорят, производить развитие проектируемой линии. Поэтому в горных условиях трасса в плане имеет, как правило, весьма сложную конфигурацию.

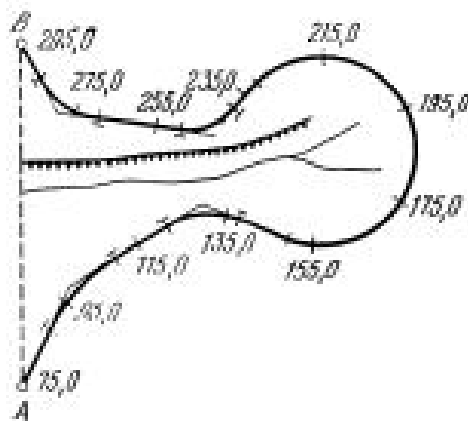


Рис.2.4

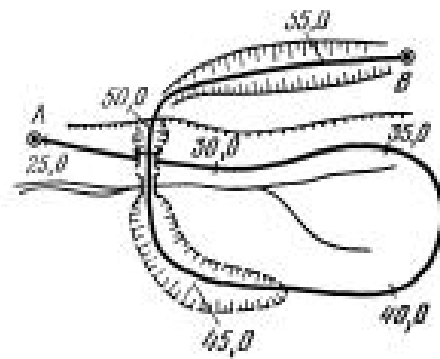


Рис.2.5

В зависимости от характера местности применяют различные приемы развития линии. Если требуемое удлинение трассы невелико, то развитие линии происходит путем замены прямолинейного направления на S-образное, называемое и з в и л и н о й. Для значительного удлинения трассы применяют более сложные кривые в виде п е т л ь с заходом в боковую долину (рис. 2.4), спиралей, когда трасса, постепенно поднимаясь по высоте, пересекает себя в другом уровне (рис. 2.5). На автомобильных трассах для развития линии устраивают с е р п а н т и н ы.

Таким образом, при трассировании в горных условиях требуется соблюдение следующих правил:

1) трассу вести предельным уклоном, придерживаясь так называемой линии нулевых работ. Уклон уменьшать (или делать равным 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.

### **Полевое трассирование.**

В задачу полевого трассирования входят:

1. выбор и закрепление окончательного положения трассы на местности;
2. производство геодезических работ для составления проекта дороги: плана, продольного и поперечного профилей, подсчета объема земляных работ и т.д.

В открытой и сравнительно ровной местности трассирование выполняют при помощи теодолита, т.е. в заданном направлении отыскивают в натуре линию, естественный уклон которой примерно равен или меньше руководящего уклона трассы.

Для этого устанавливают теодолит в начальной точке трассы и придают визирной оси трубы наклон, равный руководящему уклону. Чтобы придать визирной оси такое положение, выражают руководящий уклон в градусной мере и устанавливают найденную величину на вертикальном круге.

Затем, поворачивая алидаду по азимуту и наблюдая в трубу, в желаемом направлении выбирают на местности линию, вдоль которой и укладывают трассу.

В резко пересеченной местности уклоны часто меняются, поэтому выгоднее применять ход по линии нулевых работ. Этот прием состоит в том, что на местности предварительно отбивают линию нулевых работ. Затем, сообразуясь с этой линией, укладывают в натуре трассу.

Для отыскания линии нулевых работ устанавливают на вертикальном круге предельный уклон трассы. Отмечая на рейке высоту инструмента, отыскивают примерно в направлении проектируемой трассы наиболее удаленную точку, на которой отсчет по рейке равен высоте инструмента. На найденную точку переходят с теодолитом. Все точки закрепляют вехами. В соответствие с техническими условиями укладывают трассу, располагая ее как можно ближе к этой линии.

*Полевые геодезические работы* начинаются с тщательной рекогносцировки местности, которая ведется по мере продвижения участками по 10-20 км.

Расположение трассы на местности определяется положением углов поворота. Обычно стремятся иметь минимальное число углов поворота.

Углы поворота трассы измеряют одним приемом ТЗ0. Углы поворота трассы  $\varphi$  определяют как дополнение углов поворота хода до  $180^\circ$ .



В журнале рядом с величиной угла указывают направление поворота трассы: вправо или влево

При измерении углов определяют прямые и обратные магнитные азимуты сторон трассы. Они не должны отличаться между собой более чем на  $0,2-0,3^\circ$ .

*При трассировании выполняют два вида линейных измерений:*

1. Первый – измеряют линии между вершинами поворота трассы. При угле наклона местности  $> 2^\circ$  в результате измерений вводят поправки за наклон.

В средних условиях относительная ошибка линейных измерений не должна превышать  $1/1500 - 1/2000$ .

Второй вид – служит для разбивки пикетов, плюсовых точек и поперечников, а также для промеров до важнейших элементов ситуации, расположенных вблизи трассы.

Пикеты разбивают через каждые 100м. Кроме пикетов, в натуре отмечают *плюсовые точки*, т.е. характерные перегибы местности и границы пересекаемой трассой ситуации; при этом расстояние от пикетов до плюсовых точек на перегибах рельефа определяют с точностью до метра, а до точек ситуации – с точностью до сантиметра.

Непосредственно в процессе разбивки пикетажа вводятся *поправка* за наклон местности, если он превышает максимально допустимый уклон для данной категории дорог (ж/д –  $1,5^\circ$ , а/д I-III категория  $2-3^\circ$ , IV-V  $4-5^\circ$ ).

Поправка за наклон вводится со знаком «+», т.к. расстояние между пикетами на полотне будущей дороги должно равняться 100м.

### **Нивелирование.**

По пикетажу дорожной трассы и поперечникам, а также по всем установленным постоянным и временным реперам производят *техническое нивелирование*.

Постоянные ж/б реперы обычно устанавливают одновременно с разбивкой пикетажа через каждые 25 км, а также в местах пересечения существующих магистралей, вблизи больших мостовых переходов, тоннелей.

Примерно через 2 км дополнительно устанавливают временные реперы (деревянные столбы 2м), а также низ срубленных деревьев, цоколи зданий, опоры.

Нивелирование производят в два нивелира. Первый является основным; им нивелируют все пикетные и плюсовые точки, геологические выработки, постоянные и временные реперы. Вторым нивелируют для контроля только реперы, связующие пикеты, а также поперечники.

*Километровые пикеты* и реперы обязательно нивелируют как связующие точки обоими нивелирами.

Нормальное расстояние от нивелира до рейки считают 100-150м.

При полевом трассировании производят съемку в крупном масштабе (1:500-1:2000) некоторой полосы вдоль трассы или отдельным участкам.

На косогорах производят съемку поперечников для составления поперечных профилей дороги и подсчета объемов земляных работ; в населенных пунктах снимают значительную полосу для того, чтобы наметить расположение трассы, водоотвода, решить вопрос о сносе строений и др.

В равнинной местности, а также в закрытой сильно пересеченной местности основным методом съемки рельефа является нивелирование по поперечникам. В пересеченной и горной съемку производят тахеометрическим методом.

Для вычисления координат вершин углов поворота и абсолютных отметок пикетов трассу привязывают в начале, в конце и через определенные промежутки в середине к пунктам триангуляции или полигонометрии и к реперам или маркам нивелирной сети.

Данные привязки используют:

1) для повышения точности определения координат и отметок точек трассы, для контроля и оценки точности проведенных геодезических работ.

2) для составления плана и профиля трассы в государственной системе координат и абсолютных отметок.

### **Обработка материалов трассирования. Составление ведомости прямых и кривых.**

Ежедневно по мере продвижения вперед материалы трассирования обрабатываются на полевой базе: проверяют полевые журналы, увязывают нивелирные и теодолитные ходы, вычисляют отметки и координаты точек трассы, составляют планы и профили пройденных участков и т.д. Эти материалы дают возможность судить о качестве намеченной трассы и о точности проведенных геодезических работ.

На основании этих данных составляют ведомость прямых и кривых (табл.). В эту ведомость заносят: номера углов поворота, их пикетажные наименования, величину углов; принятый для каждого закругления радиус и вычисленные элементы кривых, а также пикетажное наименование начала и конца кривых. Заносят также прямые вставки, которые вычисляют как разности пикетажных наименований начала кривой последующего угла поворота и как предыдущего угла поворота и расстояние между вершинами углов, полученные по разности пикетажных наименований соседних вершин с прибавлением домера предыдущей кривой.

Против каждой прямой записывают ее дирекционный угол и румб согласно ведомости вычисления координат. В последние графы ведомости заносят абсциссы и ординаты углов поворота.

Контролем правильности составления ведомости является следующее:

1. разность между удвоенной суммой тангенсов и суммой кривых должна равняться сумме домеров, т.е.

$$2\sum T - \sum K = \sum D$$

2. разность между суммой правых и суммой левых углов поворота должна равняться разности дирекционных углов конечной и начальной стороны трассы

$$\sum \varphi_{прав} - \sum \varphi_{лев} = \alpha_n - \alpha_1$$

3. сумма прямых вставок  $P$  плюс сумма кривых  $K$  должна равняться длине трассы  $L$  (КТ-НТ). Этой же длине должна равняться разность между суммой расстояний  $S$  между вершинами углов поворота и суммой домеров  $D$ :

$$\sum P + \sum K = \sum S - \sum D = L$$

На пройденные участки трассы ежедневно составляют продольные профили в горизонтальном масштабе 1:5000 или 1:10000 и вертикальном в 10 раз крупнее.

На профиль наносят примерное положение красной линии, которое впоследствии уточняется. В характерных местах строят поперечные профили в масштабе 1:100.

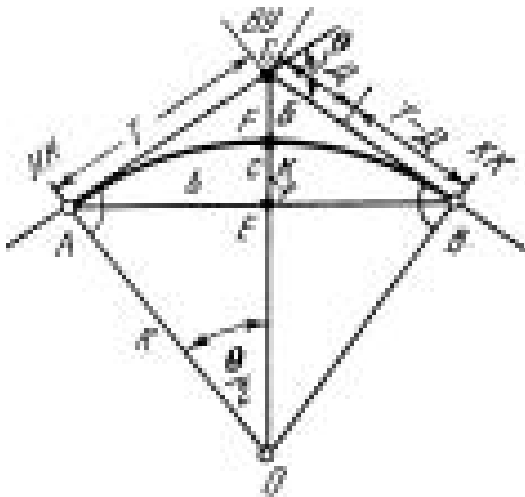
План трассы составляют в масштабе 1:5000 или 1:10000 по координатам углов поворота или азимутам и длинам сторон. Кроме ситуации, снятой вдоль трассы, начало и коней кривых, километры и характерные пикеты. На закруглениях подписывают элементы кривых, на прямых вставках – их длину и азимуты или румбы.

Полевые журналы и все вычисления должны быть обработаны в две руки.

### Лекция 3. Закрепление оси трассы. Круговые кривые. Основные элементы. Мостовые переходы. Определение длины мостовых переходов

При подходе к углу поворота производят *вставку кривой* и пикетаж считают по кривой.

По измеренному углу  $\varphi$  и назначенному радиусу закругления  $R$  при помощи таблиц определяют элементы кривой:  $T$ ,  $K$ ,  $B$ ,  $D$ .



Т.к. в точках  $A$  и  $B$  круговой кривой касательные  $AC$  и  $BC$  перпендикулярны направлению  $R$ , то центральный угол  $AOB$  равен углу поворота  $\alpha$ , линия  $CO$  биссектрисой этого угла.

Из прямоугольного  $\Delta AOC$

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad K = \frac{2\pi R \alpha}{360^\circ}$$

$$B = OC - OF = \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R \quad \text{или} \quad B = R \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right)$$

$$D = 2T - K$$

Затем подсчитывают пикетажное наименование НК и КК:

$$НК = ВУ - T$$

$$КК = НК + K \quad \text{Контроль: } КК = ВУ + T - D$$

*Начало кривой* на местности находят путем откладывания от вершины угла в обратном направлении величину тангенса  $T$ .

Для дальнейшей разбивки пикетажа по новому направлению от вершины угла откладывают домер, при этом считают что конец домера имеет тот же пикетаж, что и вершина угла. От конца домера откладывают расстояние, являющееся дополнением до целого пикета, в том числе и конец кривой.

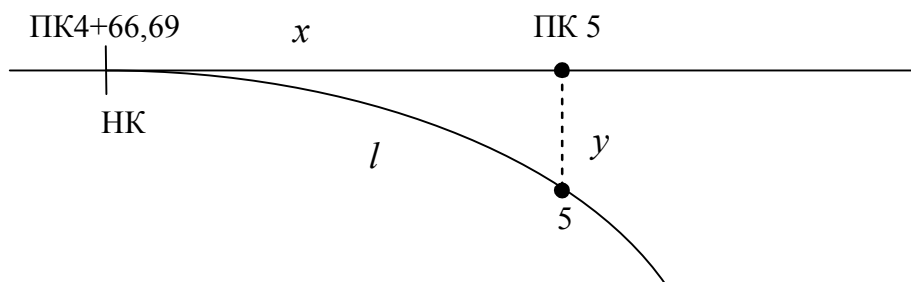
Для нахождения на местности *середины кривой*, измеренный угол делят пополам и по этому направлению откладывают длину биссектрисы.

$$СК = НК + 0,5K$$

$$СК = КК - 0,5K$$

Если в средней части кривой трасса попадает на препятствие, которое желательно обойти, то необходимо изменить радиус, увеличив или уменьшив его. Для этого величину биссектрисы измеряют не местности, при которой трасса обходит препятствие и наиболее удачно вписывается в рельеф и ситуацию. По биссектрисе и углу поворота находят в таблице величину ближайшего радиуса, а по нем новые элементы кривой, по которым она вновь разбивается.

Вынос пикетов на кривую производят известным способом разбивки кривых ординатами от тангенсов.



Вынос пикета на кривую

Для характеристики поперечного уклона местности разбивают поперечники в обе стороны от трассы на 15-20 м и более в зависимости от характера склона. Поперечники назначаются на таком расстоянии один от другого, чтобы местность между ними имела однородный уклон. Если уклон более  $0,2$  ( $11^\circ$ ), то поперечники следует разбивать на всех пикетах и плюсовых точках.

Одновременно с разбивкой пикетажа ведется пикетажный журнал.

Ситуацию вдоль трассы снимают на 25 м по обе стороны от оси инструментально, в остальной части полосы – полуинструментально. Результат заносят в пикетажный журнал с указанием линейных промеров.

Намеченная на местности дорожная трасса тщательно закрепляется, чтобы перед строительством ее легко можно было найти и восстановить.

Пикетные точки закрепляют кольями длиной 25-30м. Особо важные точки (НК и КК, вершины углов поворота) дополнительно закрепляют столбами 1,5-2 м.

*Мостовые переходы* закрепляют 2-3 столбами по оси на каждом берегу. Один из столбов устанавливается непосредственно на берегу, второй – на границе затопления высоких вод.

*На углах поворота* столбы обычно ставят с внешней стороны углы по направлению биссектрисы на расстоянии около 1м от закрепленной колом вершины.

Кроме закрепления столбами, начальную и конечную точку трассы, а также углы поворота привязывают к местным предметам и составляют абрис их местоположения.

### **Мостовые переходы. Определение длины мостовых переходов**

Состав работ. Переход большого водотока представляет собой сложное инженерное сооружение (рис. 34), состоящее из моста  $l$ , включающего опоры и



пролетное строение; подходов к мосту - земляных дамб 2; системы регуляционных устройств 3, предназначенных для плавного и безопасного пропуска водного потока.

Проект мостового перехода разрабатывается на основе материалов комплексных изысканий, в процессе которых изучают топографические и инженерно-геологические условия района перехода, гидрологический режим реки.

В состав работ при изысканиях больших мостовых переходов входят:

1. Топографо-геодезические работы: а) трассирование вариантов, выбор места перехода, закрепление; б) составление ситуационного (генерального) плана района перехода, съемка детального плана с промерами глубин; в) определение длины мостового перехода, привязка опор к пикетажу трассы; г) построение плановой разбивочной основы; д) создание высотной основы, передача высоты через водоток.

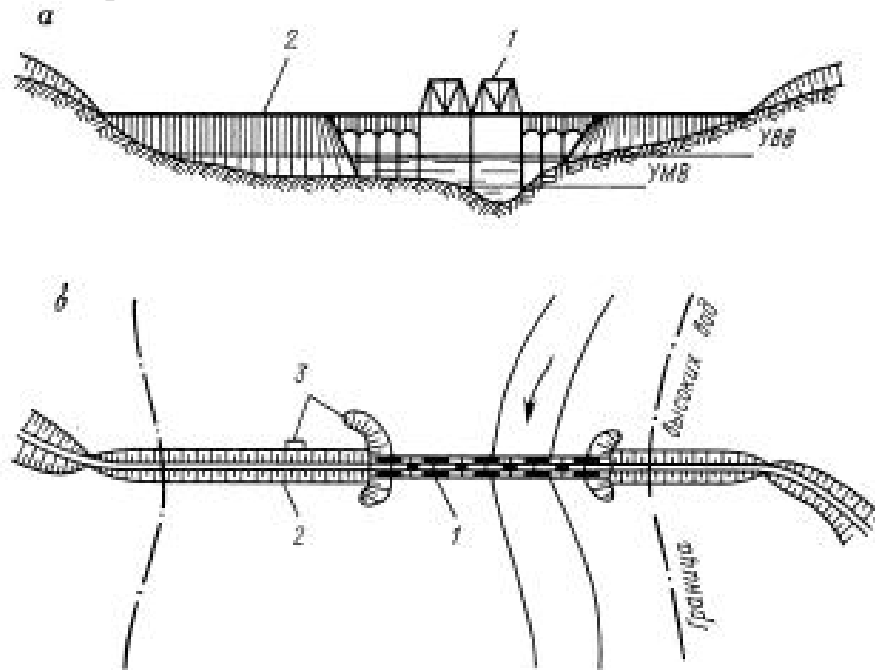


Рис. 34. Мостовой переход:  
а — разрез по оси; б — план перехода

2. Инженерно-геологические изыскания:

а) крупномасштабная инженерно-геологическая съемка района перехода; б) детальная геологическая разведка места перехода, составление геологического профиля; в) разведка карьеров строительных материалов.

3. Гидрометрические измерения: а) определение высот характерных уровней воды; б) измерение скоростей течения, направления струй; в) определение живого сечения, уклонов, расходов водотока; г) наблюдения на морфометрических створах.

Выбор места мостового перехода. Важнейшей задачей изысканий является выбор места мостового перехода. Выбранный мостовой переход должен хорошо увязываться с общим направлением трассы и удовлетворять следующим требованиям.

1. Ось перехода должна располагаться нормально к направлению течения, причем участок реки в месте перехода должен быть по возможности прямолинейным, с параллельным направлением течения в главном русле и на

пойме, неизменным в течение ряда лет при различных уровнях воды. Желательно, чтобы отклонение оси мостового перехода от нормали к направлению течения не превышало  $10^\circ$ , а на судоходных и сплавных реках-  $5^\circ$ . Однако если это приводит к большому излому трассы, то допускают косое пересечение, которое учитывается при расчете отверстия моста, проектировании опор и регуляционных сооружений.

2. Трасса должна пересекать реку в самой узкой и возвышенной части поймы, на участке, где нет рукавов, отмелей и по возможности островов, вдали от перекатов, избегая мест с крутыми поворотами русла.

3. Место перехода должно иметь благоприятные геологические условия, по возможности с неглубоким залеганием коренных пород и пологим рельефом на берегах. Русло реки должно быть устойчивым и не меняться с течением времени. Следует избегать мест с оползневыми и карстовыми явлениями, с мокрыми косогорами, а на пойме- с озерами и староречьями.

На основании изучения материалов перехода и опыта эксплуатации существующих на водотоке мостов выбирают оптимальный вариант перехода, который закрепляют на обоих берегах и на подходах железобетонными знаками с определением пикетажного значения точек крепления.

**М а л ы е п е р е х о д ы.** Малые водопропускные сооружения могут быть размещены при любых сопряжениях элементов плана и профиля дороги. Их также стремятся расположить перпендикулярно к направлению водотока, однако при этом не следует сильно искривлять трассу. Часто бывает выгоднее при пересечении малых водотоков устроить новое искусственное русло, перпендикулярное к трассе, или применить косую укладку труб вдоль естественного тальвега, не искривляя дороги.

Иногда можно перенести малое водопропускное сооружение с низкой точки тальвега несколько выше по склону, где более благоприятные условия для строительства моста или трубы, и к этому месту подвести с обеих сторон новое русло водотока, засыпав старое.

Для расчета малого водопропускного сооружения при производстве изысканий необходимо установить: 1) водосборную площадь водотока (бассейн), 2) длину бассейна и средний уклон тальвега или русла, 3) продольный уклон русла непосредственно у сооружения, 4) поперечный профиль водотока на месте перехода. Кроме того, надо собрать сведения о залесённости и заболоченности бассейна, впитываемости грунтов и др.

Водосборная площадь определяется по имеющимся на данную территорию картам наиболее крупного масштаба. По горизонталям наносят водораздельную линию и планиметром измеряют площадь бассейна. Наличие материалов аэрофотосъемки дает возможность определить водосборную площадь по фотопланам или фотосхемам, причем водораздельная линия и тальвег намечаются при стереоскопическом рассматривании аэрофотоснимков.

На планах бассейнов выделяют бессточные участки и намечают главный тальвег, по которому протекает основная масса воды. По этому тальвегу измеряют длину бассейна от проектируемого водопропускного сооружения до водораздельной линии и определяют по горизонталям или нивелированием на местности средний уклон тальвега.

В месте перехода водотока перпендикулярно к трассе составляют подробный поперечный профиль и определяют уклон русла на протяжении примерно 200 м вверх и 100 м вниз по течению от места перехода. Все работы в плановом и высотном отношениях привязываются к пикетажу основной трассы.

При проектировании мостового перехода необходимо знать расстояние между двумя исходными пунктами перехода, расположенными на противоположных берегах в незатопляемых местах. Это расстояние, называемое длиной мостового перехода, используется для аналитической привязки проекта мостовых сооружений к исходным пунктам и пикетажу трассы.

Точность измерения в натуре длины  $L$  мостового перехода определяется необходимой точностью построения моста. Как известно, общая длина моста (рис. 35)

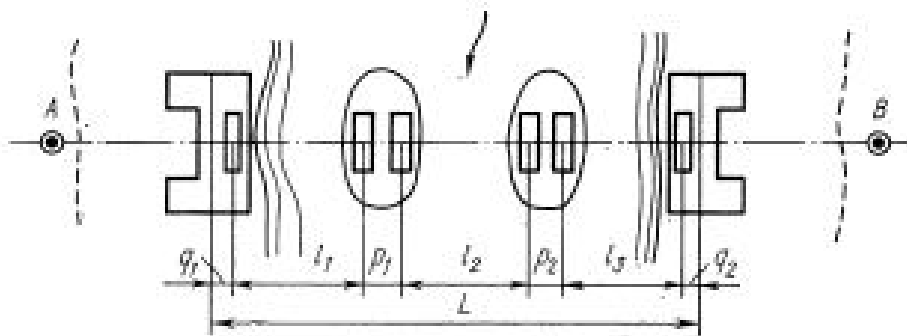


Рис. 35. Длина мостового перехода

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i=1}^{n-1} p_i + (q_1 + q_2).$$

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

Рассчитаем необходимую точность измерения длины мостового перехода в зависимости от требуемой точности соблюдения величин  $l$ ,  $p$  и  $q$ .

При независимом порядке отложения этих величин

$$\delta_L^2 = \sum_{i=1}^n \delta_{l_i}^2 + (n-1) \delta_p^2 + 2\delta_q^2$$

где  $\delta l = l/T$  — допускаемая ошибка разбивки опор и монтажа пролетного строения (для сложных по конструкции мостов согласно СНиП принимают  $\delta l = 1/10\,000$ , для простых мостов  $\delta l = 1/6000$ ),  $\delta p$  — продольная ошибка взаимного положения двух смежных опорных частей. Так как опорные части разбивают от центра мостовой опоры и ошибка установки каждой из них допускается 5 мм, то можно принять  $\delta p = 0,5 \sqrt{2}$  см;  $\delta q$  — ошибка отложения расстояний  $q$  (5 мм).

При использовании параллактической полигонометрии базис располагают по возможности посередине реки (на острове, на льду), создавая наиболее точное симметричное звено (рис. 36, а). В этом случае длина линии  $AB = s$  определяется по формуле

$$s = (b/2) (\operatorname{ctg} \varphi_1/2 + \operatorname{ctg} \varphi_2/2)$$

На больших реках для измерения длины мостового перехода применяют сложное звено (рис. 36, б). Здесь длина большого базиса  $CD = l$  определяется посредством вспомогательного ромбического звена, в котором непосредственно измеряют базис  $b$ . Длина мостового перехода  $AB=s$  вычисляется по формуле

$$s = (b/4) (\operatorname{ctg} \varphi_1/2 + \operatorname{ctg} \varphi_2/2) \operatorname{ctg} \psi/2.$$

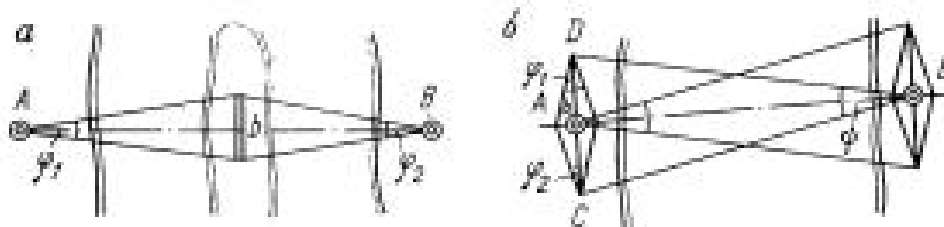


Рис. 36. Определение длины мостового перехода методом короткобазисной полигонометрии:

а — простое ромбическое звено; б — сложное звено

Для более надежного определения длины мостового перехода такие звенья строят на двух берегах и расстояние  $s$  получают дважды, что служит хорошим контролем и повышает точность работы. В качестве базиса обычно используют 24- или 48-метровые пролеты, измеряемые инварной проволокой.

#### Лекция 4. Вынос трассы на местность. Восстановление оси трассы.

##### Перепроектирование трассы

Непосредственно перед началом строительных работ проводят восстановление трассы. В состав работ по восстановлению трассы входят: 1) инструментальное восстановление пикетажа с контрольным промерам 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.

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

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

При обнаружении значительных расхождений направление трассы на местности не изменяют, а исправляют значение проектного угла поворота и пересчитывают по исправленному углу все элементы кривых.

Затем приступают к контрольному измерению линий с разбивкой пикетажа. Пикеты и точки пересечения трассой водотоков и магистралей устанавливают в створе при помощи теодолита. При этом стараются не допускать сплошной передвижки старого пикетажа. При обнаружении промахов в линейных измерениях или при значительном накоплении ошибок делают неправильные (рубленные) пикеты, т. е. пикеты, не равные 100 м. Это необходимо для того, чтобы в дальнейшем восстанавливаемый пикетаж по возможности был ближе к пикетажу, разбитому при трассировании, по которому составлялся проектный продольный профиль. В противном случае рабочие отметки, данные в проекте, не будут соответствовать натуре.

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

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

Углы поворота обычно прочно закрепляют при трассировании. Если это крепление повреждено, его возобновляют. В случае, когда вершина угла попадает в зону земляных работ, ее закрепляют двумя знаками на продолжении сторон. Дополнительные углы, оси мостов, труб и пересечений, а также четные пикеты - крепятся створной плоскостью; перпендикулярной к оси трассы.

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

Одновременно с закреплением трассы для удобства обслуживания строительных работ сгущают сеть рабочих реперов с таким расчетом, чтобы на 4-5 пикетов трассы был один репер.

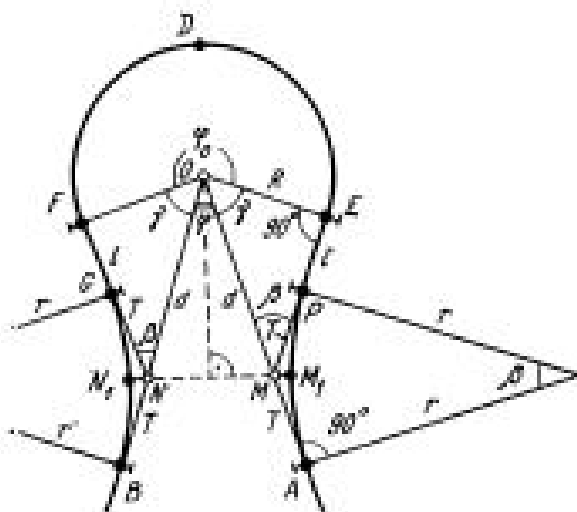
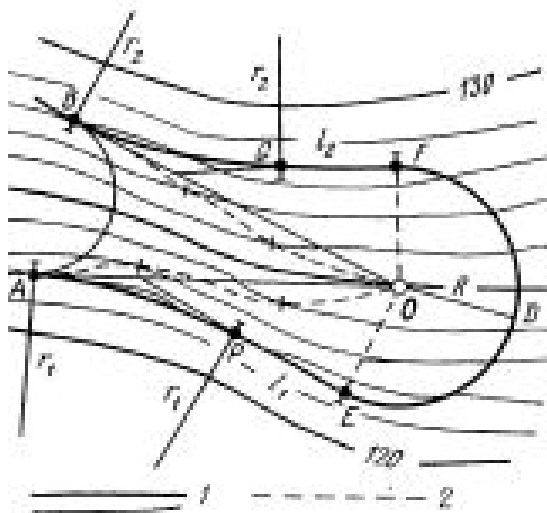
В качестве реперов стремятся использовать различные местные предметы, устойчивые по высоте, и знаки крепления, установленные ниже глубины промерзания.

В к о н т р о л ь н о е н и в е л и р о в а н и е трассы включают все пикетные и плюсовые точки и всю сеть постоянных и временных реперов. Для уточнения подсчета объемов земляных работ в местах, где поперечный уклон превышает 0,1 (6°), разбивают и нивелируют дополнительные поперечные профили.

При восстановлении трассы может быть проведено некоторое ее корректирование и улучшение расположения на местности для уменьшения объема земляных работ и увеличения устойчивости отдельных сооружений. Так могут быть спрямлены некоторые участки, найден более удачный переход или обход мест, не устойчивых в геологическом отношении, более удачно размещены искусственные сооружения, несколько изменены радиусы кривых и уклоны продольного профиля.

При восстановлении трассы производится отвод и закрепление на местности полосы отчуждения.

Основные элементы серпантины. При трассировании дороги по крутому склону часто приходится развивать 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 кривых, называемых серпантинами (рис. 5.1).



Серпантины разрешают устраивать 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 виража 60 о/оо, уширение проезжей части 2,0-2,5 м, наибольший продольный уклон 30-35 о/оо, радиусы вспомогательных кривых 150-100 м.

Расчет симметричной серпантины. При расчете серпантины обычно задаются радиусом основной кривой  $R$ , радиусами вспомогательных кривых  $r$ , а также величинами переходных кривых  $l$ . Угол хода  $\varphi$  (рис.5.2) измеряют в натуре. Остальные элементы:  $B$ ,  $d$ ,  $\gamma$ ,  $\varphi_0$ , необходимые для разбивки серпантины на местности, вычисляют.

Угол поворота вспомогательной кривой  $B$  находится из прямоугольного треугольника  $ONF$  (или  $OME$ )

$$\operatorname{tg} \beta = OF/NF, \quad (a)$$

так как

$$OF=R, NF=l+T,$$

где  $T$ -длина тангенса вспомогательной кривой;  $T=r \operatorname{tg} \beta/2$ , то с учетом этого выражения (a) запишется в виде

$$\operatorname{tg} \beta = R/(l+T) = R/(l+r \operatorname{tg} \beta/2). \quad (6)$$

В уравнении (6)  $\operatorname{tg} \beta$  и  $\operatorname{tg} \beta/2$  неизвестны. Выразив  $\operatorname{tg} \beta$  через  $\operatorname{tg} \beta/2$ , получим квадратное уравнение вида

$$(2r+R) \operatorname{tg}^2 \beta/2 + 2l \operatorname{tg} \beta/2 - R = 0, \quad (b)$$

решая которое, найдем

$$\operatorname{tg} \beta/2 = \frac{-l + \sqrt{l^2 + (2r+R)R}}{2r+R}. \quad (1.26)$$

Определив угол  $\beta$  и зная радиус вспомогательной кривой  $r$ , по таблицам кривых находят тангенс  $T$ , биссектрису  $B$  и длину  $k$  вспомогательной кривой.

Из треугольника  $ONF$  находят расстояние от вершины  $N$  вспомогательной кривой до центра  $O$  основной кривой, обозначенное через  $d$

$$ON = d = R/\sin \beta. \quad (1.27)$$

Для контроля  $d$  вычисляют по формуле

$$d = (l+T)/\cos \beta. \quad (1.27')$$

Угол в центре серпантины, определяющий направление на начальную и конечную точки основной кривой,

$$\gamma = 90^\circ - \beta \quad (1.28)$$

а центральный угол основной кривой

$$\varphi_0 = 360^\circ - 2\gamma - \varphi. \quad (1.29)$$

Длина основной кривой

$$K = (R\varphi_0) \div 180. \quad (1.30)$$

Разбивка серпантины. При разбивке серпантины в натуре теодолит устанавливают в вершине угла поворота  $O$  и по створу прямых  $OA$  и  $OB$  откладывают расстояние  $d$ . Получают на местности точки  $M$  и  $N$  - вершины вспомогательных кривых. Отложив вдоль этих же направлений от последних точек длину тангенса  $T$ , находят точки  $A$  и  $B$  - начало и конец серпантины. Затем от стороны хода  $OA$  отмеряют угол  $\gamma$ .

Вдоль полученного направления  $OE$  откладывают длину радиуса основной кривой  $R$  и находят на местности точку  $E$  - начало основной кривой. Аналогично от стороны хода  $OB$  находят точку  $F$  - конец основной кривой (см. рис. 15).

Детальную разбивку основной кривой производят через 3-5 м. Для этого угол  $\varphi_0$  делят на соответствующее число частей и вдоль заданных теодолитом направлений откладывают от центра кривой  $O$  величину радиуса  $R$ .

Для контроля теодолит переносят в одну из вершин вспомогательной кривой, например М, и измеряют построенный в натуре угол ОМЕ, который должен быть равен вычисленному углу  $\beta$ .

Точность построения в натуре угла  $\beta$  в основном зависит от точности отложения величин  $R$  и  $d$ . Так как

$$\sin \beta = R/d$$

то согласно теории ошибок

$$m_{\beta}^2 / \operatorname{tg}^2 \beta = m_R^2 / R^2 + m_d^2 / d^2$$

При одинаковых относительных ошибках отложения величин  $R$  и  $d$

$$m_R / R = m_d / d = m_S / S$$

получим

$$m_{\beta} / \operatorname{tg} \beta = \sqrt{2} m_S / S$$

Для горных условий можно принять, что  $m_S/S = 1/1000$ . Угол  $\beta$  обычно равен  $25-30^\circ$ , так что для примерных расчетов можно принять  $\operatorname{tg} \beta = 1/2$ .

Следовательно, измеренный в натуре угол  $\beta$  не должен отличаться от вычисленного в среднем на величину более  $2,5'$ .

Откладывая по направлению МЕ от вершины М величину тангенса Т, получают точку Р- конец вспомогательной кривой.

От точек А и Р (см. рис. 15) обычным порядком, используя таблицы кривых, детально разбивают вспомогательную кривую через 10 м, если  $r > 100$  м, и через 5 м, если  $r < 100$  м.

Вторую ветвь серпантины разбивают аналогично.

Пикетаж начала серпантины находят путем вычитания от пикетажного значения вершины поворота трассы О величины  $d + T$ . Прибавив к последнему длину вспомогательной кривой  $k$ , получают пикетаж конца этой кривой. Затем прибавляют длину переходной кривой  $l$  и основной кривой К и находят пикетажное значение начала и конца основной кривой и т. д.

### **Переходные кривые.**

Закругления на ж/д и автомобильных дорогах разбивают по круговым и переходным кривым. Переходные кривые применяют для плавного сопряжения круговых кривых с прямолинейными участками. Переходные кривые проектируют при радиусах кривых 1500 и меньше.

Основное достоинство переходных кривых в том, что в их пределах в связи с непрерывным изменением радиуса кривизны происходит постепенное нарастание центробежного ускорения. В пределах переходных кривых на автодорогах осуществляют отгон виража, т.е. переход от одностатного профиля у двухскатному.

Уравнение переходной кривой выводится из условия, чтобы в каждой ее точке вираж уравновешивал действие возникающей центробежной силы.

Согласно рисунка из треугольника  $BCD$  величина возвышения

$$h = stgv = si, (a)$$

где  $s$  — расстояние от начала переходной кривой до текущей точки;  $i$  — продольный уклон отгона возвышения рельса или виража (0,001—0,002).

Рассматривая поперечный разрез пути, видим, что

$$h = a \operatorname{tg} \beta = aF/P, (б)$$



где  $a$  — ширина пути;  $F$  — центробежная сила;  $P$  — вес.

Известно, что величина центробежной силы выражается формулой

$$F = \frac{P}{g} \cdot \frac{v^2}{\rho}$$

где  $v$  — скорость движения;

$g$  — ускорение силы тяжести;

$\rho$  — радиус кривизны.

Поэтому выражение (б) можно переписать в виде

$$h = \frac{av^2}{g\rho}. \quad (в)$$

Выполняя динамическое условие, приравняем правые части равенств (а) и (в)

$$si = \frac{av^2}{g\rho}$$

отсюда

$$\rho = \frac{av^2}{sig}. \quad (г)$$

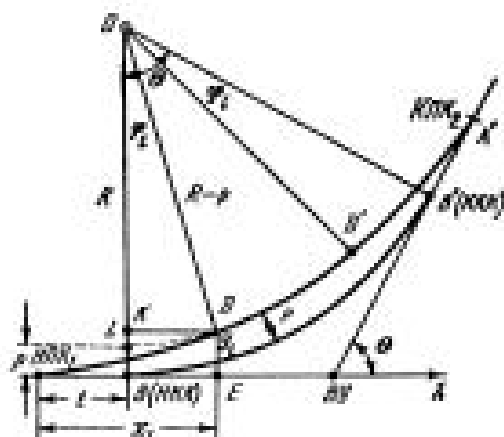
В формуле (г) сомножитель  $\frac{av^2}{ig} = C$  для заданной расчетной скорости движения  $v$  и принятого уклона  $i$  является постоянной величиной и называется параметром переходной кривой. С учетом этого уравнение переходной кривой примет вид

$$\rho = \frac{C}{s} \quad (IV.33)$$

Следовательно, радиус кривизны переходной кривой должен меняться обратно пропорционально длине  $s$ ; при  $s = 0$  (начало переходной кривой)  $\rho = \infty$ . В точке примыкания переходной кривой к круговой радиус кривизны  $\rho$  равен радиусу круговой кривой  $R$ , а величина  $s$  равна принятой длине переходной кривой  $L$ .

На основании этого из формулы (IV.33) следует, что  $C = \rho s = RL$ , т. е. параметр переходной кривой равен произведению радиуса круговой кривой на длину переходной кривой.

### Разбивка переходных кривых.



При вставке переходных кривых AD и A'D' круговая кривая укорачивается с обеих концов на половину длины переходной кривой. Кроме того, оставшаяся часть круговой кривой смещается к центру O, уменьшая радиус R на некоторую величину  $p$  называемую сдвижкой круговой кривой.

Величина сдвижки определяется

$$p = LB = OK + KB - OL.$$

Так как

$$\begin{aligned} OL = OD = R - p, \\ \text{и } OK = OD \cos \varphi = (R - p) \cos \varphi, \\ KB = DE = y_i \end{aligned}$$

где  $y_i$  — ордината конца переходной кривой,  
то

$$\begin{aligned} p &= (R - p) \cos \varphi + y_i - (R - p). \\ p &= R - \frac{R - y_i}{\cos \varphi} \end{aligned} \quad (\text{IV.47})$$

Величина сдвижки  $p$  редко превышает 1 м, поэтому при расчетах кривых большого радиуса иногда пренебрегают уменьшением радиуса.

Расстояние  $t$  между началом переходной кривой и началом несдвинутой круговой кривой, называемое **д о п о л н е н и е м к т а н г е н с у**, находится из выражения  $t = AE - BE$ .

Так как отрезок  $AE = x_i$  есть абсцисса конца переходной кривой и  $BE = KD = (R - p) \sin \varphi$ , то

$$t = x_i - (R - p) \sin \varphi.$$

С учетом значения  $p$  из формулы (IV.47) получим

$$t = x_i - (R - y_i) \operatorname{tg} \varphi \quad (\text{IV.49})$$

Для определения на местности начала первой (**НПК1**) и конца второй (**КПК2**) переходных кривых откладывают соответственно от начала (**НKK**) и конца (**КKK**) несдвинутой («чистой») круговой кривой величину  $t$ . Эти же точки могут быть найдены от ближайших пикетов по их пикетажным значениям

$$\text{ПК } KПК1 = \text{ПК } НKK - t$$

$$\text{ПК } KПК2 = \text{ПК } КKK + t.$$

Середина сдвинутой сопряженной кривой находится путем отложения от середины чистой кривой (точки **СК**) по направлению биссектрисы к центру величины сдвижки  $p$  или от вершины угла поворота **ВУ** значения  **$B + p$** .

### **Вертикальные кривые**

При проектировании трассы переломы продольного профиля сопрягаются вертикальными кривыми. Это могут быть круговые кривые большого радиуса или клотоида.

Длина вертикальной круговой кривой (рис. 10)

$$K_B = R_B \beta$$

$$\text{где } \beta = \operatorname{arctg} (i_1 - i_2).$$

Вследствие небольшой величины допускаемых проектных уклонов  $i_1$  и  $i_2$  (тангенсов углов наклона) можно принять

$$\beta = i_1 - i_2.$$

и

$$K_B = R_B (i_1 - i_2).$$

Тангенс вертикальной кривой

$$T_B = R_B \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = R_B \frac{i_1 - i_2}{2}.$$

Биссектриса вертикальной кривой

$$E_n = \sqrt{T_n^2 + R_n^2} - R_n$$

$$E_n = \frac{T_n^2}{2R} = \frac{K_n^2}{8R}.$$

или приближенно

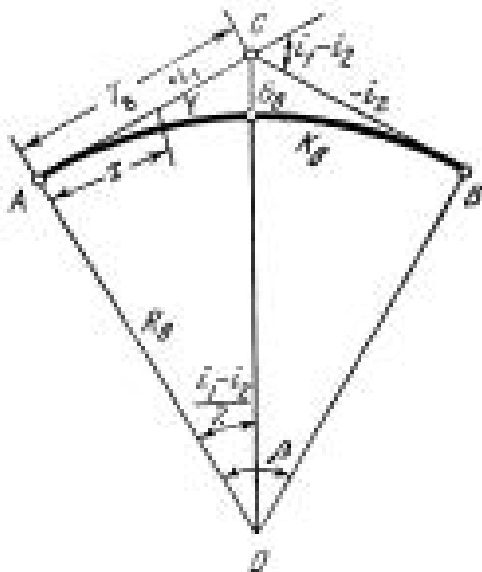


Рис.10

Положение любой точки профиля на вертикальной кривой определяется прямоугольными координатами  $x$  и  $y$  (см. рис.10).

Абсциссы  $x$  отсчитывают через 10м по пикетажу от начала вертикальной кривой. Для круговой кривой ординаты  $y$  вычисляют по формуле

$$U = \frac{r^4}{2R} \quad (\text{или берут из таблиц}) \text{ и}$$

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

Для определения элементов вертикальных кривых Тв, Кв и Бв , а также координат х и у составлены специальные таблицы.

## Лекция 6. Способы разбивки круговых кривых

Для строительства трассы кривые на местности необходимо разбить через равные отрезки такой длины, чтобы можно было принять дугу за прямую. Очевидно, чем больше радиус кривой, тем может быть больше интервал детальной разбивки. При радиусе больше 500 м кривую разбивают через 20 м, при радиусе от 100 до 500 м — через 10 м. Для кривых радиуса меньше 100 м детальную разбивку производят через 5 м. Наиболее распространенными способами детальной разбивки кривых являются прямоугольных координат, хорд (секущих), углов (полярных координат), продолженных хорд.

**Способ прямоугольных координат.** В этом способе положение точек 1, 2, 3... на кривой определяется через равные дуги  $k$  координатами  $X1\ U1, X2\ U2, X3\ U3$ , при этом за ось абсцисс принимают линию тангенса, за начало координат— начало или конец кривой.

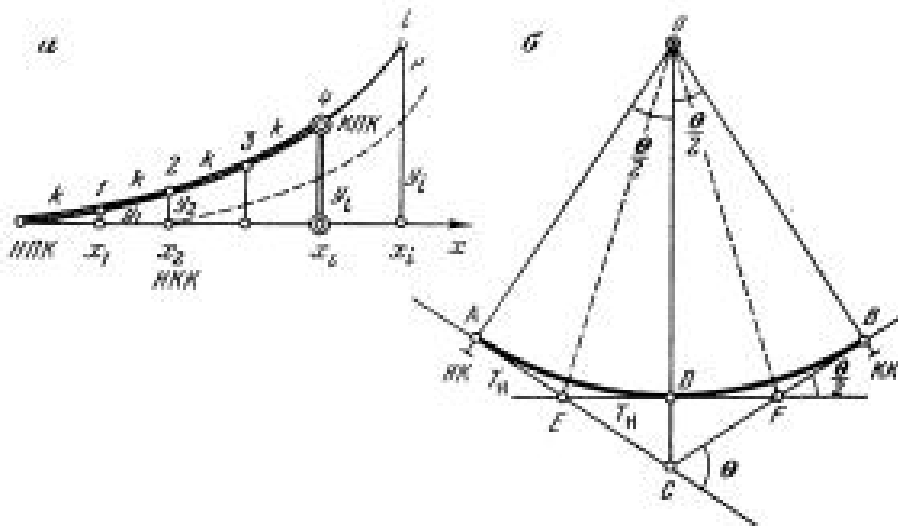
## Координаты круговых кривых — по формулам

$$x_1 = R \cdot \sin \varphi, \quad y_1 = 2R \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2},$$

$$x_2 = R \cdot \sin 2\varphi; \quad y_2 = 2R \cdot \sin^2 2\frac{\varphi}{2},$$

$$x_3 = R \cdot \sin 3\varphi; \quad y_3 = 2R \cdot \sin^2 3\frac{\varphi}{2},$$

.....



где

$$\varphi = \frac{180 \cdot k}{\pi \cdot R}.$$

**Способ хорд (секущих).** В этом способе положение точек переходных и круговых кривых определяется координатами от хорд (секущих). Направление хорды  $AB$ , стягивающей конечные точки переходной кривой, получают по координатам ее конца  $X_i$  и  $y_i$  (рис. 6.1):

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{y_i}{x_i}$$

Из рис. 7 видно, что направление секущей  $BD$  круговой кривой составляет с направлением  $BN$ , параллельным линии тангенса  $AM$ , угол  $\varphi_i + \frac{Q}{2}$  как направления, соответственно перпендикулярные к сторонам  $OK$  и  $OL$ . Следовательно, угол между продолжением хорды переходной кривой  $AB$  и первой секущей  $BD$  круговой кривой равен

$$\delta_1 = \varphi_i + \frac{Q}{2} - \delta$$

где  $\varphi_i$  — центральный угол переходной кривой/

При одной и той же длине хорды угол между последующими секущими круговой кривой будет равен углу  $Q$ .

Длину хорды  $b$  выбирают 100 м и более, однако с таким расчетом, чтобы наибольшая ордината  $y$  соответствовала возможностям стесненных условий измерений (не превышала 2—3 м).

Направления секущих задают при помощи теодолита по углам  $\delta$ ,  $\delta_1$  и  $Q$ . Координаты  $K$ — $x$  и  $y$  для детальной разбивки кривой от хорды приведены по аргументам  $R$  и  $b$  в особых таблицах: отдельно для переходных кривых, отдельно для круговых кривых. Координаты точек кривой от хорды находятся путем преобразования координат от тангенса при повороте хорды от касательной: переходной кривой на угол  $\delta$ , круговой кривой на угол  $—Q/2$ .

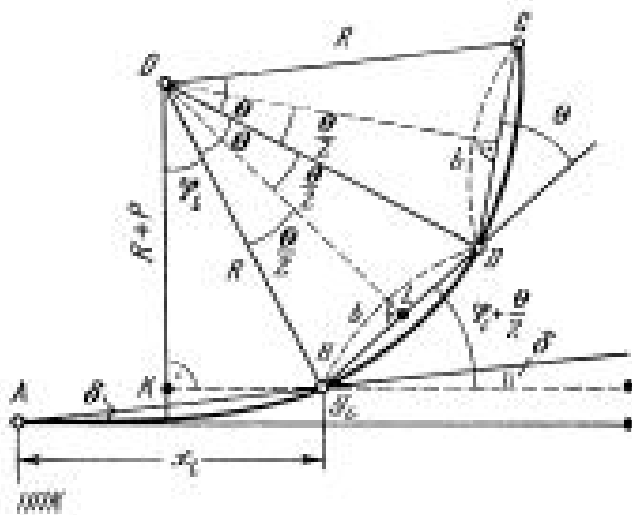


Рис.6.1

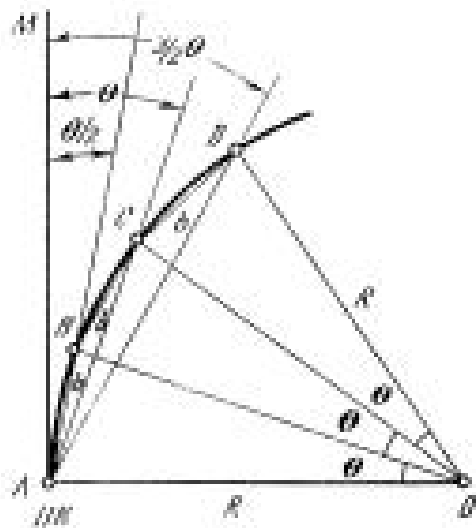


Рис.6.2

Детальную разбивку кривой ведут от концов хорды к середине таким же образом, как и в способе прямоугольных координат, от линии тангенса.

*Способ углов.* В этом способе использовано то положение, что углы с вершиной в какой-либо точке круговой кривой, образованные касательной и секущей и заключающие одинаковые дуги, равны половине соответствующего центрального угла (рис. 6.2). Величину угла —  $Q/2$  можно выбирать из таблиц по значениям  $b$  и  $R$ .

В начале кривой  $A$  устанавливают теодолит и от линии тангенса задают угол  $Q/2$ , откладывая вдоль полученного направления длину хорды  $AB = B$ . Найденную точку кривой закрепляют. От того же направления  $AM$  теодолитом отмеряют второй угол  $2 Q/2$ . От точки  $B$  откладывают следующую длину хорды  $b$  так, чтобы ее конец лежал в коллимационной плоскости теодолита, фиксируя на местности точку  $C$  кривой, и т. д.

Так как в способе углов положение последующей точки определяется относительно предыдущей, то с возрастанием длины кривой точность ее детальной разбивки быстро падает. В этом главный недостаток.

*Способ продолженных хорд.* Разбивку кривой этим способом ведут без теодолита. По радиусу  $R$  и принятой длине хорды  $b$  (10 или 20 м) находят отрезки  $d$  и  $y$ , называемые в таблицах промежуточным и крайним перемещениями,

$$y = \frac{b^2}{2R}$$

$$d = 2y = \frac{b^2}{R} \text{ .}$$

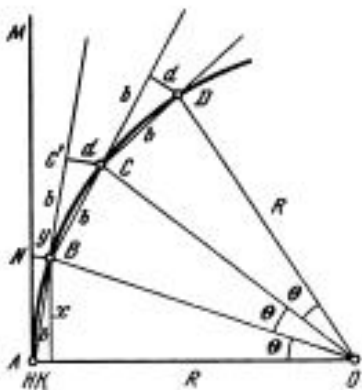


Рис.6.3

Положение первой точки кривой  $B$  (рис.6.3) может быть определено при помощи прямоугольных координат  $x$  и  $y$  или с отрезка тангенса  $AN = b$  линейной засечкой радиусами-векторами  $AB = b$  и  $NB = y$ .

Закрепив точку  $B$ , на продолжении створа  $AB$  откладывают длину хорды  $b$  и отрезками  $C'C = d$  и  $BC' = b$  засекают на кривой точку  $C$  и т. д. Недостаток способа тот же, что и предыдущего.

## Лекция 7. Строительные поперечники. Способы расчета и разбивки на местности

Поперечный профиль дороги. А в т о р о ж н о е п о л о т н о состоит из проезжей части, обочин, откосов и кюветов (рис. 1, а). Ширина проезжей части может быть 6-15 м в зависимости от категории дороги. Для укрепления проезжей части с обеих сторон ее устраивают обочины шириной 2-3,75 м. К обочинам примыкают откосы. Линия, отделяющая обочины от откосов, называется бровкой дорожного полотна. Проектные высоты в продольном профиле даются по бровке. Проезжая часть, как правило, представляет собой искусственное покрытие- бетонное, каменное и др. Для устройства этого покрытия в дорожном полотне делают специальное земляное корыто (на рис. 1  $DKK'D'$ ).

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

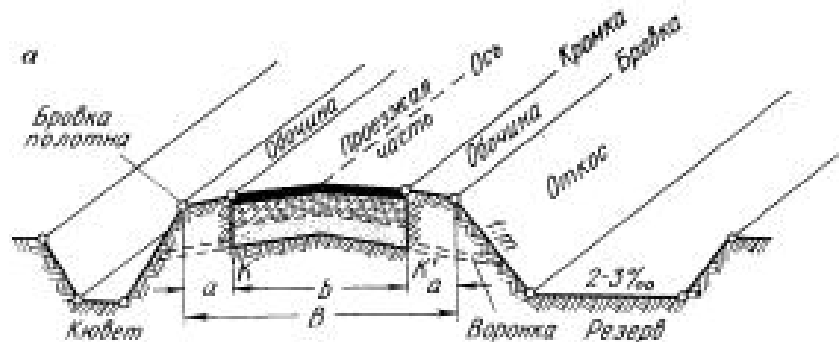


Рис. 1. Дорожное полотно:  
а — автомобильной дороги; б —

### Разбивка строительных поперечников.

Для выполнения земляных работ производят детальную разбивку земляного полотна (разбивку строительных поперечников). Эта разбивка состоит в обозначении на местности в плане и по высоте всех характерных точек поперечного профиля полотна: оси, бровок, кюветов, подошвы насыпей и т.д.

На прямолинейных участках трассы поперечники разбивают через 20-40 м на всех переломах продольного профиля. С помощью теодолита и ленты разбивают осевые точки поперечников. Сами поперечники разбиваются вправо и влево от этих точек, перпендикулярно к оси трассы.

На закруглениях трассы поперечники разбивают через 10-20 м в зависимости от радиуса кривой. На этих участках поперечники должны располагаться перпендикулярно касательной к кривой в точке разбивке поперечника. Точки на кривой располагаются через равные отрезки.

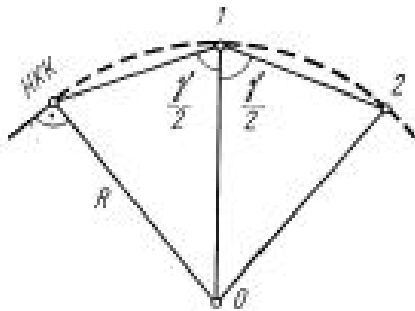
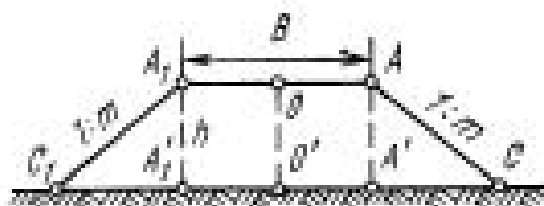


Рис. 3. Определение направления поперечного профиля на кривой

Для разбивки поперечника в осевой точке кривой измеряют угол между хордами, соединяющими эту точку с двумя соседними точками. Разделив его пополам, строят на местности биссектрису, вдоль которой от осевой точки и разбивают поперечник.

### Разбивка поперечников в насыпи.



При разбивке поперечников в насыпи на местности закрепляют: положение осевой точки  $O'$ , проекции бровок  $A'$ ,  $A_1'$  и подошвы насыпи  $C$ ,  $C_1$ . Если поперечный уклон местности не больше  $3-4^\circ$ , то можно принять

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

где  $B$  – проектная ширина дорожного полотна

$h$  – высота насыпи

$1:m$  – крутизна (уклон) откоса.

Расстояние от оси до подошвы насыпи  $O'C$  или  $O'C_1$  будет

$$l = (B : 2) + mh.$$

Т.о. в равнинных местах в обе стороны откладывают  $B/2$  и расстояние  $l$ .

Все точки закрепляют кольями и подписывают наименование «ось», «бровка», и т.д.

При значительном поперечном наклоне местности (на косогорах) разбивка осей усложняется. Расстояния от оси  $O'$  до подошвы  $C$  и  $C_1$  будут различными. положение точек  $C$  и  $C_1$  может быть найдено, если отложить  $O'C$  и  $O'C_1$ .

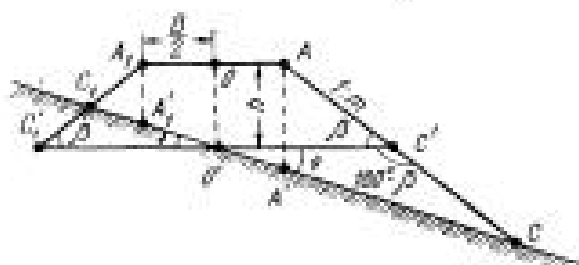


Рис. 6. Разбивка насыпи на косогоре

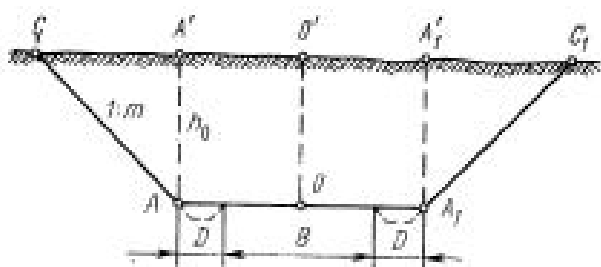
Обозначив угол поперечного наклона местности через  $v$ , а угол откоса найти через  $\beta$  ( $\text{tg}\beta=1:m$ ).

Тогда из  $\Delta O'C_1'C_1$

$$O'C_1 = (O'C_1' \sin \beta) : \sin (\beta + v).$$

$$O'C_1 = I_1 = \left( \frac{B}{2} + \right. \\ \left. + m h \right) [\sin \beta : \sin (\beta + \nu)].$$
$$O'A' = O'A'_1 = B/(2 \cos \nu).$$

*Разбивка поперечников в выемке.*



Если местность ровная, положение  $A'$  и  $A1'$ ,  $C$  и  $C1$  находят:

$$O'A' = O'A'_1 = B/2 + D.$$

в сторону понижения ската

$$l' = [(B/2) + D + \pi h_0] [\sin \beta : \sin (\beta + \gamma)].$$

$$l^s = \left| \left( \frac{B}{2} \right) + D + mh_0 \right| [\sin \beta : \sin (\beta - \gamma) ],$$

где  $\nu$  - угол наклона местности,  $\beta$  - угол откоса выемки,  $h_0$  - глубина выемки.





Рис. 9. Разбивка выемки на косогоре

Когда выемка в основном закончена и осталось добрать до проектной высоты 10-20 см, для чистовой отделки намечают точки, определяющие положение кюветов, корыта и обочин или сливной призмы, и с помощью нивелира эти точки устанавливают на уровень проектных высот.

Проектные высоты характерных точек поперечного профиля дорожного полотна вычисляют от высоты бровки  $H_{бр}$  по проектным уклонам и ширине отдельных частей (рис. 10). Например, проектная высота по оси корыта

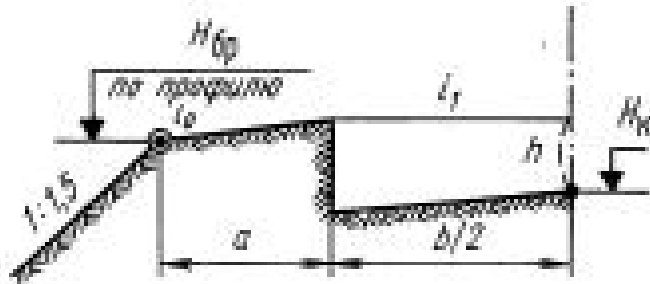


Рис. 10. Расчет проектной высоты для корыта

$$H_k = H_{бр} + ai_0 + (b/2) i_1 - h,$$

где  $h$  - толщина дорожного покрытия по оси.

Для окончательной отделки земляного полотна поперечные профили разбивают через 20 м. На участках с вертикальными кривыми малых радиусов (меньше 2000 м), где

пользование визирками ограничено, поперечные профили разбивают через 5-10 м. Проектные высоты земляного полотна выносят в натуру с точностью до 1 см. Дно спланированного корыта не должно иметь отдельных неровностей, превышающих 3 см, но при этом должен быть обеспечен сток поверхностных вод.

Исполнительная съемка. По земляному полотну производят исполнительную съемку. Инструментально восстанавливают продольную ось и на каждом пикете проверяют ширину корыта, обочин, кюветов, а также крутизну откосов. Производят контрольное нивелирование и проверяют на всех пикетах и переломах продольного профиля высоты по оси, обеим бровкам, дну кюветов и нагорных канав.

Отклонения от проектных данных не допускают более: а) в отметках бровок земляного полотна с учетом поправок на осадку насыпи  $\pm 5$  см, б) по ширине корыта  $\pm 5$  см, в) по поперечному уклону корыта  $\pm 5$  ‰, г) по продольному уклону кюветов и нагорных канав  $\pm 1$  ‰, д) в резервах должны быть соблюдены продольные и поперечные уклоны с такой точностью, чтобы не было застоя воды.

Для облегчения производства земляных работ в точках С и С1 на бровках выемки устанавливают небольшие лекала, задающие крутизну откоса. По мере разработки грунта механизмами повторяют разбивку осевых точек и указывают оставшуюся глубину выемки. Аналогично делается разбивка и при сооружении водоотводных канав.

## **Лекция 8. Контроль качества возведения земляного полотна и верхнего дорожного строения**

Вопросы обеспечения гарантированного качества при возведении сложных и ответственных инженерных сооружений находятся в центре внимания в течение многих лет в большинстве стран мира.

Обеспечение высокого качества строительства этих объектов, надежность и безопасность их эксплуатации во многом зависят от уровня компетентности и подготовленности участников инвестиционного процесса, сертификации применяемых строительных материалов, изделий, конструкций и оборудования, а также от наличия и эффективности действия системы надзора за качеством проектных и строительно-монтажных работ на всех стадиях инвестиционного процесса.

Участие и роль государственных структур в обеспечении качества строительства таких объектов обусловлены тем, что они нередко относятся к системе функционирования целых регионов, к жизнеобеспечению больших масс населения, а также тем, что значительную группу потребителей составляют федеральный и муниципальный сектор. Проектирование и строительство сложнейших инженерных сооружений регламентируются общегосударственными нормами и требованиями, обеспечивающими:

- безопасность жизни и здоровья человека;
- комфортные условия труда и отдыха людей;
- рациональное использование материальных, энергетических, природных и трудовых ресурсов при строительстве и эксплуатации;
- охрану окружающей среды и высокий уровень экологической безопасности.

Указанные требования должны быть приоритетными при осуществлении государственного архитектурно-строительного надзора за качеством строительства объектов специального назначения со сложными инженерными решениями.

Негативные последствия недостаточной требовательности к качеству строительства таких объектов могут быть проиллюстрированы на ряде примеров.

В последнее время, на Московском, Горьковском, Новосибирском метрополитенах из-за неудовлетворительного качества выполнения строительно-монтажных работ негативные явления со смещением тоннельных обделок, выбросом грунта и др. отмечались как в процессе строительства, так и эксплуатации объектов. Выявлено множество случаев просчетов в инженерно-геологических изысканиях.

Пока что ни в одном городе нет более или менее водонепроницаемой железобетонной обделки тоннелей метрополитенов.

В процессе строительства автодорожного моста через р. Обь у г. Барнаула из-за грубейших нарушений правил производства работ была уничтожена вся триангуляционная сеть, вследствие чего в апреле 1993 г. было установлено, что русловые опоры моста оказались развернутыми вокруг вертикальной оси на 800 мм.

В результате исключена возможность укладки пролетных строений на опорные части в проектном положении.

Исправление допущенного брака потребует значительных дополнительных затрат.

Приведенные отдельные примеры указывают на необходимость обеспечения квалифицированного надзора за качеством выполнения строительно-монтажных работ при возведении объектов, последствия строительных дефектов на которых наносят весьма существенный ущерб экономике государства и чреваты созданием чрезвычайных ситуаций.

Вместе с тем существующая система государственного архитектурно-строительного надзора не располагает специализированными подразделениями, способными на требуемом профессиональном уровне осуществлять проверку и оценивать возможные последствия строительных дефектов и нарушений правил производства работ на строительстве сложных специальных сооружений. Это выдвигает задачу выработки рекомендаций и оптимальных положений по осуществлению госархстройнадзора с привлечением специалистов отраслевых специализированных организаций.

Такие рекомендации должны являться дополнением к выпущенным в 1992 году Инспекцией Госархстройнадзора России "Рекомендаций о порядке осуществления государственного контроля за соблюдением требований строительных норм и правил при производстве строительно-монтажных работ на объектах производственного назначения" и относится к видам строительства, где ранее были сформированы отраслевые органы контроля качества.

К таким отраслям относятся: энергетическое, нефтегазовое, транспортное (железнодорожное и автодорожное) и водохозяйственное строительство.

Проверка качества выполнения работ осуществляется непосредственно на трассе железной или автомобильной дороги с учетом охвата участков, на которых сооружаются искусственные сооружения (мосты и трубы).

Проверка качества сооружения средних и больших мостов, а также тоннелей должна осуществляться отдельно с оформлением самостоятельных результирующих документов.

Проверка осуществляется на основе требований, содержащихся в СНиП III-38-75 "Железные дороги", СНиП 3.06.03-85 "Автомобильные дороги", СНиП III-43-75 "Мосты и трубы", СНиП III-44-77 "Тоннели железнодорожные, автодорожные и гидротехнические. Метрополитены", СНиП 3.06.07-86 "Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний", а также стандартов и инструкций, регламентирующих производство и приемку отдельных видов работ в комплексе строительства железных и автомобильных дорог, введенных в действие в установленном порядке.

К проведению проверки следует привлекать специалистов контрольных служб, технического надзора, а при проверках больших мостов и тоннелей, специалистов мостоиспытательных станций, Оргтранстехстроев, Росдорнии и других отраслевых организаций, имеющих в своем составе отделы контроля качества. О проведении проверки должны быть поставлены в известность региональные отраслевые подразделения (при наличии таких) контроля качества строительства.

До выхода на трассу надлежит ознакомиться с проектным решением подлежащего проверке участка дороги, моста, тоннеля с учетом состояния строительства с тем, чтобы контролем были охвачены все виды специфических работ.

В подрядной организации, осуществляющей строительство, следует ознакомиться с материалами ведомственной проверки и других служб надзора и контроля, а также исполнительной и производственно-технологической документацией на выполненные работы, с предписаниями контрольных служб по устранению выявленных дефектов, отступлений от проектных решений и нарушений правил производства работ.

Надлежит убедиться в соответствующем оформлении передачи заказчиком геодезической разбивочной основы.

Ознакомиться с порядком и качеством оформления производственно-технологической документации (актами на скрытые работы и материалами исполнительной съемки о фактическом положении трассы контролируемого участка дороги, моста или тоннеля).

Рекомендуемый состав контролируемых параметров по видам работ и сооружаемым объектам:

#### **А. Земляное полотно**

состояние обеспечения водоотвода путем устройства водоотводных сооружений и подготовки оснований в соответствии с указанными в проекте;

наличие проекта производства работ на устройство земляного полотна в зимнее время;

соблюдение правил выполнения работ по устройству оснований насыпей на косогах;

соблюдение требований проекта по уширению насыпей в зависимости от их высоты, состояния и вида грунтов;

соблюдение правил уплотнения грунтов насыпей по толщине слоев и организации контроля степени уплотнения;

соблюдение правил сооружения водопропускных труб, устоев мостов и подпорных стен, имея в виду, что эти работы должны опережать возведение земляного полотна, а засыпка их грунтом производится одновременно с сооружением насыпи;

соблюдение правил разработки выемок в нескальных грунтах (недопущение переборов грунта);

соблюдение последовательности работ по устройству кюветов и водоотводных канав;

соблюдение правил возведения земляного полотна в особых условиях (на болотах, в районах распространения вечномерзлых грунтов, в зонах пучинистых и закарстованных грунтов);

соблюдение мер, предусмотренных проектом, по обеспечению устойчивости земляного полотна в неблагоприятных геологических и гидрогеологических условиях;

соблюдение правил выполнения работ в зимний период при использовании соответствующего вида грунта насыпей и ведении разработки выемок в нескальных грунтах;

соблюдение правил возведения земляного полотна с разработкой скальных выемок взрывным способом;

обеспечение нормируемых параметров при намыве;

соблюдение геометрических параметров в пределах допустимых нормируемых отклонений;

соблюдение объема контроля правильности размещения оси земляного полотна, высотных отметок, поперечных профилей, обочин, водоотводных и дренажных сооружений;

состояние и качество выполнения работ по укреплению откосов насыпей и выемок;

соблюдение правил устройства и обеспечения проектных решений по укладке дополнительных слоев оснований, дренирующих и капилляропрерывающих прослоек.

## **Б. Устройство верхнего строения железнодорожного пути**

состояние основной площадки земляного полотна и наличие акта на его приемку для укладки пути; обеспечение закрепления оси пути на прямых и кривых участках и в точках перелома профиля; принятие мер по обеспечению сохранности основной площадки земляного полотна (укладка пути с железобетонными шпалами на песчаные полосы, незамедлительная балластировка после укладки и др.);

соответствие качества рельсов, скреплений, шпал и балласта требованиям стандартов и соответствующих технических условий и обеспечение входного контроля их;

обеспечение нормируемых значений отклонений в размерах и положении конструктивных элементов верхнего строения пути (при временной эксплуатации строящейся дороги);

выполнение комплекса работ по окончательной отделке пути, и соблюдение требований по приемке уложенного и забалластированного пути;

соблюдение требований к техническому состоянию дороги, вводимой во временную эксплуатацию и наличие соответствующих обоснований и решений такого ввода;

соблюдение правил и порядка приемки в постоянную эксплуатацию участков железной дороги, узлов, станций, зданий и сооружений.

## **В. Сооружение мостов, труб и тоннелей**

наличие соответствующей лицензии у подрядной организации на право выполнения работ;

соблюдение правил, методов и очередности производства работ по сооружению мостов и труб в условиях наличия постоянных или периодических водотоков;

обеспечение защиты конструкций от воздействия паводков вод, ледохода и др., а также от возможных повреждений и закупорки отверстий мостов и труб согласно проектам производства работ;

соответствие применяемых конструкций требованиям норм, проекта и стандартам и обеспечение их входного контроля;

соответствие технологии и правил производства работ по изготовлению конструкций на месте строительства;

обеспечение передачи заказчиком геодезической основы для строительства моста (трубы, тоннеля) в том числе: продольной оси моста, точки пересечения оси трассы дороги с продольной осью трубы, пунктов мостовой триангуляционной сети (для мостов длиной более 300 м), оси трассы на подходах к мосту, высотных реперов с приложением схематического плана мостового перехода;

обеспечение контроля геодезических работ при строительстве мостов длиной более 100 м в соответствии с требованиями норм;

соответствие вспомогательных сооружений и устройств разработанным в проекте;

обеспечение устойчивости и местоположения вспомогательных промежуточных опор для монтажа пролетных строений моста;

обеспечение контроля упругих и остаточных деформаций подмостей (кружал) для соблюдения проектного очертания изготавливаемых или монтируемых железобетонных и стальных конструкций;

соответствие правил и технологии изготовления монолитных бетонных и железобетонных конструкций требованиям главы СНиП 3.03.01-87 и дополнительным требованиям СНиП III-43-75;

обеспечение требуемого контроля качества напрягаемой арматуры, стальных канатов и пучков, анкерных устройств и величины натяжения каждого стержня пучка или каната;

соблюдение требований к конструкциям при натяжении арматуры на бетон;

соблюдение технологии укладки и термовлажностной обработки бетона, обеспечивающих защиту от образования температурных и усадочных трещин;

соблюдение правил и порядка укладки бетона в тело опор моста, а также в конструкции проезжей части;

соблюдение правил бетонирования в зимних условиях;

обеспечение технологических параметров инъектирования закрытых и заполнение открытых каналов; соблюдение правил и объема контроля прочности бетона в бетонных и железобетонных конструкциях мостов и труб, а также контроля морозостойкости и водонепроницаемости и водопоглощения бетона;

контроль геометрических размеров изготовленных железобетонных конструкций с учетом нормируемых величин отклонений в размерах;

выполнение испытаний сборных железобетонных конструкций в соответствии с требованиями проекта и ГОСТ 8829-83 и обоснованности принятия решений по результатам испытаний;

соблюдение порядка инструментального контроля сборки конструкций, способов опирания и крепления их в соответствии с проектными решениями;

соблюдение технологии монтажа железобетонных и стальных пролетных строений мостов;

порядок и правила монтажа железобетонных сборных конструкций с клееными стыками;

обеспечение пространственной жесткости стальных пролетных строений с решетчатыми фермами на всех стадиях сборки и монтажа;

соблюдение правил выполнения монтажных соединений стальных пролетных строений на высокопрочных болтах;

соблюдение правил надвижки пролетных строений с обеспечением контроля;

обеспечение качества сварки арматурных выпусков и закладных деталей в соответствии с нормируемыми требованиями;

оценка качества замоноличивания стыков;

оценка качества установки опорных частей разрезных и неразрезных пролетных строений (подвижных и неподвижных);

оценка качества окраски стальных конструкций и соблюдения технологической последовательности выполнения окраски;

соблюдение правил приемки смонтированных железобетонных и стальных конструкций;

соблюдение проектных решений и оценка качества выполнения гидроизоляции пролетных строений, соблюдение требований проекта по устройству облицовки бетонных опор;

соблюдение правил засыпки устоев мостов и труб в зависимости от принципа использования грунтов основания в период эксплуатации;

обеспечение проектных решений по укреплению откосов конусов устоев мостов и других регуляционных сооружений;

соблюдение правил приемки малых мостов и труб, а также больших мостов согласно требованиям норм, с выполнением необходимых испытаний мостоиспытательными организациями;

проведение обкатки и визуальных наблюдений за состоянием конструкций на мостах, не подвергающихся испытаниям;

проверка качества сооружения тоннельной обделки из монолитного железобетона должна включать:

контроль отклонений в геометрических размерах с учетом габаритов приближения строений, толщины обделки, выполнение требований по нагнетанию раствора за обделку, а также соблюдение всех параметров по выполнению работ из монолитного железобетона;

обеспечение геометрических параметров обделки из сборных железобетонных тюбингов с контролем качества выполнения монтажных соединений и устройства гидроизоляции;

соблюдение правил приемки завершенных сооружением тоннелей.

Проверке подлежит также соблюдение всех требований, предусмотренных другими главами СНиП третьей части.

По земляному полотну производят исполнительную съемку. Инструментально восстанавливают продольную ось и на каждом пикете проверяют ширину корыта, обочин, кюветов, а также крутизну откосов. Производят контрольную нивелировку и проверяют на всех пикетах и переломах продольного профиля отметки по оси, обеим бровкам, дну кюветов и нагорных канав.

Допускают следующие предельные отклонения от проектных данных:

а) в отметках бровок земляного полотна с учетом поправок на осадку насыпи  $\pm 5$  см;

б) по ширине корыта  $\pm 5$  см;

в) по поперечному уклону корыта  $\pm 0,5\%$ ;

г) по продольному уклону кюветов и нагорных канав  $\pm 0,5\%$ ;

д) в резервах должны быть соблюдены продольные и поперечные уклоны с такой точностью, чтобы не было застоя воды.