

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ГЕОТЕХНИКИ И ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Методические указания

для выполнения контрольной работы
по дисциплине «Инженерная геодезия»
на тему «Трассирование линейных сооружений»

Брест 2018

УДК 528.4(075.8)

Приводятся краткие сведения по разделу «Трассирование линейных сооружений» и рекомендации для выполнения контрольной работы по данной теме. Издание предназначено для студентов 1-го курса заочной полной и сокращённой форм обучения специальностей АД; ТВиОВБ; ВВОиОВР .

Составители: Л. Ф. Зуева, к.т.н., доцент
С. Н. Кандыбо, к.т.н., доцент

Рецензент: к.т.н., профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций П. В. Шведовский

ГЛОССАРИЙ

Основные понятия	Содержание
Инженерные изыскания	комплексное изучение природных условий предполагаемого участка строительства для получения необходимых данных при проектировании и строительстве для принятия технически правильных и экономически целесообразных решений
Полигонометрия, теодолитные хода	линейно-угловые построения, состоящие из одиночных ходов, систем ходов с узловыми точками или систем замкнутых полигонов, в которых измерены углы и длины сторон
Геометрическое нивелирование	нивелирование при помощи геодезического прибора с горизонтальной визирной осью (нивелира), превышение определяется как разность отсчетов по нивелирным рейкам
Генеральный план	крупномасштабный топографический план, на котором изображают весь комплекс наземных, воздушных и подземных сооружений (существующих и проектируемых)
Топографическая съемка	комплекс геодезических работ, выполняемых на местности для составления топографических карт и планов
Линейные сооружения	большая группа инженерных строительных объектов или сооружений, имеющих значительное превышение одного из своих измерений (длины) над двумя другими
Площадные сооружения	различного назначения здания; комплексы гражданских и промышленных зданий и сооружений
Трасса	ось проектируемого линейного сооружения, которая обозначена и закреплена на местности или нанесена на топографическую карту, фотоплан или же задана координатами в цифровой модели местности
Трассирование	комплекс инженерно-изыскательских работ по выбору трассы, которая должна соответствовать всем техническим требованиям проектирования и иметь наименьшие затраты на возведение и эксплуатацию
Камеральное трассирование	проектирование трассы по топографическим картам, фотопланам или цифровым моделям местности
Полевое трассирование	выбор и разбивка трассы непосредственно на местности
Круговая кривая	кривая постоянного радиуса, которая разбивается на поворотах трассы линейных сооружений
Переходная кривая	кривая переменного радиуса, которая разбивается на поворотах трассы линейных сооружений и обеспечивает более плавный переход от прямого участка к участку круговой кривой
Вертикальная кривая	кривая большого радиуса, которая разбивается на переломах продольного профиля трассы
Нивелирование трассы	выполняют по пикетным точкам, поперечным профилям и установленным вдоль трассы реперам для составления продольного и поперечных профилей

1. ТРАССИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

1.1. Виды инженерных сооружений и состав геодезических работ при выполнении инженерных изысканий

К инженерным сооружениям относят различного назначения здания, дорожно-транспортные, гидротехнические сооружения, инженерные сети, специальные сооружения.

Здания – это сооружения, имеющие помещения для жилья, культурно-бытовых или производственных целей. Различают промышленные, гражданские и сельскохозяйственные здания. К *промышленным* зданиям относят производственные, вспомогательные, энергетические, складские и другие здания.

Гражданские здания делятся на жилые (дома, гостиницы, общежития) и общественные (школы, театры, магазины, больницы).

Сельскохозяйственные – это здания, для содержания скота и птицы, хранения и ремонта сельскохозяйственной техники.

По материалу, применяемому для возведения стен, здания делят на каменные, кирпичные, бетонные, железобетонные, деревянные и т. д.

Дорожно-транспортные сооружения: железные (сухопутные) и автомобильные (безрельсовые) дороги, тоннели метрополитена, трубопроводы (нефте-, газо-, водопроводы, канализация), водный транспорт (порты, причалы, пристани), воздушный транспорт (аэродромы, аэропорты) и специальные (подвесные дороги, мостовые переходы, эстакады, серпантины, виадуки, дюкеры).

Трубопроводы – это сети водопровода, канализации, газоснабжения, теплофикации, водостока, дренажа, нефте- и газопроводы и другие прокладки, предназначенные для транспортирования различного содержимого по трубам. Самотечные трубопроводы предназначены для отвода сточных вод к очистным сооружениям (промышленная и бытовая канализация) и атмосферной воды в водоемы (ливневая канализация, дренаж). Напорные трубопроводы транспортируют под давлением жидкостные и газовые продукты.

К подземным коммуникациям относятся такие прокладки в грунте, как трубопроводы (самотечные и напорные), кабельные сети, коллекторы. Подземные коммуникации прокладывают не ближе 2–3 м (кабели до 0,5 м) от фундаментов зданий.

Гидротехнические сооружения: плотины ГЭС, каналы, шлюзы, затворы, судоподъемники, лесопропускные и гидротехнические тоннели, водохранилища, дамбы, волнобои и др.

Инженерные сети: воздушные линии электропередач (ЛЭП) и кабельные сети (электросети высокого и низкого напряжения, телефон, телеграф, сигнализация, радио).

Специальные сооружения: ускорители, телескопы, радиотелескопы, телевизионные башни, технологические линии, башенные сооружения, высотные здания (16 и более этажей).

Инженерные изыскания выполняют проектно-изыскательские организации в соответствии с государственными стандартами и нормативными документами Республики Беларусь: СНБ 1.02.01 - 96 «Инженерные изыскания для строительства»; СТБ 21303 - 99 «Система проектной документации для строительства».

В состав инженерно-геодезических изысканий входят следующие виды работ:

- 1) сбор и обработка топографо-геодезических материалов изысканий прошлых лет;
- 2) рекогносцировочное обследование территории;
- 3) создание (развитие) опорных геодезических сетей, включая геодезические сети специального назначения для строительства;
- 4) создание планово-высотных съемочных сетей;
- 5) топографическая (наземная, аэрофототопографическая и др.) съемка, включая съемку подземных и надземных сооружений;
- 6) обновление топографических (инженерно-топографических) и кадастровых планов в графической, цифровой, фотографической и иных формах;
- 7) инженерно-гидрографические работы;
- 8) геодезические работы, связанные с переносом в натуру и привязкой горных выработок, геофизических и других точек инженерных изысканий;
- 9) геодезические стационарные наблюдения за деформациями оснований зданий и сооружений, земной поверхности и толщи горных пород в районах развития опасных природных процессов;
- 10) инженерно-геодезическое обеспечение информационных систем административных районов и государственных кадастров (земельного, градостроительного и др.);
- 11) составление и издание инженерно-топографических планов, кадастровых и тематических карт и планов, атласов специального назначения;
- 12) камеральная обработка материалов;
- 13) составление технического отчета.

Дополнительно в состав инженерно-геодезических изысканий для строительства линейных сооружений входят:

- камеральное трассирование и предварительный выбор конкурентоспособных вариантов трассы для выполнения полевых работ и обследований;
- полевое трассирование;
- съемки существующих железных и автомобильных дорог, составление продольных и поперечных профилей, пересечений линий электропередач, линий связи, объектов радиосвязи, радиорелейных линий и магистральных трубопроводов;
- координирование основных элементов сооружений и наружные обмеры зданий (сооружений) и др.

1.2. Общие сведения о трассировании

Трасса – это ось проектируемого линейного сооружения, которая обозначена на местности или нанесена на топографическую карту, фотоплан или же задана координатами в цифровой модели местности.

Основными элементами трассы являются план и продольный профиль.

План трассы – это проекция трассы на горизонтальную плоскость.

Продольный профиль – вертикальный разрез по проектируемой линии (продольной оси инженерного сооружения линейного типа).

Трасса представляет собой сплошную пространственную линию. В плане эта ломаная линия состоит из участков разного направления. В продольном профиле трасса состоит из линий различного уклона, соединенных между собой вертикальными кривыми.

Продольный профиль представляют двумя графиками: фактическим (черным); проектным (красным). Для характеристики местности и самого линейного сооружения в направлениях перпендикулярно к трассе составляются поперечные профили.

Параметры и правила трассирования. Трасса в зависимости от вида проектируемого сооружения должна удовлетворять определенным требованиям.

Для трасс задаются наибольшие и наименьшие продольные уклоны, минимальные радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, а также задаются габариты приближений (расстояние от земной поверхности, а также зданий и других сооружений).

При трассировании выделяют плановые и высотные параметры трассы.

Плановые параметры:

- углы поворота;
- радиусы горизонтальных кривых;
- длины переходных кривых;
- прямые вставки.

Высотные параметры:

- продольные уклоны;
- длины элементов в профиле;
- радиусы вертикальных кривых.

Для самотечных трубопроводов и каналов наиболее важно выдержать высотные параметры (особенно уклоны).

Для напорных трубопроводов, линий электропередач и связи уклоны мало влияют на проект трассы. В этом случае трассу проектируют наиболее короткой, расположенной в благоприятных условиях, то есть важнее выдержать плановые показатели.

Дорожные трассы требуют соблюдения как плановых, так и высотных параметров. Такие трассы должны удачно вписываться в ландшафт, а также трассу желательно располагать на землях, не имеющих хозяйственной ценности.

Проложение трассы в равнинных районах определяется контурными препятствиями, то есть ситуацией. При проектировании трассы стараются обходить контура и располагать вершины углов поворота приблизительно посередине контура или препятствия.

В высотном отношении трассу ведут вольным ходом, то есть проектную линию ведут по характерным точкам местности вдоль намеченного направления.

Основные правила трассирования в равнинных районах:

1. Трассу прокладывают по прямолинейным участкам от одного контура к другому, стремясь незначительно удлинить её и уклонять трассу от заданного направления (чем больше угол поворота, тем больше длина трассы).

2. Углы поворота стремятся иметь по возможности не более 30–45°, а оптимальные углы поворота 10–20°.

3. Длину прямой вставки рекомендуется оставлять не менее чем 200 метров, чтобы при необходимости осуществить разбивку переходных кривых.

4. В случае пересечения трассой водных препятствий и оврагов, ее проектируют приблизительно перпендикулярно к препятствию, а примыкание к существующим автомобильным и железнодорожным магистралям можно осуществить под любым углом, но к прямому участку магистрали.

Положение трассы в горных районах определяется высотными препятствиями, то есть рельефом. Так как уклоны в горной местности значительно превосходят допустимые значения, трассирование ведут «напряженным» ходом - это значит, что каждая линия задается предельным уклоном.

Чтобы выдержать этот уклон, требуется удлинять трассу, отклоняя ее на небольшие углы от заданного направления.

В плане горная трасса имеет сложнейшую конфигурацию, много углов поворота и короткие прямолинейные участки между ними.

Технология изысканий магистральных трасс. В процессе изысканий решаются следующие задачи: выбор оптимального варианта трассы и сбор необходимых топографо-геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других данных для составления проекта трассы.

При создании новых магистральных трасс различают три стадии проектирования.

На *предварительной стадии* производят технико-экономическое обоснование, которое выполняется в камеральных условиях по топографическим картам и планам, фотопланам, созданным на основе аэрофотосъемки, или используют цифровые модели местности, полученные по материалам тахеометрической съемки электронным тахеометром или съемки методом лазерного сканирования.

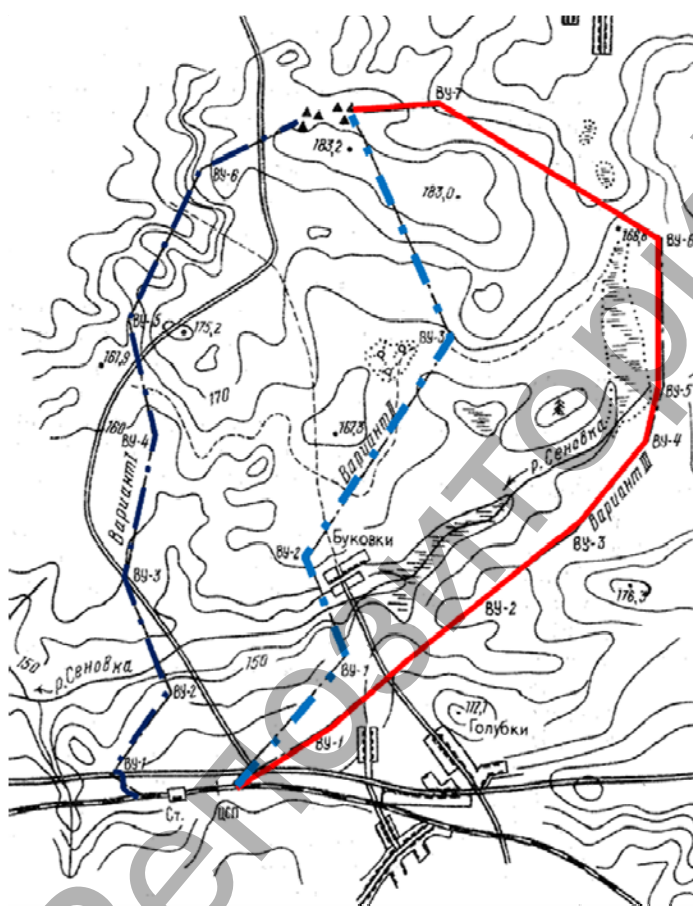


Рисунок 1.1 – Варианты трасс на топографической карте

На этой стадии выбирается направление, начальные и конечные точки трассы, причём намечают несколько вариантов трасс (рис.1.1) и производят их сравнение. Итогом предварительной стадии является составление технического задания. Проектная стадия включает в себя выбор окончательного варианта трассы путем технико-экономического сравнения нескольких вариантов; выбор достоверных материалов для разработки проекта; составление технического проекта трассы и всех сооружений на ней; составление сметы на строительство. Именно на этой стадии проводится полевое обследование, аэровизуальная разведка и аэросъемка, если это необходимо, и геодезическая привязка трассы.

На *окончательной стадии* ведутся полевые изыскания, состоящие в установлении на местности точного положения трассы, а также на этой стадии ведется сбор точных и полных материалов о существующих пунктах геодезического обоснования и видах съемок, проведенных на данной территории. Составляется рабочий проект трассы, включающий рабочие чертежи всех сооружений.

1.3. Камеральное трассирование

Состав работ при камеральном трассировании следующий:

1. Проложение трассы на топографической карте (фотоплане) или с использованием цифровой модели местности.
2. Измерение углов поворота и подбор радиусов кривых.
3. Вычисление основных элементов кривых.
4. Вычисление пикетажных значений главных точек кривых и разбивка пикетажа.
5. Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых.
6. Составление плана и профилей трассы (продольного и поперечного).

Камеральное трассирование линейных сооружений на топографической карте можно выполнить способом попыток или способом построения линии заданного уклона.

Способ попыток применяется только в равнинной местности и заключается в следующем. Между фиксированными точками намечают по карте кратчайшую трассу и составляют по ней продольный профиль местности. Затем по продольному профилю выявляют участки, в которых целесообразно сдвинуть трассу влево или вправо, чтобы отметки местности ближе подходили к проектным отметкам. Измененные участки вновь трассируют и составляют новый улучшенный профиль.

Способ построения линии заданного уклона предполагает построение на топографической карте линии нулевых работ. Линия строится следующим образом: из начальной точки трассы, придерживаясь заданного направления, раствором циркуля, равным заложению, засекают ближайшую горизонталь. Из полученной точки засекают соседнюю горизонталь тем же раствором и так далее по направлению в сторону конца трассы. При пересечении оврагов или рек переходят на другую сторону приблизительно перпендикулярно. В местах, где расстояние между горизонталями больше принятого заложения, точки выбирают произвольно.

Заложение равно

$$d = \frac{h}{i_{пр} \cdot M} \quad (1.1)$$



Рисунок 1.2 – Построение линии заданного проектного уклона

Рассмотрим пример. Пусть на карте масштаба 1:25000 с высотой сечения рельефа $h=5$ м нужно построить линию заданного проектного уклона трассы $i_{пр} \geq 0,020$ по направлению АВ. Имеем $d = \frac{5}{0,020} \cdot \frac{1}{25000} = 0,01 м = 10 мм$,

т. е. на местности $d_m = 250$ м, на карте $d_k = 10$ мм. Из точки А, придерживаясь заданного направления АВ, раствором циркуля, равным 10 мм, засекают ближайшую горизонталь. Из полученной точки б засекают соседнюю горизонталь тем же раствором и так далее (рис.1.2).

Построенную ломаную линию называют линией «нулевых работ», так как именно по этой линии для соблюдения проектного уклона не надо будет делать ни выемок, ни насыпей (рис.1.2). Причем в заданном направлении можно построить несколько вариантов линии «нулевых работ».

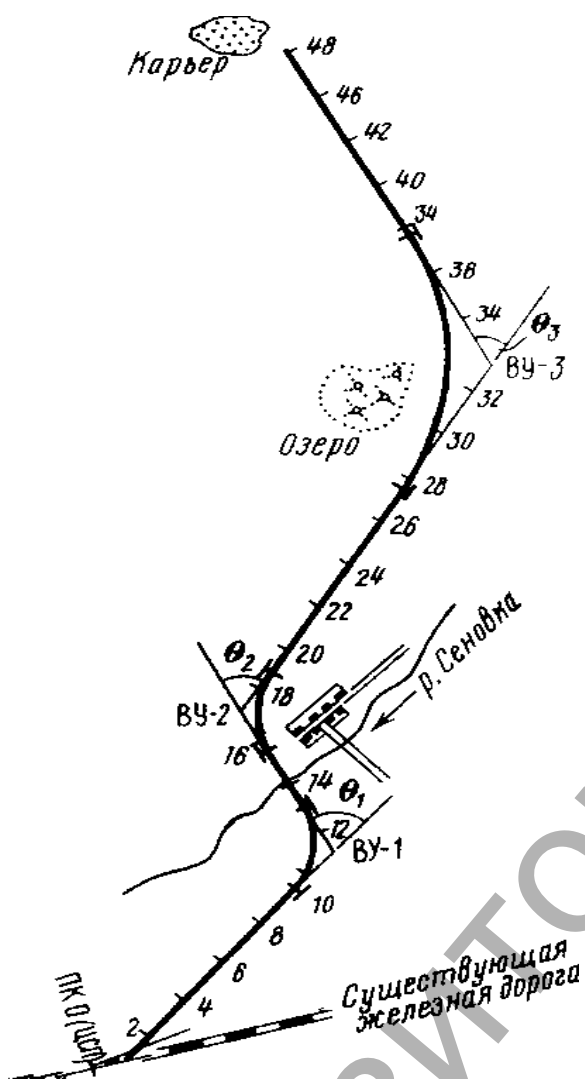


Рисунок 1.3 – Пример трассы с углами поворота и вписанными круговыми кривыми

Линия «нулевых работ» очень извилистая, и поэтому производят её спрямление, а затем на углах поворота разбивают круговые и переходные кривые, а также пикетаж по трассе (рис.1.3).

На топографической карте можно запроектировать несколько вариантов трасс, из которых затем выбирают окончательный вариант с наилучшими экономическими показателями и геологическими условиями.

По горизонталям определяют отметки пикетов и характерных точек и составляют продольный профиль трассы.

На продольном профиле проектируют проектную «красную» линию, выполняют расчеты уклонов по каждому участку «красной» линии, вычисляют проектные отметки по бровке земляного полотна, расстояния до точек «нулевых работ» и их отметки. Затем выполняются подсчет объема земляных работ; в тех местах, где получаются большие объемы земляных работ, трассу несколько смещают и перепроектируют данный участок.

Современная технология геодезических изысканий автомобильных дорог в Республике Беларусь включает в себя следующие виды работ:

1. Тахеометрическая съёмка электронным тахеометром и создание цифровой модели местности (ЦММ).
2. Камеральное трассирование на основе ЦММ (компьютерное проектирование в программном комплексе CREDO: «Линейные изыскания» или «Дороги» с целью составления продольного и поперечного профилей).
3. Вынос на местность оси дороги (восстановление трассы при ремонте или реконструкции) и выполнение полевого трассирования.
4. Исполнительная съёмка завершённого строительства (ремонта, реконструкции) электронным тахеометром с целью определения отклонений от проекта, составление исполнительных схем.

1.4. Полевое трассирование

Полевое трассирование включает в себя следующие виды работ:

1. Вынесение проекта трассы в натуру. Вешение линий.
2. Проложение по трассе магистрального хода (измерение горизонтальных углов и расстояний). Определение углов поворота.
3. Разбивка пикетажа с ведением пикетажного журнала.
4. Разбивка кривых (круговых, переходных, вертикальных).
5. Нивелирование трассы.
6. Окончательное закрепление трассы и её привязка к пунктам геодезической основы.
7. Съёмочные работы по трассе линейного сооружения.
8. Обработка полевого материала. Составление плана трассы, продольного и поперечных профилей.

Вынесение проекта трассы в натуру. Вешение линий. Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносится на местность, по данным привязки углов поворота к пунктам геодезической основы или к ближайшим четким контурам местности.

На данном этапе работу начинают с тщательной рекогносцировки местности и выявления вблизи трассы геодезических пунктов или точек четких контуров.

Сначала выносят на местность углы поворота по данным их привязки, а затем в створе направлений между смежными углами поворота устанавливается ряд вех и обследуется намеченное направление.

В зависимости от того, как трасса пересекает водотоки, овраги, существующие магистрали и другие препятствия, иногда приходится смещать провешенную линию или передвигать углы поворота. Так поступают для того, чтобы более удобно разместить элементы плана и профиля трассы и обеспечить минимальный объем земляных работ.

Окончательное положение углов поворота закрепляют.

По трассе прокладывают **магистральный теодолитный ход**. В нём принято измерять правые по ходу горизонтальные углы одним приёмом с точностью не более 30", то есть техническим теодолитом (рис. 1.3). Для контроля угловых измерений одновременно определяют по буссоли магнитные азимуты прямолинейных участков трассы.

Угол поворота θ образуется продолжением предыдущего и новым направлением трассы. Различают угол поворота вправо и угол поворота влево (рис. 1.3). Формулы для определения углов поворота:

$$\theta_{пр} = 180^{\circ} - \beta, \quad \theta_{лев} = \beta - 180^{\circ}. \quad (1.2)$$

Если расстояние между соседними вершинами гораздо больше 500 м, то устанавливаются створные точки, которые разбиваются при вешении линии через 100 метров.

Проверку правильности положения створной точки осуществляют отложением угла 180° при КЛ и КП теодолита.

Линейные измерения. При трассировании выполняется два вида линейных измерений:

- 1) измерение расстояний вместе с углами, по результатам измерений которых, вычисляются координаты углов поворота. Если углы наклона по трассе $>2^{\circ}$, то необходимо измерять вертикальные углы и вводить поправки за наклон в измеренное расстояние со

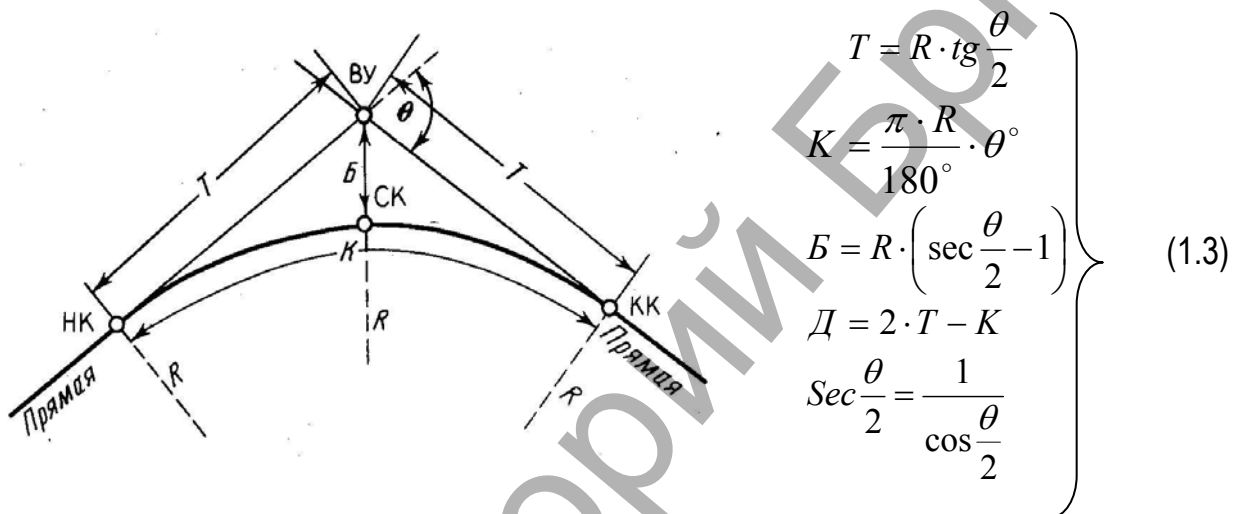
знаком «минус». Расстояния измеряют с точностью 1/1000 – 1/2000 в зависимости от условий местности с помощью светодальномеров, лазерных рулеток, мерными приборами (землемерной лентой, стальной рулеткой).

2) измерение расстояний с целью разбивки пикетажа, элементов кривых, профилей, а также для промеров до точек ситуации, расположенных вблизи трассы.

Начало трассы принимают за нулевой пикет (ПК 0). В процессе разбивки пикетажа вводят поправки за наклон местности, но со знаком «плюс».

Основными элементами круговой кривой (рис.1.3) являются:

- 1) тангенс T – это участок касательной от вершины угла до начала или конца кривой;
- 2) кривая (длина кривой) K – расстояние по кривой от НК до КК через СК;
- 3) биссектриса B – участок биссектрисы угла от вершины до середины кривой;
- 4) домер D – это величина, на которую кривая короче, чем два тангенса.



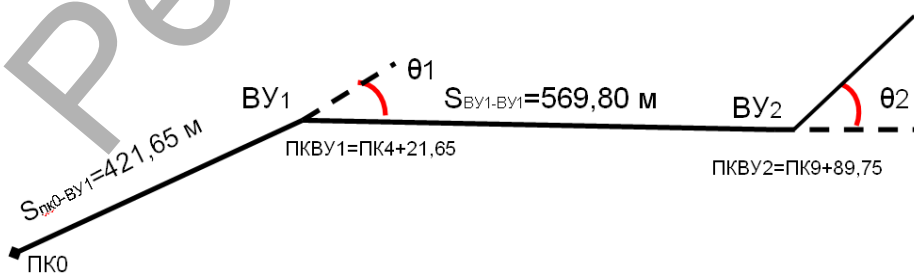
Для определения основных элементов кривых и детальной разбивки можно использовать таблицы Митина.

Вычисление пикетажных значений главных точек кривых начинают с вычисления пикетажа вершин углов поворота (ПК ВУ):

$$ПКВУ_1 = \frac{S_{ПК0-ВУ_1}}{100};$$

$$ПКВУ_2 = \frac{S_{ПК0-ВУ_1} + S_{ВУ_1-ВУ_2} - D_1}{100} \text{ и т. д.} \quad (1.4)$$

Рассмотрим пример.



Пусть длина первого прямолинейного участка

$$S_{ПК0-ВУ_1} = 421,65 \text{ м},$$

второго участка

$$S_{ВУ_1-ВУ_2} = 569,80 \text{ м},$$

домер для первой круговой кривой $D_1 = 1,70 \text{ м}$ (рис.1.5).

Рисунок 1.5 – Вычисление пикетажных значений вершин углов поворота

Тогда пикетажные значения вершин углов поворота равны:

$$ПКВУ1 = \frac{S_{ПК0-ВУ1}}{100} = \frac{421,65 м}{100} = ПК4 + 21,65,$$
$$ПКВУ2 = \frac{S_{нк0-1} + S_{12} - D_1}{100} = \frac{421,65 + 569,80 - 1,70}{100} = \frac{989,75}{100} = ПК9 + 89,75.$$

Затем вычисляют пикетажные значения начала, середины и конца кривой по формулам:

$$\begin{aligned} ПКНК &= ПКВУ - T, \\ ПКСК &= ПКНК + \frac{1}{2} K, \\ ПККК &= ПКНК + K, \end{aligned} \quad (1.5)$$

Контрольные формулы:

$$\begin{aligned} ПКСК &= ПККК - \frac{1}{2} K, \\ ПККК &= ПКВУ + T - D. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Разбивка круговой кривой заключается в вынесении на местность главных точек круговой кривой: начала, середины и конца кривой (НК, СК, КК).

Начало круговой кривой (НК) определяют на местности отложением величины тангенса T от вершины угла в сторону начала трассы, а при отложении тангенса по направлению трассы получим конец круговой кривой (КК).

Начало кривой на местности можно найти также путем отложения от ближайшего закрепленного пикета расстояния, вычисленного по пикетажу.

Середину кривой (СК) находят на местности, откладывая расстояние, равное биссектрисе B , по направлению половины измеренного правого горизонтального угла по ходу трассы.

Учёт домера при разбивке пикетажа. При разбивке на местности конца круговой кривой от вершины угла в сторону продолжения трассы откладывают величину домера D и, считая, что конец домера имеет пикетажное значение вершины угла поворота, продолжают дальнейшую разбивку целых пикетов. В этом случае местоположение конца круговой кривой (КК) определяют от ближайшего пикета или отложив от вершины угла по направлению трассы величину тангенса T .

Разбивку пикетажа производят с помощью 50- или 100- метровой ленты или рулетки.

Разбивка пикетажа работа трудоемкая и ответственная, поскольку именно к пикетажу привязывают все инженерно – геологические выработки по трассе, точки геофизической разведки и створы гидрометрических измерений.

Пикетажный журнал является документом, который ведется в блокноте или тетради в клетку. Посередине страницы вертикальной линией показывается ось трассы. На оси в масштабе снизу вверх наносят все пикеты и плюсовые точки, вершины углов поворота, поперечные профили, границы препятствий и ситуации приблизительно на 50 м от оси. В горных районах или населенных пунктах можно вместо пикетажного журнала составлять абрис. В этом случае не вытягивают ось трассы в прямую линию, а изображают ее ломаной и относительно ее показывают ситуацию.

Трасса должна быть надежно закреплена на местности, чтобы её легко можно было найти и восстановить перед строительством. Все опорные пункты трассы, фиксированные точки, вершины углов поворота, створные точки, места перехода через крупные препятствия закрепляют деревянными или железобетонными столбами и составляют абрис их привязки к местным предметам. Пикеты и плюсовые точки достаточно закрепить колышками со сторожками.

Разбивка пикетажа производится дважды: *первый раз* – при выносе на местность кривых и разбивке пикетажа и *второй раз* – в строительный период при восстановлении трассы.

При разбивке пикетажа мерной лентой должна быть обеспечена предельная относительная погрешность линейных измерений 1:1000.

Вместо введения поправки за наклон при разбивке пикетажа можно применять *ватерпасовку*, которая выполняется следующим образом: измерительный прибор укладывается примерно горизонтально, а приподнятый конец мерного прибора проецируется на землю с помощью нитяного отвеса. Мерный прибор следует поддерживать в середине, чтобы избежать его провисания.

Для более полной характеристики местности разбивают поперечные профили в обе стороны от трассы на расстоянии 15 – 30 метров и более.

Поперечные профили разбивают на таком расстоянии друг от друга, чтобы местность между ними имела однообразный уклон. Если уклон более чем 0,2 (200‰) $\approx 11^\circ$, то в этом случае продольные профили разбивают на всех пикетажных и всех плюсовых точках.

Детальная разбивка круговых кривых. При вынесении на местность круговых кривых необходимо всю длину кривой разбить на равные отрезки такой длины, чтобы можно было принять дугу за кривую.

Чем больше радиус R круговой кривой, тем больше интервал разбивки.

При $R \geq 500$ м интервал разбивки k равен 20 м, при $100 \text{ м} < R < 500 \text{ м}$ – 10 м, при $R < 100 \text{ м}$ – 5 м.

Точность детальной разбивки кривых зависит от точности выполнения элементарных разбивочных операций, таких как построение проектных углов и расстояний.

Существует ряд способов детальной разбивки кривых. Рассмотрим их.

Способ прямоугольных координат (рис. 1.7). В этом способе положение точек 1, 2, 3, ... на кривой через равные промежутки k определяется прямоугольными координатами $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots$, при этом за ось абсцисс принимают линию тангенса, а за начало координат – начало (НК) и конец кривой (КК).

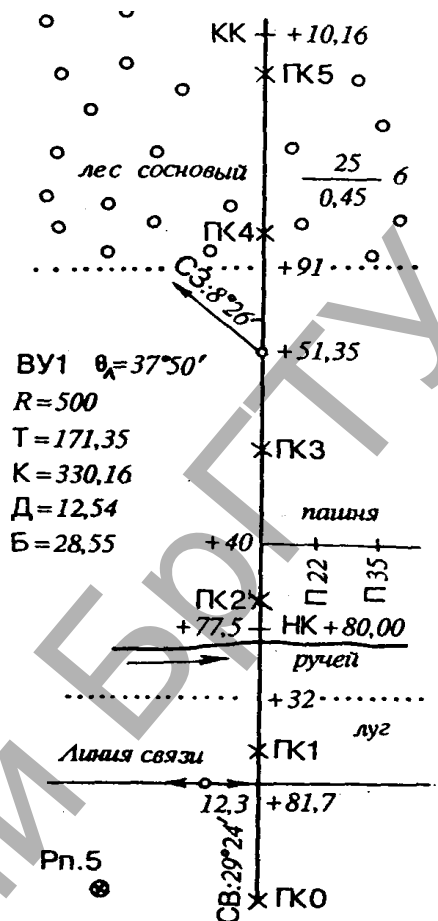


Рисунок 1.6 – Страница пикетажного журнала

От начала кривой по тангенсу в сторону вершины угла откладывается соответствующая вычисленная абсцисса x . В конце отложенного расстояния теодолитом строится угол, равный 90° , и по полученному направлению откладывается ордината y . Детальная разбивка точек ведется от начала и от конца кривой к середине, что повышает точность разбивки.

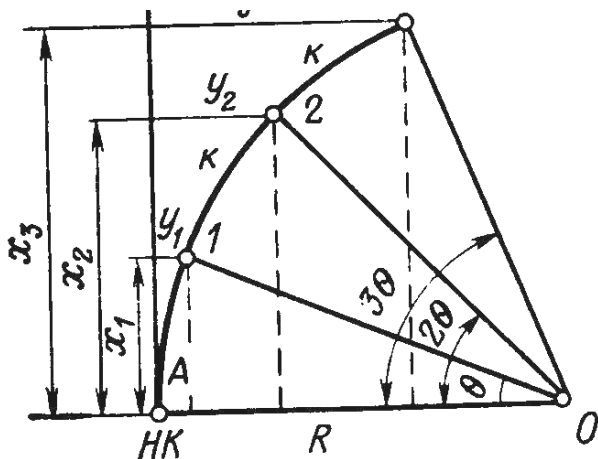


Рисунок 1.7 – Схема разбивки кривой способом прямоугольных координат

Основные формулы:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= R \cdot \sin \theta \\ y_1 &= R \cdot (1 - \cos \theta), \end{aligned} \right\} (1.7)$$

где угол $\theta = \frac{180^\circ \cdot k}{\pi \cdot R}$.

Достоинство способа заключается в том, что каждая точка кривой определяется независимыми промерами и при переходе от одной определяемой точки к другой погрешности не накапливаются.

Данный способ имеет высокую точность, и его применяют при детальной разбивке вертикальных кривых, при выносе концов переходных кривых, при выносе пикетов с тангенсов на круговые кривые, при выполнении съемочных работ, при выносе на местность осей зданий и сооружений. Рассмотрим пример выноса пикета с тангенса на кривую.

На рис.1.8 пикеты 3, 4 и 5 лежат на тангенсах. Рассмотрим пример выноса ПК3 на кривую. Пикетажное значение начало кривой равно ПК2+72,50, тогда расстояние от НКК до ПК3 составит $k = 27,50$ м. Вычисляем центральный вспомогательный угол θ , на который опирается дуга длиной 27,50 м (рис.1.7) и значения прямоугольных координат x и y по формулам (1.7): $x_3 = 27,50$ м, $y_3 = 0,06$ м. Аналогично вычисляем значения прямоугольных координат для выноса на кривую ПК4 от НКК: $x_4 = 127,23$ м, $y_4 = 6,25$ м. Вынос пикета 5 на кривую выполняют от конца круговой кривой (рис.1.8).

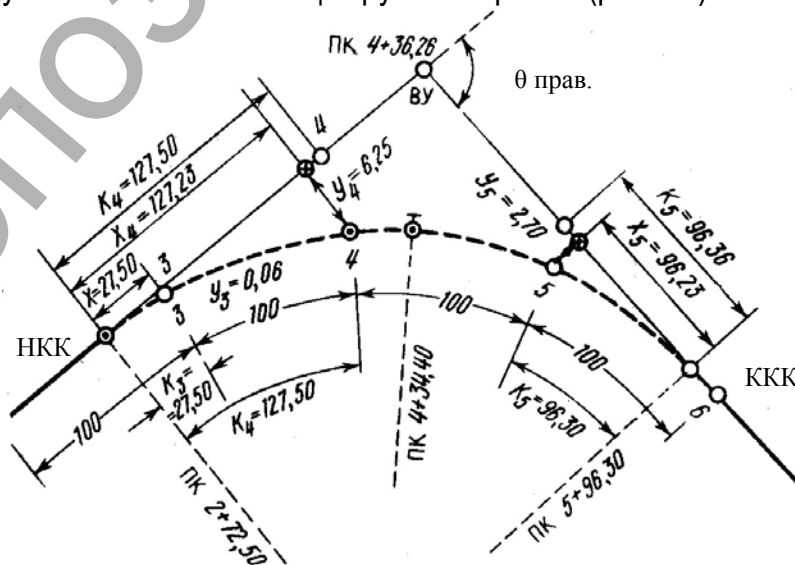


Рисунок 1.8. – Вынос пикетов с тангенса на кривую

Способ углов и (полярных координат). В этих способах (рис. 1.9 и 1.10) используется математическое положение, что углы с вершиной в какой-либо точке круговой кривой, образованные касательной и секущей и заключающие одинаковые дуги, равны половине соответствующего угла.

Элементами разбивки являются углы, которые необходимо откладывать теодолитом, установленным в начале кривой, от линии тангенса ($\frac{\theta}{2}$, θ , $\frac{3}{2}\theta$, 2θ и т. д.) и длина хорды, откладываемая рулеткой от предыдущей разбивочной точки до пересечения с построенным теодолитом направлением (последующей точкой на кривой).

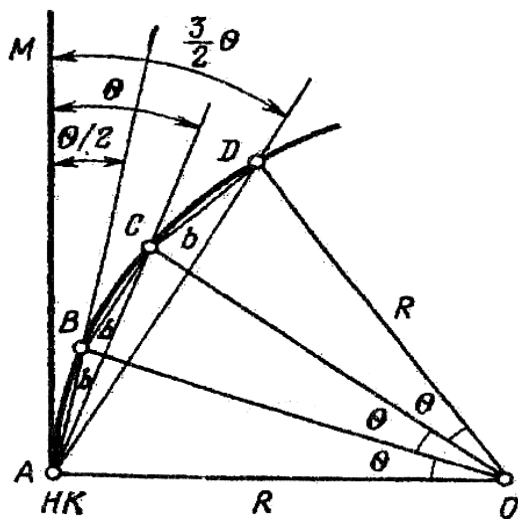


Рисунок 1.9 – Способ углов

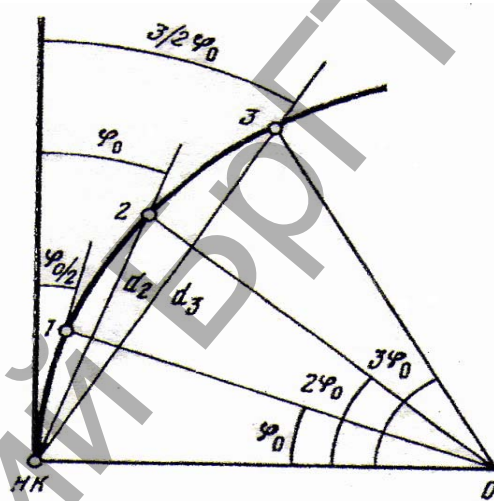


Рисунок 1.10 – Способ полярных координат

Для выполнения разбивки способом углов (рис.1.9) необходимо рассчитать величину угла по формуле:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{b}{2R}, \quad (1.8)$$

где b – длина хорды, которая соответственно вычисляется так $b = k - \frac{k^3}{24R^2}$.

Разбивку кривой осуществляют следующим образом. В начале кривой устанавливают теодолит и от линии тангенса задают угол, равный $\frac{\theta}{2}$; расстояние b , откладывая вдоль полученного направления длину хорды, равную шагу разбивки (5, 10, 20м). Найденную точку закрепляют. От того же направления теодолитом строят второй угол, равный θ . От точки В откладывают следующую длину хорды b так, чтобы её конец лежал в коллимационной плоскости теодолита, фиксируя на местности точку С кривой, и т. д. Недостаток способа заключается в том, что каждая последующая точка определяется относительно предыдущей и с возрастанием длины кривой точность детальной разбивки быстро падает.

Способ полярных координат не имеет такого недостатка, т. к. вынос на местность каждой точки выполняется независимо друг от друга.

При разбивке кривой способом полярных координат (рис. 1.10) теодолит (электронный тахеометр) устанавливают в точке начала (НК) или конца (КК) кривой и от направ-

ления тангенса откладывают углы φ_n , а вдоль каждого построенного направления длины линий d_n (радиус – векторы).

Для определения элементов разбивки вначале вычисляют величину исходного полярного угла по формуле:

$$\varphi_0/2 = \frac{k \cdot \rho}{2R}, \quad (1.9)$$

где k – интервал разбивки, который зависит от радиуса кривой и длины кривой K_n ; ρ – число минут в радиане ($206265'' = 3438' = 57,296^\circ$).

Величины полярных углов φ и длины радиус–векторов d вычисляют по формулам:

$$\varphi_n = n \cdot (\varphi_0/2); \quad d_n = 2R \cdot \sin \varphi_n. \quad (1.10)$$

Этот способ наиболее эффективен при разбивке кривых разной длины электронным тахеометром.

Способ продолженных хорд (рис. 1.11). Разбивку кривой этим способом ведут без теодолита. В основу его положен способ линейных засечек. По радиусу R и принятой длине хорды находят отрезки d и y , называемые промежуточным и крайним перемещениями.

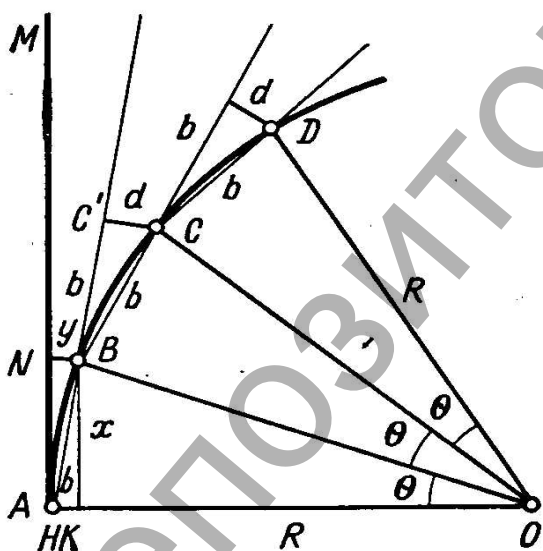


Рисунок 1.11 – Схема разбивки кривой способом продолженных хорд

Основные формулы:

$$\left. \begin{aligned} y &= b^2/2R; \\ d &= 2y = b^2/R \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

где b – длина хорды.

Положение первой разбивочной точки B можно определить способом прямоугольных координат или с отрезка тангенса $AN = b$ линейной засечкой радиус-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.

Точность данного способа не высока, его используют при разбивке коротких кривых. Недостаток способа тот же, что и у предыдущего. Применяется этот способ в стесненных условиях (в насыпи, выемке, в шахте) при невысокой точности разбивки.

Способ вписанного многоугольника (рис. 1.12). Точки на кривой через равные промежутки определяются путем последовательного отложения хорды l и угла между соседними хордами β_2 .

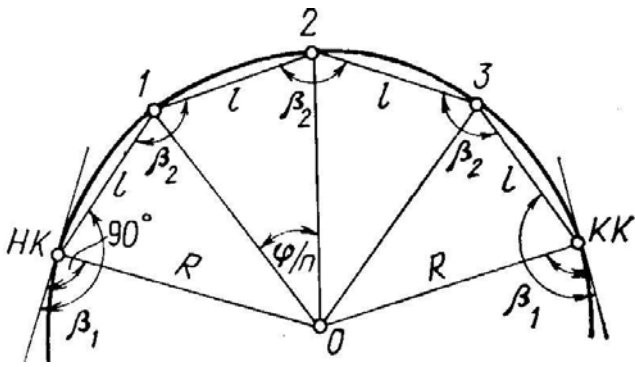


Рисунок 1.12 – Схема разбивки кривой способом вписанного многоугольника

Основные формулы:

$$\left. \begin{aligned} \text{хорда } l &= 2R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \\ \beta_2 &= 180^\circ - \varphi, \end{aligned} \right\} (1.12)$$

где $\sin \frac{\varphi}{2} = k/2R$.

Местоположение точки 1 на кривой определяют способом прямоугольных координат или полярным способом, построив в НК угол β_1 от предыдущего прямолинейного участка трассы и отложив длину хорды l . Затем в точке 1 устанавливают теодолит и строят угол, равный β_2 . Вдоль направления 1-2 откладывают хорду l , определяя на кривой точку 2, в которую переносят теодолит. В точке 2 производят такие же построения и т. д. Часть точек можно разбивать от начала кривой, остальные от конца, что позволит повысить точность.

Благодаря высокой точности линейных и угловых измерений, способ используется для разбивки кривых в тоннелестроении, а также для выноса в натуру осей сооружений, имеющих в сечении окружность или многоугольник.

Переходные кривые. Для уменьшения вредного влияния центробежной силы и обеспечения плавности движения при переходе с прямого участка пути на кривую их сопряжение осуществляется при помощи *переходной кривой*. Главной особенностью переходной кривой является ее радиус, который плавно изменяется от бесконечности в начале кривой до радиуса круговой кривой. Переходные кривые на автомобильных и железных дорогах (рис. 1.13), как правило, разбивают по формулам клотоидной кривой.

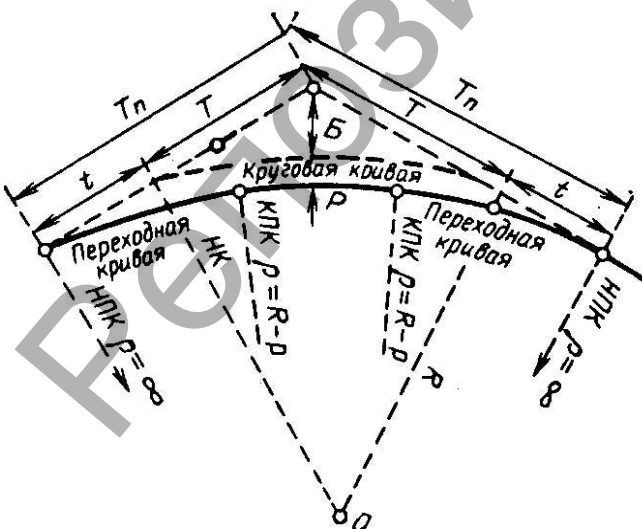


Рисунок 1.13 – Круговая кривая и две переходные кривые

В пределах переходной кривой делают односкатный поперечный профиль (вираж) с наклоном к центру кривой на автомобильных дорогах или поднимают наружный рельс над внутренним (на железнодорожных линиях).

При вставке переходных кривых круговая кривая с каждого конца укорачивается на величину, равную половине длины переходной кривой. Радиус круговой кривой уменьшается на величину ρ , угол поворота уменьшается на величину равную 2φ .

Вертикальные кривые. При проектировании трассы на переломах продольного профиля разбивают вертикальные кривые (рис. 1.14). В их качестве могут выступать круговые кривые с большими радиусами.

Основные элементы вертикальной кривой вычисляют по формулам

$$K_B = R_B \cdot \beta; \quad T_B = R_B \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}; \quad B_B = \sqrt{T_B^2 + R_B^2} \approx \frac{T_B^2}{2R_B}, \quad (1.13)$$

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

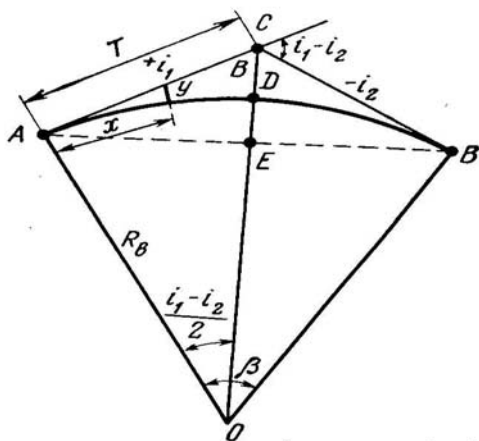


Рисунок 1.14 – Вертикальная кривая

Нивелирование трассы. По пикетам, по установленным вдоль трассы постоянным и временным реперам производят нивелирование способом «из середины», которое по точности может соответствовать геометрическому нивелированию III, IV классов либо техническому. Plusовые точки и поперечники нивелируют способом «вперёд»

Постоянные реперы устанавливают при закреплении трассы через каждые 20 – 30 км, а также в местах пересечения трассы существующих магистралей, вблизи переходов через крупные реки и горные препятствия, в населенных пунктах, на площадках станций. Дополнительно устанавливают временные реперы на расстоянии 2-3 км друг от друга, их закрепляют деревянными столбами. Все реперы должны располагаться вне зоны земляных работ. На каждый из них составляют абрис с привязкой к пикетажу трассы и к местным предметам.

Нивелирование для повышения качества производят в два нивелира, то есть двумя бригадами. Первым прибором нивелируют пикеты и плюсовые точки, геологические выработки, временные и постоянные реперы. Вторым прибором нивелируют реперы, пикеты, а также поперечные профили. Километровые пикеты и реперы обязательно нивелируют как связующие точки («из середины») обоими приборами.

Одиночное нивелирование вдоль трассы разрешается при длине трассы не более 50 км. При нивелировании соблюдаются следующие требования:

- расстояние от нивелира до рейки 100-150 м (при благоприятных условиях видимости);
- нивелирование выполняется по двухсторонним рейкам;
- если нивелирование ведется по связующим точкам через два пикета, то остальные пикеты определяются как промежуточные при одном взгляде на рейку (вычисление отметок этих точек ведется через горизонт инструмента).

Точность технического нивелирования характеризуется невязкой замкнутого полигона или одиночного хода между исходными пунктами, равной $f_{\text{пред}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L_{\text{км}}}$. На автомобильных дорогах, согласно ведомственной инструкции, $f_{\text{пред}} = \pm 30 \text{ мм} \sqrt{L_{\text{км}}}$.

Привязка трассы к пунктам геодезического обоснования необходима для вычисления координат углов поворота, определения абсолютных отметок точек, а также для контроля работ и повышения точности. Привязку к пунктам триангуляции или полигонометрии и к реперам нивелирной сети обязательно выполняют в начале, в конце и по всей трассе через определенные промежутки (через 20-30 км).

Точность геодезических работ по привязке должна быть не ниже точности геодезических работ при проложении трассы.

Съемочные работы. При полевом трассировании производят крупномасштабную (1:500, 1:1000, 1:2000) топографическую съемку для отдельных участков трассы.

Методы съемки: тахеометрическая съемка, лазерное сканирование (участков дорог в выемке, тоннелей), в залесенной местности – нивелирование поверхности по характерным линиям (по перпендикулярам к основному направлению трассы).

Съемку ведут узкой полосой вдоль трассы 20-40 м по обе стороны от оси трассы, максимальная ширина полосы может составлять 150-200 метров.

Камеральная обработка полевых материалов выполняется по мере продвижения работ по трассе, составляются планы трассы, продольные и поперечные профили на отдельные участки.

Особенности трассирования магистральных трубопроводов. Первоначально варианты трассы намечают по топографической карте, стремятся приблизить трассу к уже имеющимся железным и автомобильным дорогам. При камеральном трассировании *точность определения расстояний и координат* составляет в среднем 0,5 мм, в масштабе карты. *Погрешность определения высотного положения (отметки)* относительно горизонталей зависит от неровностей рельефа и величины углов наклона местности: составит $1/8 h$ при углах наклона до 2° и $1/6 h$ – свыше, где h – высота сечения рельефа.

Для проектирования применяют аэрофотосъемку масштаба 1:10000 – 1:2000, развивают геодезическое обоснование и выполняют планово-высотную привязку и дешифрирование снимков. Одновременно проводится инженерно-геологическая съемка, с целью выявления заболоченных, засоленных или загрязненных сточными водами участков. По фотопланам масштаба 1:5000 – 1:10000 и по материалам геодезической съемки намечают наиболее выгодную трассу.

На полевом этапе изысканий уточняют положение трассы на местности и закрепляют ее основные точки, выбирают место переходов и площадки станций. Трассу располагают вдоль участков со спокойным рельефом и грунтами, легко поддающимися разработке, учитывают коррозионность грунтов и уровень грунтовых вод.

Лучше всего трубопровод располагать по пологому водоразделу параллельно проезжим дорогам с углами поворота до 30° .

Для составления рабочих чертежей проводится полевое трассирование с измерением и закреплением углов поворота, разбивкой и нивелированием пикетажа, съемкой пересечений и переходов.

Геодезическая основа для изысканий, проектирования и строительства.

Съемочные и разбивочные плановые сети могут быть созданы методами триангуляции, полигонометрии, теодолитными ходами, спутниковыми методами. Плановые геодезические знаки являются одновременно и реперами высотной сети, отметки которых определяют из геометрического нивелирования IV класса. Трассу трубопровода закрепляют на местности: на незастроенной местности – деревянными колышками, на асфальте – открасками или коваными гвоздями, на бетоне – метками, за пределами трассы – створными знаками. В процессе строительства все пикетные точки трассы уничтожаются, поэтому положение оси трассы проверяется промерами от створных знаков.

Наземная топографическая съемка участков трубопровода, площадок головных и промежуточных станций выполняется в масштабах 1:500 – 1:1000 с $h=0,5$ м, в этих масштабах составляют и планы съемки. Сегодня, в основном, применяется тахеометрическая съемка.

Для каждого вида трубопровода установлена типовая сетка чертежа профиля. Пример продольного профиля канализации приведен в Приложении 3.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание. Обработать результаты полевого трассирования автомобильной дороги и построить продольный и поперечный профили.

Инженерно-геодезические изыскания автомобильной дороги заключаются в определении расположения ее оси на местности в плановом и высотном положении. Вынос трассы осуществляется по пикетам. Пикетаж – система закрепления и обозначения на местности точек трассы (пикетов). Горизонтальное положение между соседними пикетами равно 100 метров. Также по трассе отмечают плюсовые (промежуточные) точки – перегибы рельефа, границы угодий, пересечения с действующими коммуникациями. Плановое положение трассы определяется направлением (румбов), длиной прямолинейных участков и криволинейных в углах поворота, высотное – определением отметок всех точек на трассе, по результатам технического нивелирования.

При проектировании трассы соблюдают требования, которые устанавливают в ТКП 45-3.03-19-2006 Автомобильные дороги. Нормы проектирования [6].

Таблица 2.1 – Технические характеристики автомобильных дорог

Требования	Категория а/д и разрешённая скорость в км/ч				
	Ia – Ib 120-140	II 120	III 100	IV 80	V 60
1. Наибольшие продольные уклоны в ‰	30	40	50	60	70
2. Наибольшие радиусы горизонтальных (круговых) кривых, м					
– в равнинной местности	1200	800	600	300	150
– в горной местности	1000	600	400	250	125
3. Наименьшие радиусы вертикальных кривых, м					
– выпуклых	8000	5000	3000	2000	1500
– вогнутых	25000	15000	10000	5000	2500

В продольном проектном профиле автодорога состоит из линий различного уклона, но не превышающих предельного значения для заданной категории дороги [6].

Исходные данные выдаются преподавателем лично каждому студенту:

- 1) отметки начального и конечного реперов;
- 2) журнал технического нивелирования по трассе и пикетажный журнал (см. приложение 1).

Рассмотрим камеральную обработку журнала технического нивелирования на конкретном примере. Её целью (см. табл. 2.1) является вычисление отметок всех точек трассы. Схема нивелирования трассы от репера 1 (начального) до репера 2 (конечного) приведена на рис. 2.1.

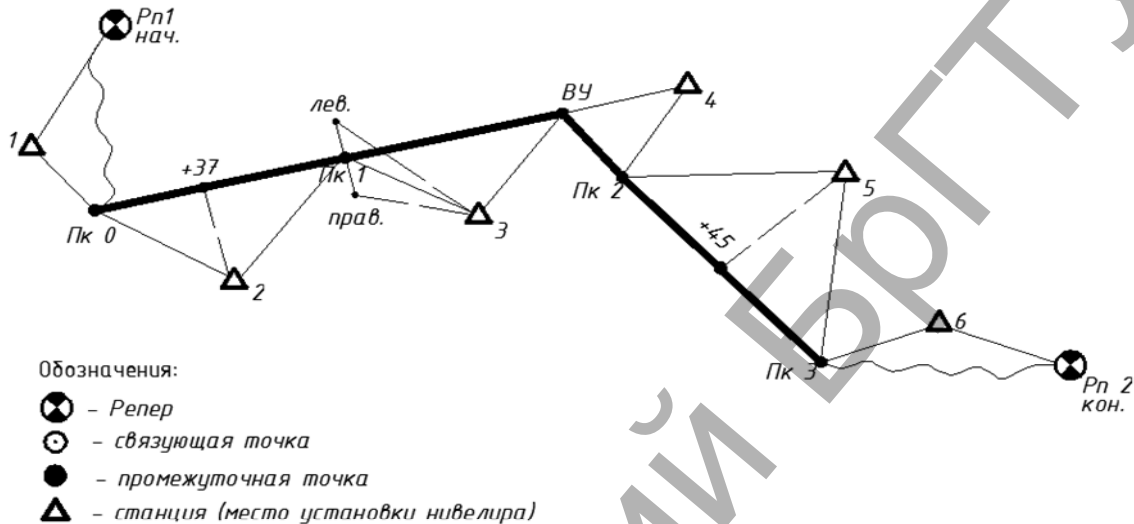


Рисунок 2.1 – Схема нивелирования трассы

Журнал нивелирования обрабатывают в следующей последовательности:

1. **Для каждой станции вычисляем превышения между связующими точками**, ими являются реперы и пикеты. Для этого из отсчетов на заднюю рейку вычитают отсчеты на переднюю рейку (по черной и красной сторонам реек):

$$h = 3 - П. \quad (2.1)$$

Результаты записывают в графу 6 таблицы 2.1.

Рассмотрим пример вычисления превышений на станции 1

$$h_{\text{чер.}} = 1120 - 1568 = -448 \text{ мм}; \quad h_{\text{кр.}} = 5806 - 6250 = -444 \text{ мм}$$

Разность между полученными превышениями по черной и красной сторонам реек, полученная при работе на станции в техническом нивелировании, не должна превышать ± 5 мм, на станции 1 эта величина составляет -4 мм, что меньше допуска.

2. **Находим средние значения из вычисленных превышений** (с округлением до 1 мм) и записывают в графу 7.

$$\text{Так, на станции 1} \quad h_{\text{ср.}} = \frac{(-448) + (-444)}{2} = -446 \text{ мм.}$$

Если в значении среднего превышения последней цифрой окажется 0,5 мм, то округление производят до ближайшего целого четного числа (в миллиметрах). Например, $h_{\text{ср.}} = +1714,5 \approx +1714 \text{ мм.}$

3. **Производим постраничный контроль вычислений**, для чего на каждой странице находим сумму всех задних отсчетов ΣZ , сумму передних отсчетов $\Sigma П$, сумму вычисленных превышений $\Sigma h_{\text{выч.}}$ и сумму средних превышений $\Sigma h_{\text{ср.}}$ и проверяем равенство

$$\Sigma Z - \Sigma П = \Sigma h_{\text{выч.}} = 2\Sigma h_{\text{ср.}} \quad (2.2)$$

В нашем примере $\Sigma Z - \Sigma П = 41289 - 46167 = -4878$ мм.

$\Sigma h_{\text{выч.}} = -4878$ мм; $\Sigma h_{\text{ср.}} = -2439$ мм; $2\Sigma h_{\text{ср.}} = -4878$ мм.

Последние значения могут отличаться на 2–3 мм от первых двух за счет округления средних превышений.

Таблица 2.2 – Журнал технического нивелирования

№ станций	№№ точек	Отсчеты по рейкам, мм.			Превышения, мм.			Горизонт инструмента, м	Отметка точки, м
		задний	передн.	промеж.	вычисленное	среднее	уравненное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Реп 1 ПКО	1120	1568		-448	+2 -446	-444		50,546
		5806	6250		-444				50,102
2	ПКО	1353	0199		+1154	+2 +1154	+1156	51,455	50,102
	ПК1	6040	4886		+1154				51,258
	+37			2632					48,823
3	ПК1	0368	2768		-2400	+2 -2400	-2400	51,626	51,258
	ВУ	5052	7456		-2404				48,858
	П+20			1624					50,002
	Л+20			1036					50,590
4	ВУ	0110	2966		-2856	+3 -2858	-2855		48,858
	ПК2	4796	7656		-2860				46,003
5	ПК2	1801	0783		+1018	+2 +1017	+1019	47,804	46,003
	ПК3	6487	5471		+1016				47,002
	+45								47,504
6	ПК3	1836	0742		+1094	+2 +1096	+1098		47,022
	Реп.2	6520	5422		+1098				48,120
Суммы		41289	46167		-4878	-2439	-2426		-2426
Контроль		$\Sigma Z - \Sigma П = \Sigma h_{\text{выч.}} = 2\Sigma h_{\text{ср.}}$						$\Sigma h_{\text{уравн.}} = H_{\text{Р2}} - H_{\text{Р1}}$	
Невязки		$f_h = \Sigma h_{\text{ср.}} - (H_{\text{Р2}} - H_{\text{Р1}}) = -13$ мм			$f_{h \text{ доп.}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L} = \pm 32$ мм		L – длина хода 0,4 км		

4. **Определяем невязку** в разомкнутом нивелирном ходе по формуле:

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср.}} - (H_{\text{кон.}} - H_{\text{нач.}}), \quad (2.3)$$

где $\Sigma h_{\text{ср.}}$ – сумма средних превышений;

$H_{\text{кон.}}$ – отметка конечного репера (Рп2);

$H_{\text{нач.}}$ – отметка начального репера (Рп1).

В нашем примере невязка равна $f_h = -2439 - (48120 - 50546) = -13$ мм.

5. **Вычисляем допустимую невязку** по формуле:

$$f_{h \text{ доп.}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{0,4} = \pm 32 \text{ мм}, \quad (2.4)$$

где L – длина хода, выраженная в километрах, в нашем варианте 0,4 км.

6. **Уравниваем превышения между связующими точками.** Если полученная невязка допустима, т. е. $f_h \leq f_{h \text{ доп.}}$, то её распределяют поровну в виде поправок V_h во все средние превышения с обратным знаком $V_h = \frac{-f_h}{n}$.

Для получения уравненного превышения к среднему превышению (вычисленному на станции) прибавляют поправку с учетом знака $h_{\text{уравн.}} = h_{\text{ср.}} + V_h$.

Контроль уравнивания превышений: сумма поправок должна быть равна невязке с обратным знаком, а сумма уравненных превышений – теоретической сумме, т. е.

$$\sum h_{\text{уравн.}} = \sum h_T = H_{Pn2} - H_{Pn1}, \quad (2.5)$$

в нашем случае $\sum h_{\text{уравн.}} = -2426$; $H_K - H_H = -2426$ мм.

7. **Вычисляем отметку передней связующей точки** по заданной отметке начального репера. Отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс уравненное превышение между ними (с учетом знака превышения)

$$H_{\text{послед. точки}} = H_{\text{предыд. точки}} + h_{\text{уравн.}} \quad (2.6)$$

Например: $H_{\text{ПК0}} = H_{\text{р.п.1}} + h_{\text{уравн.}} = 50,546 + (-0,444) = 50,102$ м.

$H_{\text{ПК1}} = H_{\text{ПК0}} + h_{\text{уравн.}} = 50,102 + 1,156 = 51,258$ м.

Отметки выражают в метрах, а превышения получают в миллиметрах, поэтому при вычислении отметок превышения необходимо выражать в метрах. Эти данные заносим в графу 10, пропуская заполнение графы 9 таблицы 2.1

Последним вычислением в графе 10 должны получить исходную отметку конечного репера.

8. **Вычисляем горизонт инструмента (ГИ)** только тех станций, с которых нивелировались промежуточные точки, их расстояние фиксировалось плюсовым значением от ближайшего предыдущего пикета.

Горизонтом инструмента называют отметку визирной оси нивелира на данной станции над исходной уровенной поверхностью.

Горизонт инструмента станции равен отметке задней точки плюс отсчет по черной стороне рейки, установленной на этой точке. Вычисленный результат записывают в графу 9.

$$ГИ_{СТ} = H_{\text{зад.}} + a_{\text{зад.}}^{\text{чер.}} \quad (2.7)$$

На станции № 2 будет $ГИ_{СТ2} = 50,102 + 1,353 = 51,455$ м.

9. **Вычисляем отметки промежуточных точек** по формуле 4.9. Отметка промежуточной точки вычисляется от горизонта инструмента минус отсчет по черной стороне рейки на промежуточную точку.

$$H_{\text{промеж.}} = ГИ_{СТ} - a_{\text{промеж.}}^{\text{чер.}} \quad (2.8)$$

В нашем примере: $H_{+37} = 51,455 - 2,632 = 48,823$.

В характерных точках местности, прилегающей к оси трассы, нивелируют так называемые поперечники. Точки поперечников нивелируют так же, как и промежуточные точки.

В нашем примере поперечник разбит на ПК1 и пронивелирован со станции 3. Перпендикулярно оси нивелирного хода на ПК1 была разбита линия и на ней в характерных местах рельефа были намечены точки, расстояния до которых от ПК1 измерены рулеткой. После того, как со станции 3 были пронивелированы связующие точки ПК1 и ВУ, нивелируются промежуточные точки. Берутся отсчеты по черной стороне рейки на промежуточные точки, находящиеся на поперечнике П+20 и Л+20 (справа и слева 20 м от ПК1), которые записаны в графу 5 нивелирного журнала.

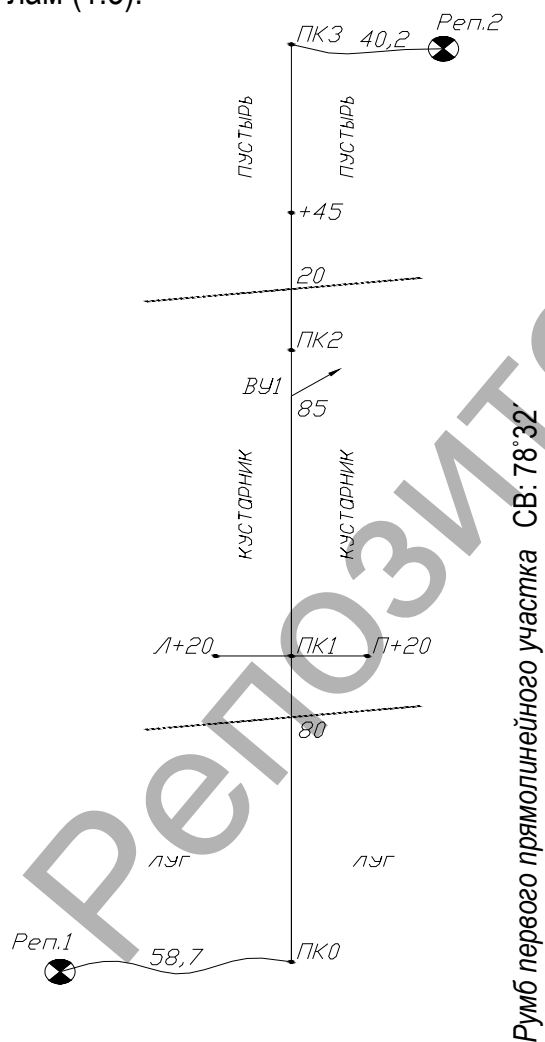
Горизонт инструмента на станции 3 равен: $ГИ_{ст.3} = 51,258 + 0,368 = 51,626$ м.

Отметки точек поперечника будут равны: $Н_{П+20} = 51,626 - 1,624 = 50,002$ м.

$Н_{Л+20} = 51,626 - 1,036 = 50,590$ м.

Расчет элементов круговой кривой и вычисление пикетажных значений главных точек.

По исходному углу поворота трассы θ и радиусу R (рис. 1.4) вычисляют остальные элементы круговой кривой: тангенс T ; кривую K ; биссектрису B и домер D по формулам (1.3).



$$\theta_{\text{прав.}} = 79^{\circ}38'; \quad R = 50,0 \text{ м.}$$

Элементы кривой:

$$T = 41,68 \text{ м; } K = 69,49 \text{ м; } D = 13,87 \text{ м; } B = 15,10 \text{ м.}$$

Пикетажные значения

$$\begin{array}{r} \text{ПКВУ1} = \text{ПК1} + 85,00 \\ - T \quad \quad \quad - 41,68 \\ \hline \text{ПКНК} = \text{ПК1} + 43,32 \\ + K \quad \quad \quad + 69,49 \\ \hline \text{ПККК} = \text{ПК2} + 12,81 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{ПКНК} = \text{ПК1} + 43,32 \\ + 0,5K \quad \quad + 34,75 \\ \hline \text{ПКСК} = \text{ПК1} + 78,07 \end{array}$$

Контрольные вычисления

$$\begin{array}{r} \text{ПКВУ1} = \text{ПК1} + 85,00 \\ + T \quad \quad \quad + 41,68 \\ \hline \text{ПК2} + 26,68 \\ - D \quad \quad \quad - 13,87 \\ \hline \text{ПККК} = \text{ПК2} + 12,81 \\ - 0,5K \quad \quad - 34,75 \\ \hline \text{ПКСК} = \text{ПК1} + 78,06 \end{array}$$

Рисунок 2.2 – Страница пикетажного журнала

Вычисление пикетажных значений главных точек кривой НК, СК и КК выполняют в правой части пикетажного журнала (см. рис. 2.2).

Построение продольного профиля трассы автодороги.

После вычисления отметок всех точек по трассе приступают к построению продольного профиля и поперечников. Профиль строят на миллиметровой бумаге формата А-3, где все размеры откладывают без измерителя. Масштабы для вертикальных линий обычно принимают в десять раз крупнее масштаба для горизонтальных линий, благодаря чему профиль приобретает большую наглядность. Для профиля автодороги рекомендуется взять масштабы: горизонтальный 1:2000 или 1:1000; вертикальный масштаб, как правило, выбирают в 10 и более раз крупнее горизонтального, например 1:200 или 1:100.

Для построения профиля надо в принятом масштабе по горизонтали отложить все горизонтальные расстояния между точками, участвовавшими в нивелировании, а в вертикальных направлениях все отметки этих точек с учетом вертикального масштаба.

Профиль строят в следующем порядке. Вначале карандашом вычерчивают профильную сетку. Профильная сетка состоит из ряда горизонтальных линий и имеет различные графы. Для данной работы рекомендуется расположение граф и их размеры в миллиметрах взять согласно рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Расположение и размеры граф профильной сетки

Графы 1 и 2 заполняются в соответствии с данными пикетажного журнала. Номера пикетов подписывают через 100 м (10 см) с учетом горизонтального масштаба 1:1000, как показано в нашем примере, в Приложении 2. В графе 2 «Расстояния» выделяют вертикальными отрезками с указанием расстояний плюсовых точек.

В графу 3 выписывают из журнала технического нивелирования вычисленные отметки пикетных и плюсовых точек с округлением их до сотых долей метра. Например, если вычисленная в журнале отметка ПК1 равна 51,258, то на профиле в графу 3 над ПК1 подписывают 51,26.

После заполнения графы 3 приступают к построению профильной линии. Верхней линии сетки задается условный горизонт так, чтобы самая низкая точка профиля располагалась над сеткой на расстоянии 5-7 см. В нашем примере условный горизонт принят 38 м. Далее отметки всех точек откладывают от линии условного горизонта в вертикальном масштабе. Для заполнения графы 6 "План трассы" используют пикетажный журнал,

Верхнюю горизонтальную линию профильной сетки (верхнюю линию графы «план трассы») следует совместить с одной из линий на миллиметровой бумаге, а нижняя линия должна располагаться от нижнего края листа на 5 см, для того чтобы указать значения масштабов.

Исходными материалами для составления продольного и поперечного профилей являются пикетажный журнал и журнал технического нивелирования трассы автодороги. По данным пикетажного журнала заполняют графы 1, 2, 6, а по данным журнала технического нивелирования – графу 3. Нумерация граф сетки профиля ведется снизу вверх по мере их заполнения

из которого переносят всю ситуацию. Посредине графы проводят красным цветом прямую линию – проектную ось трассы. По обе стороны от этой линии подписывают наименования угодий и условными знаками (или словами) обозначают ситуацию на местности, стрелками углы поворота.

Заполнение графы 1 "Пикеты, прямые, кривые".

Круговые кривые, сопрягающие прямые участки трассы изображаются в графе 1 условным знаком в виде дуги красным цветом, как показано в Приложении 2.

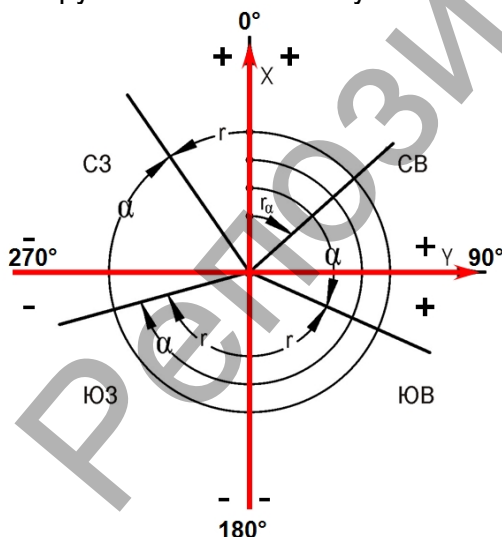
В графе 1 подписывают черным цветом номера пикетов. Посредине графы вначале карандашом проводят прямую линию, по которой в масштабе от ПК0 откладывают пикетажные наименования начала и конца кривой.

В графе «план прямых и кривых» вычерчивается условный план трассы. Начало и конец кривой отмечается вертикальной чертой, по их пикетажным значениям. В нашем примере (см. пикетажный журнал рис. 2.2) НК=ПК1+43,32 и КК=ПК2 +12,81. Таким образом, для получения точки НК в графе 1 нужно от ПК1 отложить 43,3 мм в масштабе 1:1000, а для получения КК от ПК2 надо отложить 12,8 мм.

Кривые участки трассы обозначаются условными дугами (высотой 5 мм) по длине, равной значению кривой. Положение дуги кривой определяется направлением угла поворота, дуга вычерчивается выпуклостью вверх, для углов поворота вправо (как в нашем примере, см. приложение 2) и выпуклостью вниз для углов поворота влево.

Внутри каждой дуги выписывают ее параметры и элементы: радиус, угол поворота трассы, тангенс, кривую, биссектрису и домер. В начале и конце условного знака кривой проводятся вертикальные прямые до линии пикетажа: на этих линиях с обеих сторон подписываются расстояния от начала и конца кривой до ближайших пикетов, между которыми они находятся. Сумма этих расстояний, подписанная с обеих сторон вертикальной линии, всегда равна 100 м.

На прямых участках условного плана трассы вписывают (графа 1) длины прямых линий и румбы этих линий. Под линией подписывают её длину, над линией – направление румба и его величину.



- I – СВ: $r = \alpha$
- II – ЮВ: $r = 180^\circ - \alpha$
- III – ЮЗ: $r = \alpha - 180^\circ$
- IV – СЗ: $r = 360^\circ - \alpha$

Румбом r называется горизонтальный угол между направлением данной линии и ближайшим (северным или южным) направлением осевого меридиана. Величина румба сопровождается названием четверти, обозначающих стороны света и указывающих направление линии: например, $r = СЗ:42^\circ 12'$. Связь дирекционных углов и румбов показана на рис. 2.4.

Рисунок 2.4 – Связь между дирекционными углами румбами

По румбу предыдущего прямого участка и угла поворота трассы вычисляют румб следующего прямого участка. Для этого нужно перейти от румба к дирекционному углу и произвести вычисления по формулам:

$$\alpha_{\text{послед.}} = \alpha_{\text{пред.}} + \theta_{\text{прав.}} \quad \text{или} \quad \alpha_{\text{послед.}} = \alpha_{\text{пред.}} - \theta_{\text{лев.}} \quad (2.9.)$$

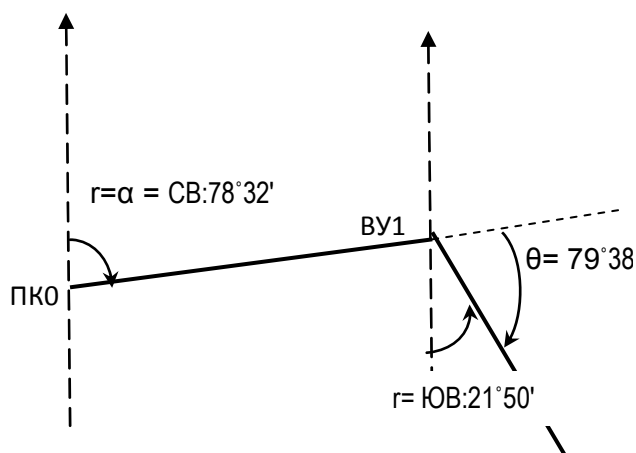


Рисунок 2.5 – Схема трассы с дирекционными углами и румбами

Рассмотрим пример. Пусть румб начального направления от ПК0 до НК1 $r = \text{СВ}: 78^\circ 32'$ и трасса поворачивает вправо $\theta_{\text{прав.}} = 79^\circ 38'$ (рис. 2.2).

Дирекционный угол $\alpha_1 = 78^\circ 32'$, следовательно, дирекционный угол последующего участка:

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \theta_{\text{прав.}} = 78^\circ 32' + 79^\circ 38' = 158^\circ 10'.$$

Тогда румб второго участка

$$r_2 = (180^\circ - 158^\circ 10') = \text{ЮВ}: 21^\circ 50' \quad (\text{рис. 2.5}).$$

Рассмотрим другой пример. Пусть румб начального направления $r = \text{ЮЗ}: 37^\circ 18'$ и трасса поворачивает налево $\theta_{\text{лев.}} = 41^\circ 10'$. Дирекционный угол $\alpha_1 = 180^\circ + 37^\circ 18' = 217^\circ 18'$, следовательно, $\alpha_2 = \alpha_1 - \theta_{\text{лев.}} = 217^\circ 18' - 41^\circ 10' = 176^\circ 08'$ и румб равен $r_2 = (180^\circ - 176^\circ 08') = \text{ЮВ}: 3^\circ 52'$.

Все записи и линии в графе 1 (кроме номеров пикетов) оформляются красным цветом.

Проведение проектной линии выполняют при соблюдении следующих условий:

- 1) проектная отметка точки начала трассы ПК0 должна совпадать с фактической отметкой (земли) этой же точки $H_{\text{ПК0}}^{\text{проектн.}} = H_{\text{ПК0}}^{\text{факт.}}$; также и в конце трассы;
- 2) объём земляных работ должен быть минимальным и сбалансированным;
- 3) продольный уклон линии не должен превышать предельного значения уклона, который задаётся преподавателем;
- 4) проектная линия должна состоять из 2-х участков с разными уклонами в точках перелома.

Вначале намечают линию проектного профиля, соблюдая на глаз равенство площадей выемки и насыпи. Затем определяют графически по профилю проектные отметки на всех переломных точках профиля. В местах перелома проектного профиля в графе «Проектные уклоны» проводят вертикали, разделяющие отрезки трассы с разными уклонами. На каждом участке внутри графы 5 проводят линию, показывающую направление уклона, и подписывают его значение и длину. Знак уклона «±» не подписывают, так как эту характеристику положительное или отрицательное значение графически указывает направление уклона.

Графически определяют проектные отметки начала и конца участка трассы, вычисляют проектный уклон

$$i = \frac{H_{\text{кон.}}^{\text{проектн.}} - H_{\text{нач.}}^{\text{проектн.}}}{d} \quad (2.10)$$

Если полученный уклон i меньше заданного предельного, то вычисляют проектные отметки всех пикетов и плюсовых точек первого, а затем последовательно и остальных отрезков проектного профиля по формуле

$$H_{n+1}^{\text{np}} = H_n^{\text{np}} + i \cdot d, \quad (2.11)$$

где H_{n+1}^{np} – проектная отметка определяемой точки;
 H_n^{np} – проектная отметка предыдущей точки;
 i – вычисленный проектный уклон;
 d – расстояние между соседними точками n и $n+1$.

Рассмотрим расчет проектного уклона на первом участке от ПК0 до ПК1 (см. Приложение 2). Принимаем проектную отметку ПК0 равной фактической отметке, т. е. 50,10. Отметку точки перелома, совпадающую с ПК1 определяем по рисунку, она равна тоже 50,10, следовательно, проектный уклон первого участка равен 0‰ и проектные отметки его все равны 50,10. На втором участке от ПК1 до ПК3 точка перелома, а проектная отметка ПК3 по профилю равна 45,00, следовательно, проектный уклон второго участка длиной $d=200$ м будет

$$i = \frac{h}{d} = \frac{45,00 - 50,10}{200} = -0,0255 = -25,5 \text{‰}.$$

Полученный проектный уклон $i = -25,5 \text{‰}$ меньше предельного ($i_{пред.} = 30 \text{‰}$), что соответствует заданным условиям.

Проектная (красная) отметка любой точки на этом участке вычисляется по формуле 2.11.

Например: $H_{ПК-2}^{np} = H_{ПК+1}^{np} + i \cdot d = 50,10 - 0,0255 \cdot 100 = 47,55 \text{ м}$.

Если $i > i_{пред.}$, то проектный уклон участка нужно уменьшить за счет увеличения объемов земляных работ.

Вычисленные уклоны и расстояния записывают в графу 5, а проектные отметки в графу 4. Графы 4 и 5 оформляют красным цветом. Разность между проектной отметкой точки и отметкой поверхности земли (фактическая) показывает высоту насыпи или глубину выемки и называется *рабочей отметкой* h .

$$h_p = H^{проектн.} - H^{фактич.} \quad (2.12)$$

Рабочие отметки выписываются на расстоянии 0,5 см от проектной линии. Отметка насыпи выписывается *над* проектной (красной) линией, а отметка выемки – *под* проектной линией.

Определение положения точек нулевых работ и их отметок.

Точка нулевых работ находится на пересечении линии проектного профиля и линии профиля поверхности земли (рис. 2.6).

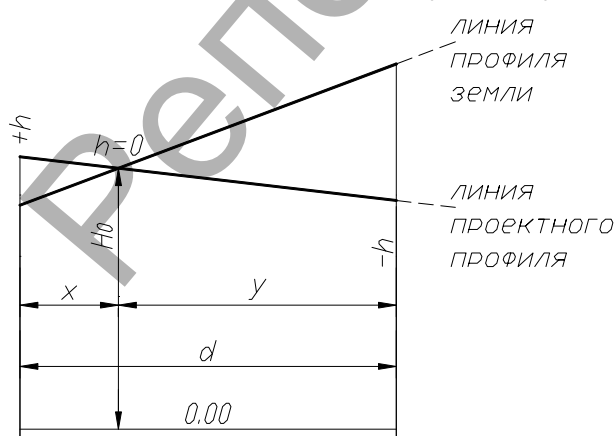


Рисунок 2.6 – Положение точки нулевых работ

Расстояния до точки нулевых работ x и y от пикетных точек трассы определяют из соотношения

$$\frac{+h}{x} = \frac{|-h|}{y} = \frac{+h + |-h|}{d}; \quad (2.13)$$

$$x = \frac{+h \cdot d}{+h + |-h|}; \quad y = \frac{|-h| \cdot d}{|-h| + h}, \quad (2.14)$$

где $+h$ и $-h$ – положительные и отрицательные рабочие отметки;

d – расстояние между ними на участке трассы с уклоном i .

В формулах 2.14 отрицательные отметки берутся по абсолютной величине. Например, расстояния от точки нулевых работ до ПК0+37 и до ПК 1 будут равны

$$x = \frac{1,28}{1,28 + 1,16} \cdot 63 = 33,05 \text{ м} \quad y = \frac{1,16}{1,28 + 1,16} \cdot 63 = 29,95 \text{ м.}$$

Отметку точки нулевых (H_0) работ вычисляют по формуле:

$$H_0 = H_{ПКХ}^{проект} + i \cdot x, \quad (2.15)$$

где i – проектный угол на участке, где находится точка нулевых работ.

В нашем случае на участке от ПК0+37 до ПК1 отметка точки нулевых работ $H_0 = 50,10 + 0\% \cdot 33,05 = 50,10$ м (горизонтальный проектный участок).

На участке от ПК1 до ПК2 проектный уклон равен $-25,5\%$, рабочая отметка на ПК1 $h_{ПК1} = -1,25$ м, а на ПК2 $h_{ПК2} = +1,55$ м. Расстояния до точки нулевых работ вычисляем по формулам 4.13, их значения будут $X=57,20$ м; $Y=42,80$ м. Вычисляем отметку точки нулевых работ по формуле 2.14

$$H_0 = 50,10 + (-25,5\% \cdot 42,80) = 49,01 \text{ м.}$$

На профиле точки нулевых работ оформляются синим цветом.

Профили поперечников строят в одинаковых масштабах для горизонтальных и вертикальных расстояний 1:100 или 1:200. Располагают поперечные профили на том же листе миллиметровки с продольным профилем трассы в наглядном месте (в нашем примере) над сеткой профиля левее шкалы отметок. Данными для построения продольного профиля являются расстояния между точками поперечника и их фактические отметки из табл. 2.1, которые выписываются на поперечном профиле (см. Приложение 2).

В середине на продольном профиле располагается точка трассы, на которой определялся (разбивался) поперечник, и подписывается ее пикетажное значение. В нашем примере поперечник задан на ПК1 и нивелировался со станции №3.

Оформление профилей. Профиль вычерчивается разными цветами. При этом профильная сетка и наименования её граф вычерчивается черным цветом. Черным цветом оформляются номера пикетов в графе 1, графы 2, и 3; линии продольного и поперечного профиля, построенные по фактическим отметкам уровня земли.

Красным цветом оформляют проектные отметки (графа 4), проектные уклоны и длины участков проектной линии (графа 5), в графе 6 красным цветом проводится осевая линия (условного плана трассы) и выписываются все параметры круговой кривой. Рабочие отметки выписываются красным цветом около линии профиля. Синим цветом оформляют отметки точек нулевых работ и расстояния от них до ближайших пикетов.

Сверху чертежа подписывают "Продольный профиль автодороги" и внизу масштабы горизонтальный и вертикальный.

Список использованной литературы

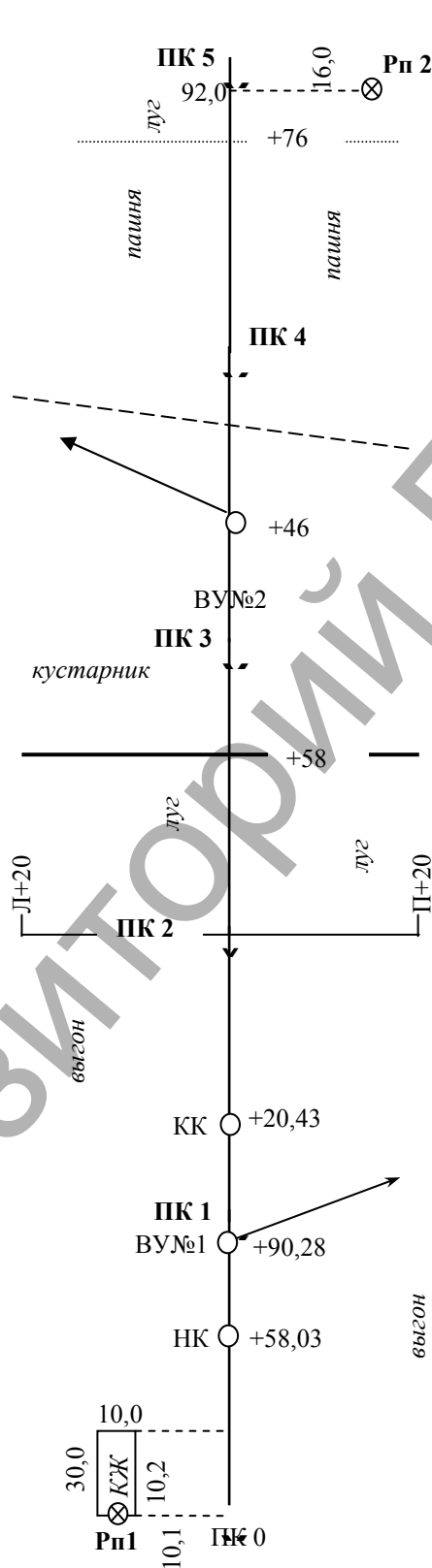
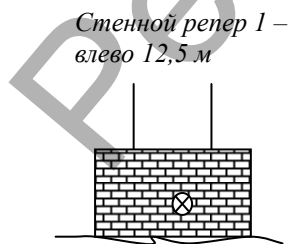
1. Подшивалов, В.П. Инженерная геодезия / Нестеренок М.С. – Минск: Выш. шк., 2011. – 463 с.
2. Инженерные изыскания для строительства: СНБ 1.02.01–96 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 1996. – 110 с
3. Основы инженерных изысканий: Учебно-методический комплекс для студентов спец. 1-56 02 01 «Геодезия» / Л. Ф. Зуева. – Новополоцк: УО «ПГУ», 2004.
4. Методические указания для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Инженерная геодезия» / Н. В. Синякина; С. Г. Нагурный – Брест: УО «БрГТУ», 2011.
5. Климов, О.Д., Практикум по прикладной геодезии: Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений / В.В. Калугин, В.К. Писаренко. – М.: Альянс, 2008.
6. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006 / Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2006.

Приложение 1

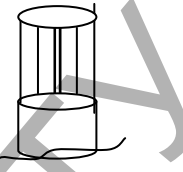
Исходные данные для выполнения контрольной работы
Пикетажный журнал

$\text{УГ}_{2\text{лев}} = 31^\circ 45'$
 $R_2 = 150 \text{ м}$
 $T =$
 $K =$
 $B =$
 $D =$

$\text{УГ}_{1\text{пр}} = 35^\circ 45'$
 $R_1 = 100 \text{ м}$
 $T = 32,25 \text{ м}$
 $K = 62,40 \text{ м}$
 $B = 5,07 \text{ м}$
 $D = 2,10 \text{ м}$



Грунтовый репер 2 (рельс) – от
 ПК 4+92,0 вправо 16,0 м



ВУ№2
 - T
 НК

+K
 КК

Контроль
 ВУ№2
 + T
 Σ
 - D
 КК

ВУ№1
 ПК0+90,28
 - T 32,25
 НК
 ПК0+58,03
 +K 62,40
 КК ПК1+20,43

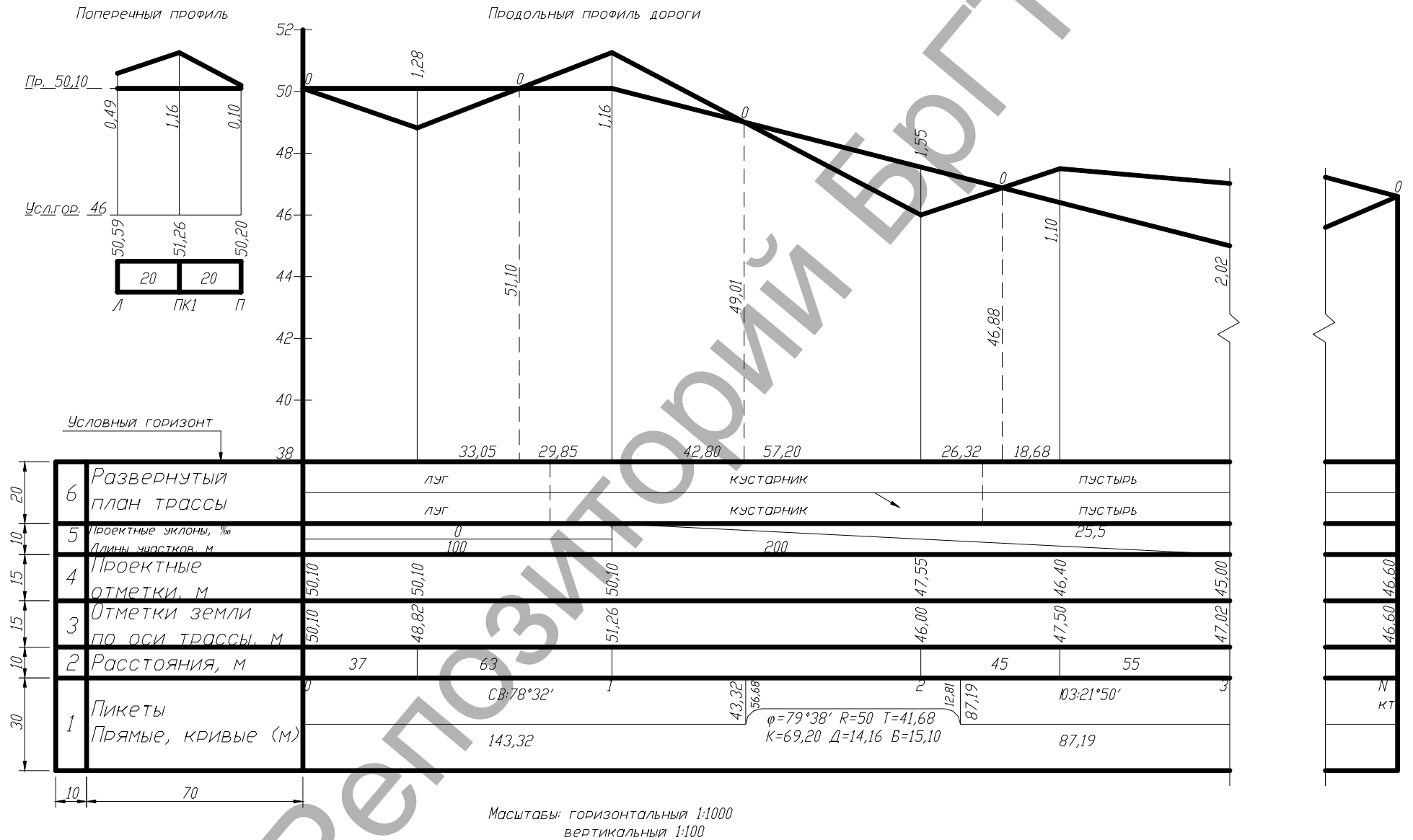
Контроль
 ВУ№1 ПК0+90,28
 + T 32,25
 Σ ПК1+22,53
 - D 2,10
 КК ПК1+20,43

Румб первого прямолинейного участка ЮВ:28°15'

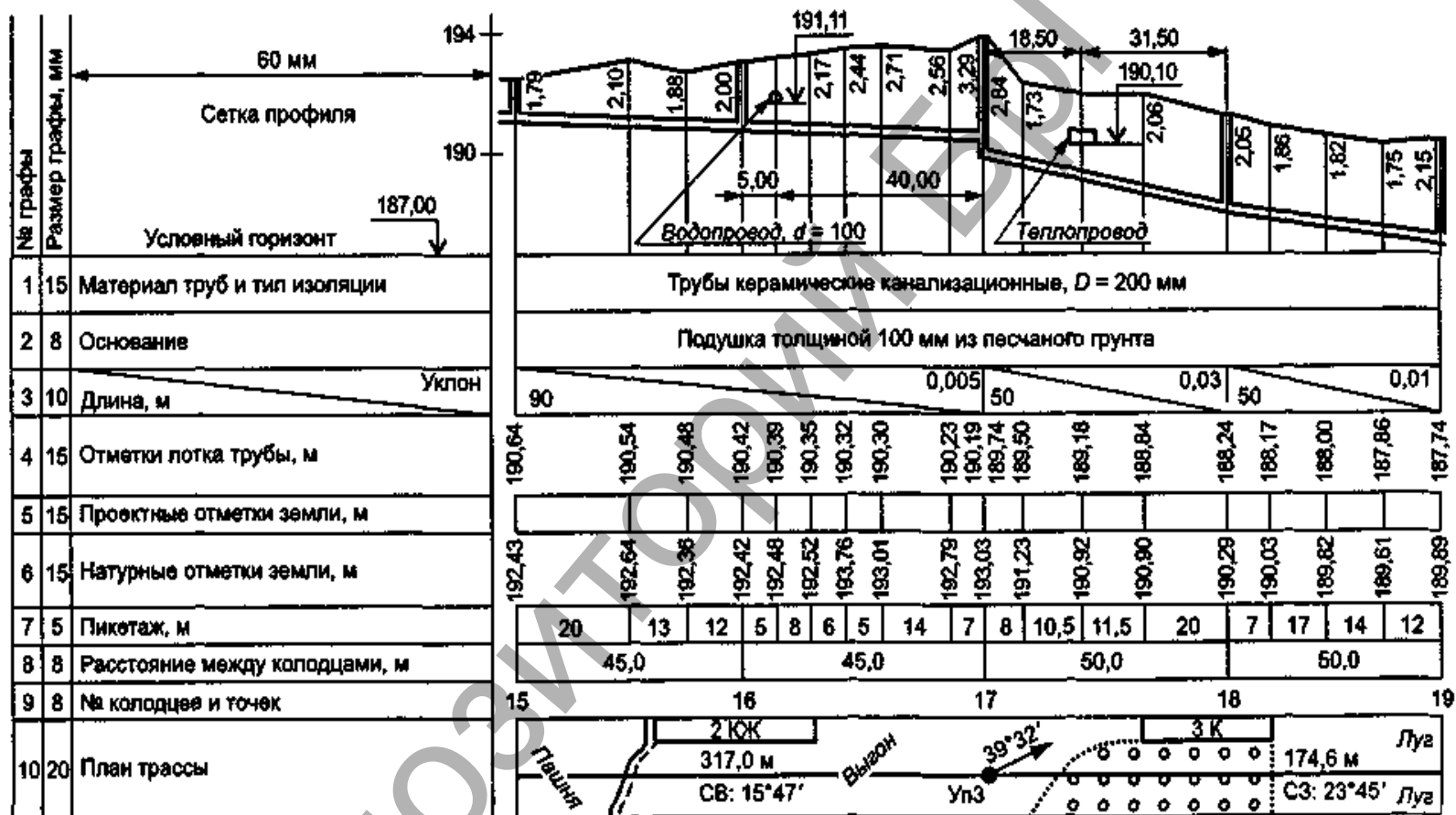
Продолжение приложения 1 Журнал технического нивелирования

№ станции	№№ точек	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм			Горизонт инструмента ГИ, м	Отметка точки, м
		задний	передний	промежуточный	вычисленное	среднее, поправки	уровненное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Реп1	1330							110,010
		6010							
	ПК0		2632						
			7312						
2	ПК0	2360							
		7042							
	ПК1		2689						
			7368						
3	ПК1	1061							
		5741							
	ПК2		3370						
			8050						
4	ПК2	1684							
		6364							
	ПК3		0962						
			5642						
	ПК2 П+20			1991					
	ПК2 Л+20			1839					
5	ПК3	0478							
		5160							
	ПК4		1055						
			5734						
	ПК3+85			2898					
6	ПК4	1842							
		6522							
	Х		0739						
			5419						
7	Х	1350							
		6030							
	ПК5		0379						
			5059						
8	ПК5	1432							
		6114							
	Реп2		2850						106,885
			7529						
Постраничный контроль									
Невязки									

Приложение 2 Пример оформления продольного профиля дороги



Продольный профиль канализации



Масштабы: горизонтальный 1:1000
вертикальный 1:100

Учебное издание

Составители:

*Зуева Людмила Фёдоровна
Кандыбо Светлана Николаевна*

Методические указания

для выполнения контрольной работы
по дисциплине «Инженерная геодезия»
на тему «Трассирование линейных сооружений»

Ответственный за выпуск: Зуева Л.Ф.
Редактор: Боровикова Е.А.
Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.
Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано в печать 15.11.2018 г. Формат 60x84 1/16. Бумага «Performer».
Гарнитура «Arial Narrow». Усл. печ. л. 2,09. Уч. изд. л. 2,25. Заказ № 1372. Тираж экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Репозиторий БРГТУ