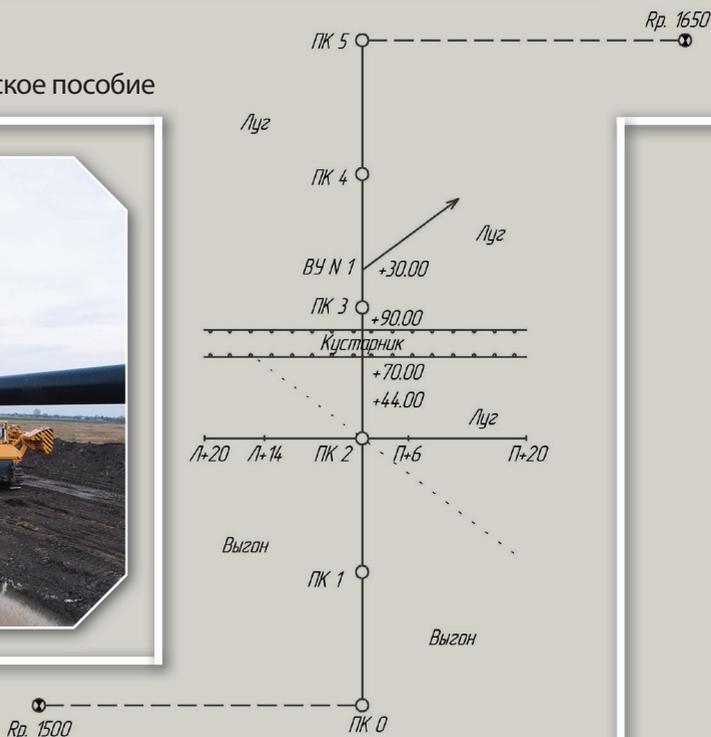


Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

Л.Н. Грицкив

ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЛИНЕЙНОГО СООРУЖЕНИЯ. ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Электронное
учебно-методическое пособие



УДК 528.48(075.8)
ББК 26.117я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, директор ООО «Экспертный
центр Кузнецова» *А.В. Кузнецов*;

канд. техн. наук, доцент, доцент Центра архитектурных,
конструктивных решений и организации строительства
Тольяттинского государственного университета *В.Н. Шишканова*.

Грицкив, Л.Н. Построение продольного профиля линейного сооружения. Выполнение расчетно-графической работы : электронное учебно-методическое пособие / Л.Н. Грицкив. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2022. – 1 оптический диск. – ISBN 978-5-8259-1105-2.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Геодезия 2». В работе излагается методика выполнения расчетно-графической работы по трассированию линейных сооружений, которая включает в себя обработку журнала геометрического нивелирования трассы, расчет прямых и кривых участков трассы, расчет пикетажных значений круговой кривой, построение продольного и поперечного профилей трассы, детальную разбивку круговой кривой.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство» (направленности (профили) «Промышленное и гражданское строительство», «Теплогазоснабжение и вентиляция»), очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8/10; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© Грицкив Л.Н., 2022

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2022

Редактор *Е.В. Пилясова*
Технический редактор *Н.П. Крюкова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

В оформлении пособия использовано
изображение от *aleksandarlittlewolf* на Freepik

Дата подписания к использованию 30.06.2022.
Объем издания 2,3 Мб.
Комплектация издания: компакт-диск,
первичная упаковка.
Заказ № 1-49-21.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	7
2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАССЕ И ТРАССИРОВАНИИ	8
3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	11
3.1. Обработка журнала геометрического нивелирования	12
3.2. Вычисление элементов горизонтальной кривой, расчет прямых и кривых участков трассы. Вычисление дирекционных углов и румбов прямых участков	15
3.3. Построение продольного профиля трассы трубопровода ...	18
3.4. Проектирование профиля трассы трубопровода	19
3.5. Вычерчивание поперечного профиля автодороги	20
4. ОФОРМЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ	22
5. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ СПОСОБОМ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	26
Вопросы для текущего контроля	27
Практические задания для текущего контроля	28
Критерии и нормы оценки	29
Библиографический список	30
Глоссарий	31
Приложение А	32
Приложение Б	33
Приложение В	34
Приложение Г	35
Приложение Д	36
Приложение Е	37
Приложение Ж	39
Приложение И	41
Приложение К	42
Приложение Л	43
Приложение М	44

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов направления подготовки бакалавров «Строительство», изучающих дисциплину «Геодезия 2».

Цель дисциплины – формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков по комплексу геодезических работ, выполняемых в период изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений; подготовка бакалавра, владеющего теоретическими и практическими основами геодезических измерений, знающего устройство и назначение геодезических приборов, условия их эксплуатации, владеющего техникой измерительных и разбивочных работ на строительной площадке, владеющего техникой контроля построенных элементов сооружений и сооружения по окончании строительства.

Задачи дисциплины – научить студентов ориентироваться на местности, понимать, читать топографическую карту и решать задачи по карте; пользоваться геодезическими приборами: знать устройство, выполнять их поверку и юстировку; самостоятельно выполнять угловые, высотные и линейные измерения.

Цель работы заключается в изучении студентами последовательности действий при нивелировании трассы, проведении геодезических расчетов при обработке журнала нивелирования, построении продольного и поперечного профилей трассы.

Для достижения поставленной цели в расчетно-графической работе необходимо решить следующие задачи:

- обработать журнал геометрического нивелирования;
- выполнить расчет пикетажных наименований трассы, рассчитать пикетажные значения круговой кривой, построить продольный и поперечный профили;
- запроектировать на продольном профиле ось линейного сооружения.

После выполнения работы студент должен

знать:

- последовательность обработки журнала геометрического нивелирования;
- расчет главных элементов кривых;

уметь:

- выполнять математическую обработку полевых измерений;
- выполнять основные поверки и юстировки нивелира;

владеть:

- методикой составления профилей местности;
- навыками проектирования на топографическом профиле.

1. СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

В соответствии с программой дисциплины в пособии изложены теория и практика геодезических работ при проектировании линейных сооружений (трубопроводов, автомобильных дорог). Учебно-методическое пособие составлено с учетом того, что студенты уже знакомы с устройством геодезических приборов и порядком работы с ними, знают методику выполнения нивелирных ходов, порядок камеральной обработки.

Расчетная часть задания выполняется на лабораторных занятиях. Графическая часть задания выполняется как самостоятельная работа.

Выполнение задания по всем частям позволит студентам ознакомиться и практически освоить все вопросы, связанные с разбивкой пикетажа, построением профиля трассы линейного сооружения и проектированием на нем. В результате выполнения этого задания студент получит необходимые сведения по всему комплексу полевых и камеральных геодезических работ, связанных с изысканиями линейных сооружений.

Конечным результатом работы является представление к сдаче следующих материалов:

- журнал нивелирования трассы;
- расчет пикетажных значений главных точек кривой;
- ведомость прямых и кривых;
- продольный и поперечный профили трассы.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАССЕ И ТРАССИРОВАНИИ

В ходе изысканий для линейных сооружений в первую очередь решают вопрос о плановом и высотном положении трассы. Трассой называется ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная либо на местности, либо на топографической карте. Она представляет собой ломаную линию, которая состоит из участков разного направления. Основные элементы трассы: план — ее проекция на горизонтальную плоскость и продольный профиль — вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения. В плане трасса должна быть по возможности прямолинейной, так как всякое отклонение от прямолинейности приводит к ее удлинению и увеличению стоимости строительства, затрат на эксплуатацию. В продольном профиле трасса состоит из линий различного уклона, соединенных между собой вертикальными кривыми. Продольный профиль строится по черным или топографическим отметкам, и на нем проектируют будущую линию трассы. В характерных точках местности перпендикулярно к трассе составляют поперечные профили [7].

На трассах электропередачи, канализации горизонтальные и вертикальные кривые не проектируют, и трасса представляет собой ломаную пространственную линию.

В зависимости от назначения трасса должна удовлетворять определенным требованиям, которые устанавливаются техническими условиями на ее проектирование. Так, на самотечных каналах и трубопроводах необходимо выдержать проектные уклоны при допустимых скоростях течения воды.

Для дорожных трасс основные требования — плавность и безопасность движения с расчетными скоростями. Поэтому на дорожных трассах устанавливают минимально допустимые уклоны и максимально возможные радиусы кривых.

Степень искривления трассы определяется значениями углов поворота.

Угол, образованный продолжением предыдущего направления трассы и последующим, называется углом поворота трассы.

На трассах магистральных и железных дорог, трубопроводов и линий электропередачи (ЛЭП) углы поворота не должны превышать 15...20°. Прямолинейные участки трасс железных и автомобильных дорог, трубопроводов сопрягаются в основном круговыми кривыми, представляющими собой дугу окружности определенного радиуса. На железных дорогах минимально допустимые радиусы — 400...200 м, на автомобильных в зависимости от категории дороги — 600...60 м, на трассах трубопроводов — $1000 d$, где d — диаметр трубопровода [6].

На железных и автомобильных дорогах при радиусах кривых, соответственно меньших 3000 и 1500 м, для более плавного и безопасного движения устраивают сложные кривые — круговые с переходными.

Важнейший элемент профиля трассы — ее продольный уклон. Чтобы соблюсти определенный допустимый уклон, особенно в сложной пересеченной местности, приходится не только отступать от прямолинейного следования трассы, но и увеличивать длину трассы (развивать трассу). На автомобильных дорогах уклоны колеблются от 0,040 до 0,090 промили.

Радиусы вертикальных кривых в зависимости от вида сооружения и направления кривой (выпуклая, вогнутая) находятся в пределах от 1000 до 200 м [6].

Комплекс инженерно-изыскательных работ по выбору трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на ее возведение и эксплуатацию, называется трассированием.

Оптимальную трассу находят путем технико-экономического сравнения различных вариантов. Если трассу определяют по топографическим планам или аэрофотоматериалам, то трассирование называют камеральным, если ее выбирают непосредственно на местности, то — полевым [6].

Камеральное трассирование заключается в предварительном выборе оптимального варианта трассы с использованием карт мелкого, а затем более крупного масштаба.

Полевое трассирование выполняют или без предварительного выбора трассы на карте, или выносят в натуру выбранный на кар-

те вариант трассы. Все работы при этом разделяются на полевые и камеральные.

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

При трассировании различают плановые и высотные (профильные) параметры. К плановым параметрам относятся углы поворота трассы, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки. К высотным — продольные уклоны, длины элементов в профиле, радиусы вертикальных кривых. Для одних сооружений (самотечные трубопроводы, каналы) наиболее важно выдержать продольные уклоны, для других (напорные трубопроводы, линии электропередачи и связи) уклоны местности мало влияют на проект трассы, и ее стремятся выбрать наиболее краткой, расположенной в благоприятных условиях.

При трассировании дорожных трасс необходимо соблюдать как плановые, так и высотные параметры.

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Общими исходными данными, которые одинаковы для всех вариантов заданий, являются:

- схема расположения трассы в плане (прил. А, Б);
- пикетажные значения вершин углов поворота трассы: ВУ1 ПК2 + 80,87 м (для автодороги); ВУ1 ПК3 + 30,00 м (для трубопровода).

Индивидуальные задания для трубопровода и автодороги

1. Пикетажный журнал трассы (прил. А, Б) выполняет функции абриса. Значения дирекционного угла α первоначального направления трассы, правого угла поворота трассы $\theta_{\text{пр}}$ и левого угла поворота $\theta_{\text{л}}$, а также радиус кривой R берутся по варианту (прил. В, Г). Угол поворота трассы на пикете: ПК3 + 30 м (трубопровод); ПК2 + 80,87 м (автодорога).

2. Журнал геометрического нивелирования (прил. Е, Ж). Записанные в журнале отсчеты по нивелирным рейкам на все точки трассы являются общими для всех студентов. В графе «Отметки» для трубопровода, напротив реперов 1650 и 1500 записывают исходные данные. Между этими реперами был проложен нивелирный ход. Отметка репера 1500 берется по варианту (прил. В). Отметка репера 1650 для всех студентов берется на 2,120 м меньше отметки репера 1500.

3. Отметки реперов 21 и 39 для автодороги берутся по вариантам (прил. Г).

4. Данные для нанесения на продольный профиль проектной линии для трубопровода:

- глубина промерзания грунта 2,3 метра;
- диаметр и материал труб: 400 мм, керамические;
- основание – песок;
- на участке от ПК0 до ПК2 уклон проектной линии $i_1 = -0,010$;
- на участке от ПК2 до ПК3 уклон $i_2 = -0,031$;
- на участке от ПК3 до ПК5 уклон $i_3 = 0,013$.

5. Данные для нанесения на продольный профиль проектной линии для автодороги:

- грунт – суглинок;
- на участке от ПК0 до ПК2 уклон проектной линии $i_1 = 0$;

- на участке от ПК2 до ПК4 уклон $i_2 = +0,031$;
- на участке от ПК3 до ПК6 уклон $i_3 = -0,013$.

Для проектирования автодороги на пикете 4 построить поперечный профиль.

3.1. Обработка журнала геометрического нивелирования

Нивелирование трассы выполняется нивелиром способом «из середины». При нивелировании различают связующие и промежуточные точки. На каждой станции нивелирования трассы имеются задняя и передняя связующие точки, а также промежуточные или плюсовые точки. Связующими точками могут служить любые плюсовые и пикетные точки, точки поперечников и иксовые точки, размещившиеся в любом месте притрассовой полосы.

На каждой станции геометрического нивелирования вычисляют отметки связующих точек через превышение, отметки промежуточных точек — через горизонт инструмента.

Работа выполняется в следующей последовательности:

1. Выполняют проверку правильности взятия отсчетов по значению вычисленных в поле «пяток реек», «пятка рейки» — это разность красного и черного отсчетов на точку. Вычисляется она для задней и передней реек. Записывается третьей строкой после красного отсчета.

2. Вычисляют превышения между связующими точками по следующему правилу: отсчет «назад» (a), минус отсчет «вперед» (b), т. е.

$$h = a - b. \quad (1)$$

Вычисляют два значения превышений, как по черной стороне рейки, так и по красной стороне рейки. И если разность превышений не более ± 5 мм, то вычисляют среднее превышение на станции по формуле

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{\text{чер}} + h_{\text{кр}}}{2}. \quad (2)$$

Например, на первой станции вычисленные превышения равны:

$$h_{\text{чер}} = 1483 - 1583 = -0100 \text{ мм};$$

$$h_{\text{кр}} = 6166 - 6270 = -0104 \text{ мм}.$$

Затем по известной формуле вычисляют среднее превышение:

$$h_{\text{cp}} = \frac{h_{\text{чер}} + h_{\text{кр}}}{2} = -\frac{4}{2} = -0002 \text{ мм.}$$

3. После того как вычислены все средние превышения на всех страницах журнала, проверяют, правильно ли они вычислены, т. е. выполняют постраничный контроль по формуле

$$\frac{\sum a - \sum b}{2} = \frac{\sum h}{2} = \sum h_{\text{cp}} = H_{\text{к}} - H_{\text{н}}, \quad (3)$$

где $\sum a$ – сумма всех отчетов «назад»; $\sum b$ – сумма всех отчетов «вперед»; $\sum h$ – алгебраическая сумма превышений по черной и красной сторонам реек; $\sum h_{\text{cp}}$ – сумма средних превышений; $H_{\text{к}}$ и $H_{\text{н}}$ – отметки конечной и начальной точек.

Незначительные расхождения в 1–2 мм за счет округления допустимы.

4. Так как вычисленные превышения есть измеренные величины, необходимо выполнить уравнивание измеренных величин, т. е. определить величину невязки, ее допустимость и ввести поправки в измеренные величины. Необходимо помнить, что в замкнутом полигоне $\sum h_{\text{теор}} = 0$, а в разомкнутом ходе теоретическую сумму превышений $\sum h_{\text{теор}}$ находят как разность отметки конечного репера и начального и записывают в конце журнала геометрического нивелирования под итоговой чертой:

$$\begin{aligned} \sum h_{\text{теор}} &= H_{Rp.1650} - H_{Rp.1500}; \\ \sum h_{\text{теор}} &= H_{Rp.39} - H_{Rp.21}. \end{aligned}$$

Находят и записывают со своим знаком невязку f_h хода, равную разности: вычисленная сумма средних превышений $\sum h_{\text{выч}}$ минус теоретическая $\sum h_{\text{теор}}$:

$$f_h = \sum h_{\text{выч}} - (H_{Rp.к} - H_{Rp.н}), \quad (4)$$

а ниже вычисляют допустимую величину невязки.

При техническом нивелировании предельная невязка не должна превышать:

$$f_{h\text{доп}} = \pm 50 \text{ мм } \sqrt{l}, \quad (5)$$

где l – длина нивелирного хода в км,

или

$$f_{h_{\text{доп}}} = \pm 10 \text{ мм } \sqrt{n}, \quad (6)$$

где n – количество станций.

5. Если $f_h \leq f_{h_{\text{доп}}}$, то в средние превышения вводят поправки со знаком, обратным знаку невязки:

$$\delta = -\frac{f_h}{n}, \quad (7)$$

где δ – поправка; n – количество станций.

Поправки вводят поровну с обратным знаком (с округлением до целых миллиметров) во все превышения. Убедившись, что сумма всех поправок равняется невязке с обратным знаком, поправки записывают сверху над средними значениями превышений красным цветом.

6. Выписывают отметки исходных реперов, лучше их писать красным цветом или подчеркнуть. Затем вычисляют последовательно отметки всех связующих точек хода по формуле

$$H_n = H_{n-1} \pm h_{\text{ср.исп}}, \quad (8)$$

например:

$$H_{\text{ПК0}} = H_{\text{рп1500}} + h_{\text{ср.исп}} = 167,567 - 0,101 = 167,466 \text{ м};$$

$$H_{\text{ПК1}} = H_{\text{ПК0}} + h_{\text{ср.исп}} = 167,466 - 0,903 = 166,563 \text{ м и т. д.}$$

Контролем правильности вычислений отметок является получение в конце хода известной отметки конечной точки.

7. Отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт инструмента (рис. 1). Горизонт инструмента (ГИ) – это высота визирного луча.

Он равен отметке задней (или передней) точки, плюс отсчет по черной стороне рейки, стоящей на этой точке. Горизонт инструмента для контроля вычисляют два раза, и за окончательное значение берется среднее:

$$H_{\text{ГИ(А)}} = H_A + a_{\text{ч}}; \quad (9)$$

$$H_{\text{ГИ(В)}} = H_B + b_{\text{ч}}; \quad (10)$$

$$H_{\text{ГИ(ср)}} = \frac{H_{\text{ГИ(А)}} + H_{\text{ГИ(В)}}}{2}. \quad (11)$$

При вычислениях $H_{\text{ГИ(А)}}$ и $H_{\text{ГИ(В)}}$ разности могут быть в пределах ± 5 мм.

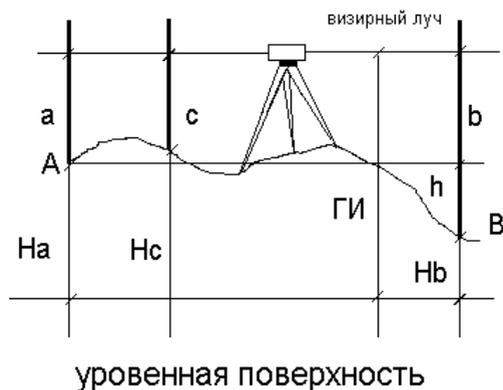


Рис. 1. Горизонт инструмента

Пример вычисления горизонта инструмента

Если вместо точек *A* и *B* взять точки ПК1 и ПК2, то будем иметь:

$$H_{\text{ГИ(ПК1)}} = 166,563 + 0,987 = 167,550 \text{ м};$$

$$H_{\text{ГИ(ПК2)}} = 165,150 + 2,400 = 167,550 \text{ м};$$

$$H_{\text{ГИ(ср)}} = 167,550 \text{ м}.$$

Отметки промежуточных (плюсовых) точек находят через горизонт инструмента станции и черные отсчеты на этих точках по формуле

$$H_+ = H_{\text{ГИ(ср)}} - c_+. \quad (12)$$

3.2. Вычисление элементов горизонтальной кривой, расчет прямых и кривых участков трассы. Вычисление дирекционных углов и румбов прямых участков

Вычисление выполняется в следующей последовательности:

1. По радиусу *R* и по величине угла поворота θ (прил. В, Г) находят элементы кривой: Т (тангенс), К (кривая), Д (домер), Б (биссектриса). Элементы горизонтальной кривой вычисляют по известным формулам или находят по специальным таблицам для разбивки круговых кривых.

Тангенс

$$T = R \cdot \text{tg} \frac{\theta}{2}. \quad (13)$$

Кривая

$$K = \pi R \frac{\theta}{180}. \quad (14)$$

Домер

$$Д = 2Т - К. \quad (15)$$

Биссектриса

$$Б = R \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) / \cos \frac{\theta}{2}. \quad (16)$$

2. Рассчитывают пикетажные значения начала (ПК НК) кривой и конца (ПК КК) кривой с обязательным контролем вычислений:

$$\text{ПК ВУ} - \text{ПК Т} = \text{ПК НК}; \quad (17)$$

$$\text{ПК НК} + \text{ПК К} = \text{ПК КК}; \quad (18)$$

$$\text{ПК НК} + 0,5 К = \text{ПК СК}. \quad (19)$$

Контроль:

$$\begin{aligned} \text{ПК ВУ} + \text{ПК Т} &= \Sigma; \\ \Sigma - \text{ПК Д} &= \text{ПК КК}, \end{aligned} \quad (20)$$

где НК – начало кривой; КК – конец кривой; ВУ – вершина угла поворота; СК – середина кривой.

Полученные значения конца кривой могут за счет округления чисел различаться между собой на 1–2 см. Расчеты обычно записываются столбиком.

Например: если $T = 146,77$ м; $K = 292,32$ м; $D = 1,24$ м; $B = 8,26$ м, а угол поворота находится на пикете ПК3 + 30, то:

Контроль:	
ВУ ПК3 + 30,00	ВУ ПК3 + 30,00
–Т ПК1 + 46,77	+ Т ПК1 + 46,77
<hr/>	
НК ПК1 + 83,23	Σ ПК4 + 76,77
+ К ПК2 + 92,32	–Д ПК0 + 1,24
<hr/>	
КК ПК4 + 75,55	КК ПК4 + 75,53

3. Вся трасса состоит из прямых и кривых участков. В данном примере трасса состоит из двух прямых участков и одной кривой. Вычисляют длину первого прямого участка трассы: как разность пикетажных значений начала кривой и начала трассы

$$(ПК НК - ПК НТ),$$

где НТ – начало трассы.

Длину второго участка вычисляют как разность пикетажных значений конца трассы и конца кривой

$$(ПК КТ - ПК КК),$$

где КТ – конец трассы.

Длина кривой – разность пикетажных значений конца кривой и начала кривой

$$(ПК КК - ПК НК).$$

Контролем является вычисление всей длины трассы: как суммы прямых участков трассы и кривой.

4. По заданному дирекционному углу α и углу поворота трассы $\theta_{\text{лев}}$ или $\theta_{\text{пр}}$ вычисляют дирекционный угол второго прямого участка трассы и румбы этих двух участков (рис. 2).

$\alpha_2 = \alpha_1 + \theta_{\text{пр}}$ – дирекционный угол для правых углов поворота трассы;

$\alpha_3 = \alpha_2 - \theta_{\text{лев}}$ – дирекционный угол для левых углов поворота трассы.

Румбы направлений вычисляют по формулам связи дирекционных углов и румбов.

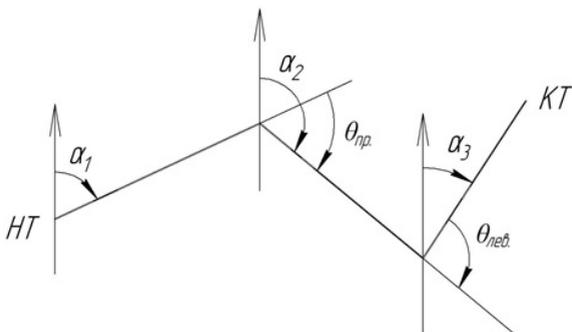


Рис. 2. Трасса с углами поворота

3.3. Построение продольного профиля трассы трубопровода

Для точного построения профиля необходима миллиметровая бумага размером 40×40 см. Построение можно произвести в любой графической программе.

Горизонтальный масштаб берут 1:2000, а вертикальный — в 10 раз крупнее, т. е. 1:200.

Построение выполняют в следующей последовательности:

1. В нижней левой части листа заготавливают профильную сетку, состоящую из горизонтально расположенных граф (прил. И, Л).

2. По данным пикетажного журнала заполняют графу «Пикеты», откладывая в ней горизонтальные расстояния в масштабе 1:2000. В промежутках между пикетами откладывают расстояния до плюсовых точек. Плановое положение всех плюсовых точек и пикетов фиксируют в этой графе вертикальными отрезками (перегородками). Вертикальные отрезки, обозначающие пикеты и проведенные через 5 см, должны попасть на утолщенные вертикальные линии миллиметровки.

3. Заполняют графу «Фактические отметки земли», выписывая их из журнала геометрического нивелирования. При записи отметок их округляют до сотых долей метра. Эти отметки называют черными или топографическими.

4. Заполняют графу 1 из задания.

5. В графе 2 располагают план местности по данным пикетажного журнала. Посередине проводят ось линейного сооружения, условно развернутого в прямую линию, и в масштабе 1:2000 строят план местности, прилегающей к трассе. На оси трассы стрелкой показывают поворот трассы.

6. По черным отметкам строят черную линию профиля, откладывая высоты точек в масштабе 1:200 от линии условного горизонта на соответствующих ординатах. Полученные точки соединяют отрезками прямых. На этом заканчивается построение профиля поверхности земли по трассе.

За линию условного горизонта принимают верхнюю линию строки 1. Отметку линии условного горизонта выбирают в зависи-

мости от фактических отметок. Самая низкая точка профиля должна отстоять от линии условного горизонта не ближе чем на 4 см (на местности – на 8 метров).

Пример: точка с минимальной отметкой 127,27 м.

Вычитаем 8 м, т. е. $127,27 - 8 = 119,27$ м, округляем до 120 м и подписываем линию условного горизонта.

Построение продольного профиля автодороги аналогично построению продольного профиля трубопровода.

3.4. Проектирование профиля трассы трубопровода

В плане трасса трубопровода состоит из прямых участков разного направления, соединенных между собой горизонтальными углами поворота, в вершинах которых устраивают колодцы разного назначения.

Проектную линию трубопровода наносят в соответствии с заданием красным цветом.

Работу выполняют в следующей последовательности:

1. Заполняют графу уклонов. В местах изменения уклонов прорчерчивают вертикальные перегородки. Внутри каждого прямоугольника, на которые будет разбита графа уклонов, проводят диагональ.

Если уклон положительный, то из нижнего левого угла в верхний правый; если уклон отрицательный, то из верхнего левого угла в нижний правый; если уклон нулевой – горизонтальная линия. Над диагональю указывают значение проектного уклона в тысячных, а под ней – длину заложения в метрах.

Уклон самотечного трубопровода по возможности выбирают равный уклону местности:

$$i = \frac{H_{\text{кон}} + H_{\text{нач}}}{d}, \quad (21)$$

где $H_{\text{кон}}$, $H_{\text{нач}}$ – отметки дна лотка на концах участка, их определяют графическим способом по профилю, по заданию с учетом промерзания грунта, диаметра трубы; d – длина участка с постоянным уклоном.

На концах уклонов поместить смотровые колодцы. Если отметки земли начинают уменьшаться, то колодец в этой точке будет

запроектирован перепадным, т. е. необходимо заглубить лоток отводящей трубы на некоторую отметку. Эта отметка будет являться исходной для проектирования продольного профиля трубопровода на последующих участках трассы.

2. В графу 2 выписывают номера колодцев (можно оцифровать по образцу).

3. В графе 4 вычисляют проектные отметки лотка трубы с учетом промерзания грунта, диаметра трубы, заданного уклона:

$$H_{\text{пр/лотка}} = H_{\text{пр}i-1} + id, \quad (22)$$

где d – горизонтальное расстояние между колодцами; i – уклон участка; $H_{\text{пр}i-1}$ – берут с красного профиля.

4. Заполняют графу 6 по заданию.

5. На каждом пикете и плюсовой точке профиля вычисляют рабочие отметки как разность проектной и фактической отметок:

$$h = H_{\text{пр}i} - H_{\text{ф}i}. \quad (23)$$

Их записывают у ординат под линией профиля местности синим цветом (на профиле (прил. М) не показано (см. прил. К).

Построение и проектирование продольного профиля автодороги аналогично. Рабочие отметки записывают у ординат под линией профиля местности, если они отрицательные, и сверху, если они положительные. Проектирование продольного профиля производится с условием соблюдения баланса земляных работ: объемы насыпи и выемки не должны отличаться более чем на 5 процентов.

3.5. Вычерчивание поперечного профиля автодороги

Поперечный профиль необходим для подсчета объема земляных работ, для выявления данных о рельефе около трассы, для решения различных инженерных задач.

Данные для поперечного профиля берут из журнала нивелирования на ПК4, где был разбит поперечник «лево» 20 метров и «право» 20 метров.

По вычисленным отметкам на поперечнике составляют поперечный профиль в одинаковом горизонтальном и вертикальном

масштабах 1:200. Вычерчивают на миллиметровой бумаге или в любой графической программе.

Профильная сетка состоит из двух граф: «Расстояния», «Фактические отметки».

В графу «Расстояния» выписывают из журнала нивелирования расстояния вправо и влево от пикета. Отметки земли (фактические) вписывают в соответствующую графу, округляя их до сантиметров. При выполнении задания необходимо построить только линию земли без проектирования.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ

В окончательном виде продольный профиль вычерчивают ручкой, а также строят в любой графической программе (прил. К, М). Красным цветом оформляют проектную линию трубопровода, автодороги, все линии и цифры в графе уклонов, проектные отметки. Синим цветом подписывают рабочие отметки. Все остальные линии, надписи и цифры выполняют черным цветом.

По результатам выполненной работы студенты должны:

- знать основные виды геодезических работ при трассировании:
- разбивка пикетажа;
- геометрическое нивелирование трассы;
 - уметь производить вычисления и строить профиль;
 - владеть методикой ведения геодезических работ при трассировании и проектировании.

5. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ СПОСОБОМ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ

На закруглениях трассы детально разбивают переходные и круговые кривые. При радиусе более 500 м кривую разбивают через 20 м, при радиусе менее 500 м – через 10 м, при радиусе менее 100 м – через 5 м.

Наиболее распространенный способ детальной разбивки кривой – способ прямоугольных координат. В этом способе за ось X принимают направления от точек начала или конца кривой (НК или КК) к вершине угла поворота ВУ, за ось Y – перпендикулярное к оси X направление в сторону внутреннего угла сопряжения трассы.

По заданному радиусу R и интервалу разбивки k вычисляют горизонтальный угол по формуле

$$\varphi = \frac{180^\circ k}{\pi R}. \quad (24)$$

Затем вычисляют прямоугольные координаты разбиваемых точек кривой по формулам:

$$\begin{aligned} x_n &= R \cdot \sin(n \cdot \varphi); \\ y_n &= R(1 - \cos(n \cdot \varphi)), \end{aligned} \quad (25)$$

где n – порядковый номер точки; R – радиус кривой.

Координаты X и Y можно выбирать из специальных таблиц для разбивки кривых на автомобильных дорогах автора Н.А. Митина [7].

Рассмотрим конкретный случай расчета и разбивки круговой кривой при $R = 100$ м, $\varphi = 5^\circ 44'$:

$$\text{ВУ} = \text{ПК}2 + 80,87.$$

Вычисленные координаты точек детальной разбивки кривой для рассматриваемого случая представлены в таблице.

*Координаты детальной разбивки круговой кривой
способом прямоугольных координат*

n	$n \cdot l$	X_n	Y_n
5	5	5,00	0,13
10	10	9,98	0,50
15	15	14,94	1,12
20	20	19,87	1,99
25	25	24,74	3,11
30	30	29,55	4,47
35	35	34,29	6,06
40	40	38,94	7,89
45	45	43,50	9,96

Пользуясь вычисленными значениями X и Y , построение детальной разбивки кривой осуществляют следующим образом. От точек начала НК и конца кривой КК на тангенсах по направлению к вершине угла поворота последовательно откладывают величины абсцисс X_n в заданном масштабе. В полученных точках строят перпендикуляры, по которым последовательно откладывают соответствующие ординаты Y_n в заданном масштабе. Концы ординат отмечают точками P_1, P_2, P_3 , которые будут обрисовывать положение кривой. При этом расстояния между точками по длине кривой должны быть равны интервалу разбивки (для рассматриваемого случая 5 м), что является контролем производства детальной разбивки. Разбивка кривой приведена на рис. 3.

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

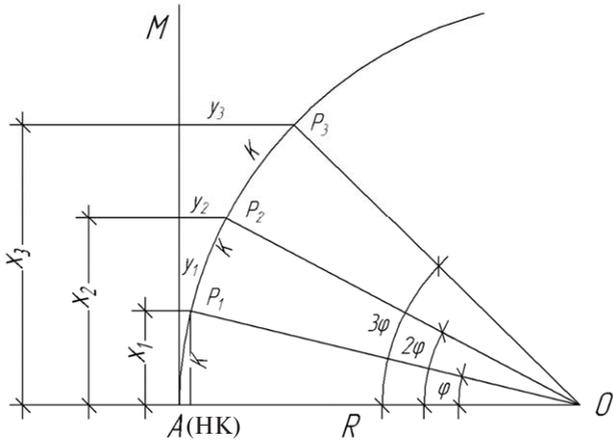


Рис. 3. Схема разбивки кривой способом прямоугольных координат

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель и задачи, поставленные в работе, выполнены.

Рассмотрены примеры обработки журнала геометрического нивелирования трассы для построения продольного и поперечного профилей.

Приведены формулы вычисления главных элементов горизонтальных кривых. Рассмотрены примеры построения профилей и проектирование на них.

Рассмотрен пример детальной разбивки горизонтальной кривой способом прямоугольных координат.

Таким образом, можно сделать вывод, что, пользуясь только данным пособием, студенты смогут выполнить расчетно-графическую работу в соответствии с индивидуальным заданием и подготовиться к ее защите по вопросам текущего контроля.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

1. Что называется трассой?
2. Дайте определение пикетов и плюсовых точек.
3. Виды нивелирования трассы. Точность нивелирования.
4. Порядок измерения связующих и промежуточных точек на станции нивелирования.
5. Порядок обработки журнала нивелирования трассы.
6. Что называется углом поворота трассы?
7. Для чего вписывают горизонтальные круговые кривые на трассе?
8. Какие главные точки горизонтальной круговой кривой и главные элементы кривой вы знаете?
9. Нарисуйте схему кривой, обозначьте ее главные точки. Напишите формулы вычисления главных элементов кривой.
10. Что называется пикетажным значением точки? Напишите формулы вычисления пикетажных значений главных точек кривой.
11. Расскажите порядок построения продольного профиля трассы.
12. Напишите формулы вычисления проектных отметок. В чем заключается контроль их вычисления?
13. Как построить проектную линию на продольном профиле трассы?
14. Как вычислить рабочие отметки и что они показывают.
15. По каким формулам вычисляют расстояния от точек нулевых работ до пикетов и плюсовых точек.
16. Порядок построения плана прямых и кривых.
17. Порядок построения профилей поперечников.
18. Как вычисляется уклон проектной линии на продольном профиле?
19. С какой целью строят продольный и поперечный профили трассы?

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

1. Определите величину элементов круговой кривой при радиусе $R = 600$ м и угле поворота $Q = 23^\circ 15'$, пользуясь таблицами для разбивки дорожных кривых.

2. Пользуясь таблицами, определите элементы круговой кривой при $R = 600$ м и $Q = 23^\circ 16'$.

3. Найдите элементы круговой кривой при $R = 500$ м и угле поворота $Q = 70^\circ$.

КРИТЕРИИ И НОРМЫ ОЦЕНКИ

Работа выполнена качественно, в установленный срок – 4 балла.

Лабораторная работа выполнена позже установленного срока на неделю – 3 балла.

Лабораторная работа выполнена позже установленного срока на две недели – 2 балла.

Лабораторная работа выполнена позже установленного срока на три недели и позже – 1 балл.

Невыполнение лабораторной работы – минус баллы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ерилова, И. И. Геодезия : лабораторный практикум / И. И. Ерилова. — Москва : МИСиС, 2017. — 51 с. — URL: e.lanbook.com/book/105279 (дата обращения: 04.03.2002).
2. Батчаева, З. Х. Инженерная геодезия : Раздел дисциплины «Геометрическое нивелирование в строительстве» : учеб.-метод. пособие для выполнения расчетно-графических работ / З. Х. Батчаева ; Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия. — Черкесск : БиЦ СевКавГГТА, 2014. — 23 с. — URL: www.iprbookshop.ru/27195.html (дата обращения: 04.03.2022).
3. Золотова, Е. В. Геодезия с основами кадастра : учебник для студентов вузов / Е. В. Золотова, Р. Н. Скогорева. — [3-е изд., испр.]. — Москва : Академический Проект, 2020. — 405, [2] с.— (Учебник для вузов) (Gaudeamus: Библиотека геодезиста и картографа). — URL: www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785829129910.html (дата обращения: 04.03.2022). — ISBN 978-5-8291-2991-0.
4. Инженерная геодезия : учебник для студентов вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман ; под ред. Д. Ш. Михелева. — 10-е изд., перераб. и доп. — Москва : Академия, 2010. — 495, [1] с. — (Высшее профессиональное образование. Геодезия). — ISBN 978-5-7695-6687-5.
5. Перфилов, В. Ф. Геодезия : учебник по направлению «Архитектура» / В. Ф. Перфилов, Р. Н. Скогорева, Н. В. Усова. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 2008. — 351 с. — (Для высших учебных заведений. Геодезия и землеустройство). — ISBN 978-5-06-004818-6.
6. Кочетова, Э. Ф. Инженерная геодезия в автомобильном строительстве : учеб. пособие / Э. Ф. Кочетов ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. — 2-е изд., перераб. и доп. — Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. — 92 с. — ISBN 978-5-528-00148-7.
7. Митин, Н. А. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах / Н. А. Митин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Недра, 1978. — 469 с.

ГЛОССАРИЙ

Геодезические измерения — измерения, в результате которых определяется взаимное положение точек местности.

Домер (Д) — разность между двумя тангенсами и кривой.

Нивелирование — геодезические измерения, в результате которых определяют превышения.

Основные элементы трассы — план (ее проекция на горизонтальную плоскость) и продольный профиль (вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения).

Отметка — численное выражение высоты.

Пикет — длина горизонтального проложения, равная 100 метрам.

Продольный уклон — разность высот между выбранными точками в продольной плоскости.

«Пятка» рейки — это отсчет по красной стороне рейки в ее основании.

Связующие точки — точки, которые участвуют в передаче превышений по всему ходу, т. е. связывают результаты измерений в единое целое.

Тангенс (Т) — длина прямой от вершины угла поворота до начала и конца кривой.

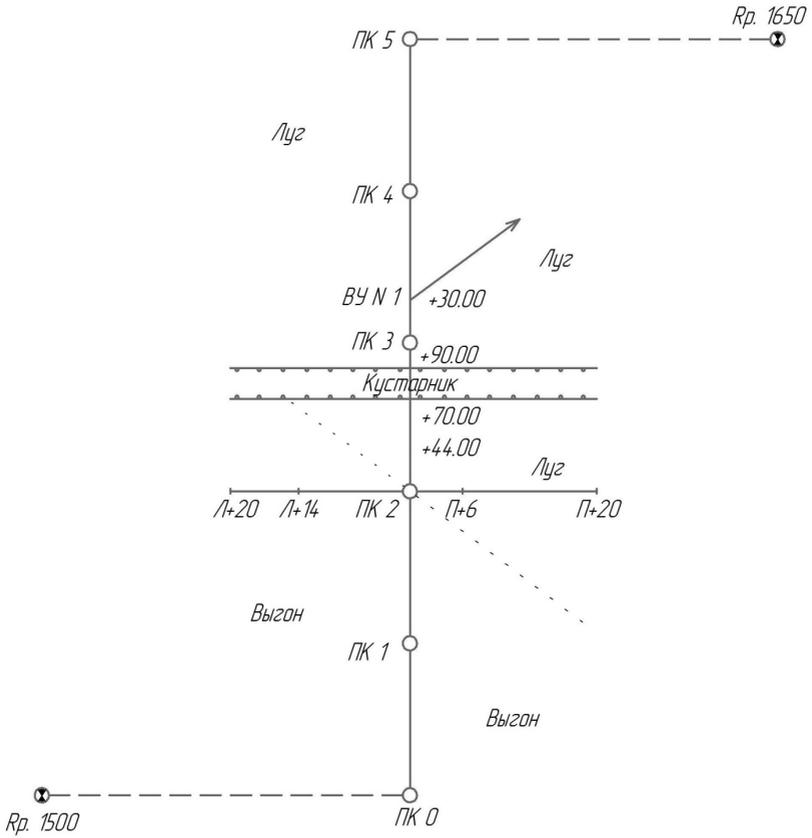
Трасса — ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная либо на местности, либо на топографической карте.

Трассирование — комплекс инженерно-изыскательных работ по выбору трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на ее возведение и эксплуатацию.

Угол поворота трассы — угол, образованный продолжением предыдущего направления трассы и последующим.

Х-точки — дополнительные связующие точки.

Пикетажный журнал для трубопровода



**Значения радиусов, углов поворота, дирекционных углов трассы
и отметки начального репера (для трубопровода)**

№ варианта	Радиус R , м	Дирекционный угол, α°'	Угол поворота, θ°'	Отметка H_{Rp1500} , м
1	2	3	4	5
1	250	119°30'	67°30'	71,387
2	100	98°40'	32°10'	89,931
3	350	217°40'	56°20'	75,741
4	250	325°10'	72°20'	80,901
5	900	87°15'	86°10'	90,735
6	150	112°15'	45°05'	88,155
7	250	303°45'	15°10'	79,045
8	300	176°40'	64°00'	66,034
9	400	132°50'	55°40'	63,455
10	350	272°40'	32°10'	77,645
11	150	106°30'	47°42'	82,280
12	350	98°30'	82°52'	77,125
13	350	159°42'	46°17'	69,385
14	300	8°23'	68°27'	74,545
15	300	27°40'	70°00'	84,545
16	250	105°30'	84°23'	79,645
17	150	208°40'	55°00'	86,060
18	100	306°25'	61°33'	73,254
19	250	327°45'	40°20'	57,436
20	300	286°15'	38°48'	81,207
21	350	198°40'	22°31'	72,670
22	250	109°52'	25°48'	67,750
23	250	278°10'	49°30'	89,545
24	300	68°45'	58°58'	102,345
25	300	168°15'	73°18'	89,560

Ведомость вычислений элементов трассы

Таблица Д.1

Вычисление элементов дорожных кривых

№ углов поворота трассы	ВУ	Углы		Элементы кривой					
		Измеренный горизонтальный угол	Угол поворота трассы		Радиус	Тангенс	Кривая	Домер	Биссектриса
			право	лево					
1	ПК3 + 30,00	12°53'		–	1 м	0,11290	0,22486	0,00095	0,00635
					1300 м	146,77	292,32	1,24	8,26

Таблица Д.2

Расчет прямых и кривых дорожной трассы

Прямые				Кривые				
Начало	Конiec	Длина	Дирекционный угол	Румб	Начало	Конiec	Длина кривой	Общая длина трассы
ПК0	ПК1 + 83,23	183,23	32°40'	СВ: 32°40'	ПК1 + 83,23	ПК4 + 75,55	292,32	500,00
ПК4 + 75,55	ПК5	24,45	45°33'	СВ: 45°33'				

Журнал геометрического нивелирования трассы трубопровода

№ станций	Нивелируемые точки	Отсчеты по рейке, мм			Превышение, мм		Превышение среднее, мм		Горизонт инструмента, м	Отметка H, м
		Задняя	Передняя	Промежуточная	+	-	+	-		
1	Рп.1500	1483				0100				
		6166				0104		0102		
	ПК0	4683	1583							
			6270							
2	ПК0	1305	4687			0905				
		5991				0903		0904		
	ПК1		2210							
			6894							
	ПК1	0987								
		5672								
	ПК2		2400							
			7082							
3	ПК2-П + 6			2583						
				0296						
				1830						
				0537						
4	ПК2	0807								
		5490								
	ПК2 + 44		2416							
			7101							
	Постраничный контроль	Σ	Σ		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	

№ станций	Нивелируемые точки	Отсчеты по рейке, мм			Превышения, мм		Превышение среднее, мм		Горизонт инструмента, м	Отметка Н, м
		Задняя	Передняя	Промежуточная	+	-	+	-		
5	ПК2 + 44	1309								
		5993								
	ПК3		1285							
			5971							
ПК2 + 70			2891							
	ПК2 + 90			0929						
6	ПК3	2007								
		6707								
7	ПК4		1611							
			6293							
8	ПК5	2241								
		6925								
8	ПК5		0640							
			5324							
8	Рп.1650	1416								
		6102								
	Постраничный контроль	Σ	Σ		Σ	Σ	Σ	Σ		Σ

Журнал геометрического нивелирования трассы автодороги

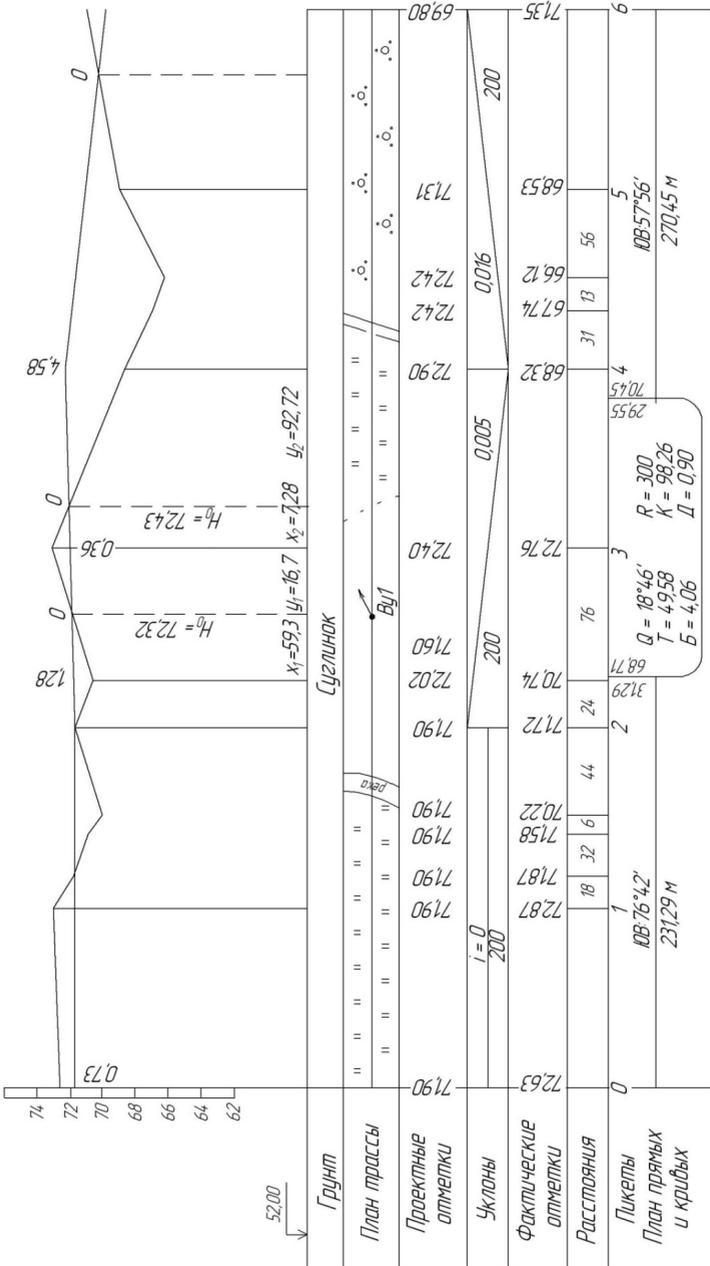
№ станций	Нивелируемые точки	Отсчеты по рейке, мм			Превышение, мм		Превышение среднее, мм		Горизонт инструмента, м	Отметка Н, м
		Задняя	Передняя	Промежуточная	+	-	+	-		
1	Рп.21	7343 2656			1564		1565			
	ПК0		5779 1090		1566					
2	ПК0	6499 1812								
	ПК1		6694 2006							
3	ПК1	5205 0518								
	ПК2		4895 0206							
	ПК1 + 18			0391						
	ПК1 + 50			2874						
	ПК1 + 56			2876						
4	ПК2	5975 1290								
	X1		4974 0285							
	ПК2 + 44			0393						
5	X1	7141 2453								
	ПК3		5004 0318							
	Постраничный контроль	Σ	Σ		Σ		Σ			

№ станций	Нивелируемые точки	Отсчеты по рейке, мм			Превышение, мм		Превышение среднее, мм		Горизонт инструмента, м	Отметка Н, м
		Задняя	Передняя	Промежуточная	+	-	+	-		
6	ПК3	6266 1578								
	ПК4		6631 1943							
	П + 20			2814						
	Л + 7			2322						
	Л + 20			1236						
7	ПК4	6315 1628								
	ПК5		5335 0650							
	ПК4 + 31			2681						
	ПК4 + 44			1773						
8	ПК5	4923 0238								
	ПК6		7042 2354							
9	ПК6	6002 1314								
	Рп.39		5222 0535							
	Постраничный контроль	Σ	Σ		Σ		Σ			

Профильная сетка автодороги

№ п/п	Размеры в мм	Наименование
1	5	Грунт (суглинок)
2	20	План трассы
3	10	Длины, уклон
4	15	Проектные отметки
5	15	Фактические отметки земли
6	5	Расстояния
7	30	Пикеты, план прямых и кривых

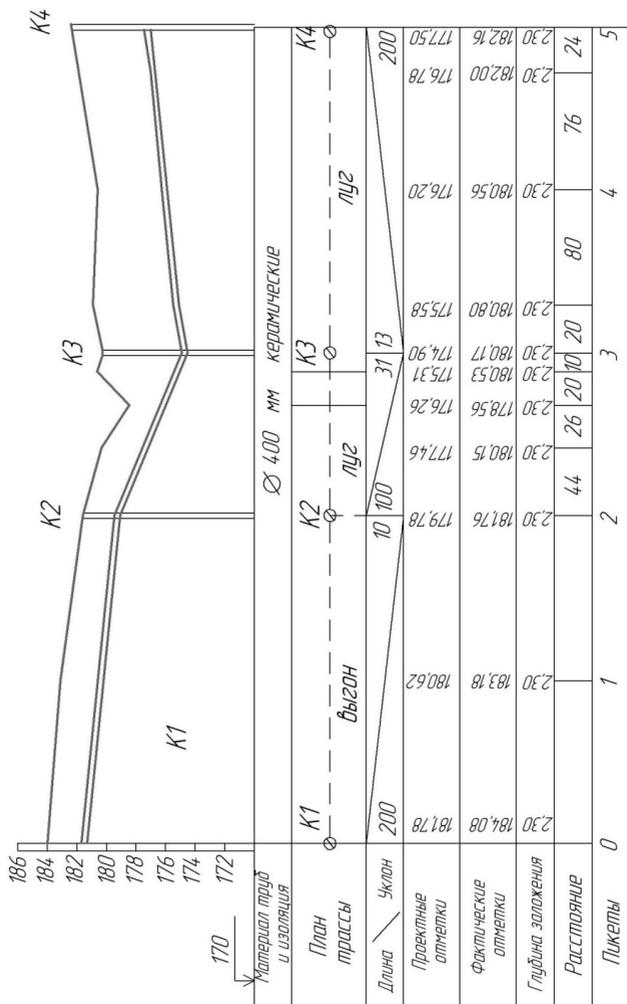
Продольный профиль автодороги



Профильная сетка трубопровода

№ п/п	Размеры в мм	Наименование
1	15	Материал труб и изоляции
2	20	План трассы
3	10	Длины, уклон
4	15	Проектные отметки
5	15	Фактические отметки земли
6	10	Глубина заложения
7	10	Расстояние
8	15	Пикетаж

Продольный профиль трубопровода



Масштабы:
горизонтальный 1:2000
вертикальный 1:200