

КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.Я. Сафонов, Ю.В. Горбунова

ГЕОДЕЗИЯ
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ТРАССИРОВАНИЕ

*Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы*



Красноярск 2018

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

А.Я. Сафонов, Ю.В. Горбунова

ГЕОДЕЗИЯ
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ТРАССИРОВАНИЕ

*Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы*

Красноярск 2018

Рецензент

*О.П. Колпакова, канд. с.-х. наук, доц. каф. землеустройства
и кадастров Красноярского государственного аграрного университета*

Сафонов, А.Я.

Геодезия. Геодезическое трассирование: метод. указания к выполнению расчетно-графической работы / А.Я. Сафонов, Ю.В. Горбунова; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2018. – 36 с.

Методические указания разработаны в соответствии с утверждённой программой курсов «Геодезия», «Инженерная геодезия». В указаниях подробно изложена методика выполнения камеральных работ при геодезическом трассировании для различных целей.

Предназначено для студентов очного и заочного отделений Института землеустройства, кадастров и природообустройства, обучающихся по направлениям подготовки 2.21.03.02 «Землеустройство и кадастры» и 2.20.03.02 «Природообустройство и водопользование», при теоретическом обучении и прохождении учебной практики.

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Красноярского государственного аграрного университета

ВВЕДЕНИЕ

Геодезическое трассирование включает комплекс геодезических работ по проложению трассы линейного объекта, будь то магистральный оросительный канал, главная дрена, автомобильная дорога или линия электропередач. Под трассой понимают ось проектируемой автомобильной дороги, соответствующим образом обозначенную на местности.

По трассе дороги геометрическим нивелированием определяют высоты точек поверхности земли. К ним относят: пикеты, иксовые и плюсовые точки и точки поперечников. Далее по этим высотам вычерчивают продольный профиль поверхности земли по оси трассы, на основании которого выполняется комплекс проектных работ.

Для выполнения расчетно-графической работы студенту выдается рабочая тетрадь определенного варианта. Исходные материалы включают: полевой журнал геометрического нивелирования с указанием связующих и промежуточных нивелирных точек и отсчетов, полученных по рейкам; наименование и высоты реперов, к которым была выполнена привязка начала и конца трассы; полевые данные измерения углов поворота трассы и их пикетные положения; радиусы поворота трассы; дирекционный угол исходного направления трассы.

Камеральная обработка выполняется в следующей последовательности:

1. Обработка журнала геометрического нивелирования, в результате которой вычисляются высоты всех пронивелированных точек.
2. Построение продольного профиля трассы в соответствии с заданными масштабами.
3. Составление ведомости прямых и кривых.

Все результаты вычислений записываются в рабочую тетрадь с учетом требуемой точности и указанием размерности полученных численных значений.

Сдаче подлежит работа, в которую включены:

1. Пояснительная записка с оформленным титульным листом (приложение А) и кратким текстовым пояснением выполненных работ.
2. Продольный профиль, вычерченный на масштабнокординатной (миллиметровой) бумаге в масштабах: горизонтальном 1:5 000 и горизонтальном 1:500. На профиль выносятся все необходимые полученные проектные данные.

3. Обработанная и оформленная рабочая тетрадь «Журнал нивелирования трассы».

В методических указаниях подробно изложена последовательность расчетных и графических работ при камеральной обработке полевых данных геодезического трассирования. Приведены показатели контроля полученных результатов расчета.

Методические указания составлены в соответствии с действующим стандартом и рабочей программой для студентов очного и заочного отделений, обучающихся по направлениям подготовки 2.21.03.02 «Землеустройство и кадастры», 2.20.03.02 «Природообустройство и водопользование», профиль «Водные ресурсы и водопользование».

ОБРАБОТКА ЖУРНАЛА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Пример журнала геометрического нивелирования трассы приведен в таблице 1. Трасса опирается на начальный репер Рр 3 и конечный репер Рр 4. Нивелирование выполнено точным нивелиром 3Н-3КЛ по двусторонним нивелирным рейкам РНЗ-3000-СП с шашечной разметкой. Разность между отсчетами по красной и черной сторонам обеих реек равна 4688. Для контроля точности измерений на каждой станции превышение определяют дважды, по черной и красной сторонам реек. Превышение вычисляется как разность между отсчетами по задней и отсчетами по передней рейке, отдельно по красной и черной сторонам. При техническом нивелировании превышение, полученное по черной стороне реек, не должно отличаться от превышения, полученного по красной стороне реек, более чем на **5 мм**. После проверки полевых данных нивелирования вычисляются средние значения превышений между связующими точками как среднее арифметическое. Округление средних превышений выполняется до целых значений миллиметров. Во избежание накопления ошибки за счет округления при отбрасывании 0,5 мм, допускается чередовать округление с недостатком и избытком. Если отсчет по задней рейке больше чем отсчет по передней, то превышение будет положительным, в противном случае превышение будет отрицательным.

Например: превышение ПК 0 над Рр 3:

- по черной стороне реек $h_{ч}=1100-1420=-320$ мм;
- по красной стороне реек $h_{к}=5788-6106=-318$ мм.

Затем вычисляется среднее превышение как среднеарифметическое значение из двух превышений по черной и красной сторонам:

$$h_{cp} = \frac{-320 + (-318)}{2} = -319 \text{ мм.}$$

Полученные результаты заносятся в журнал нивелирования трассы (табл. 1). Положительные превышения записываются в графу превышений под знаком (+), а отрицательные под знаком (-). По

мере заполнения полевого журнала выполняется постраничный контроль. Его необходимо проводить только для связующих точек. Отсчеты на промежуточные точки в нем не используются.

Контроль состоит в следующем. Подсчитывается сумма отсчетов по черной и красной сторонам задней рейки ($\Sigma a_{зад.}$), затем подсчитывается сумма отсчетов по черной и красной сторонам передней рейки ($\Sigma b_{пер.}$), и определяется первое превышение:

$$h_1 = \frac{\Sigma a_{зад.} - \Sigma b_{пер.}}{2} . \quad (1)$$

Подсчитывается сумма положительных превышений, вычисленных по черной и красной сторонам рейки $\Sigma(+)\mathit{h}_{выч.}$, затем сумма отрицательных превышений, вычисленных по черной и красной сторонам рейки $\Sigma(-)\mathit{h}_{выч.}$, и определяется второе превышение:

$$h_2 = \frac{\Sigma(+)\mathit{h}_{выч.} + \Sigma(-)\mathit{h}_{выч.}}{2} . \quad (2)$$

Подсчитывается сумма положительных средних превышений $\Sigma(+)\mathit{h}_{ср.}$, затем сумма отрицательных средних превышений $\Sigma(-)\mathit{h}_{ср.}$, и определяется третье превышение:

$$h_3 = \Sigma(+)\mathit{h}_{ср.} + \Sigma(-)\mathit{h}_{ср.} . \quad (3)$$

Полученные на странице превышения постраничного контроля h_1 , h_2 , h_3 не должны отличаться более чем на **1 миллиметр**.

Затем выполняется контроль по ходу. Аналогично постраничному контролю. Постраничный контроль подтверждает только правильность вычислений в журнале.

После выполнения постраничного контроля необходимо вычислить невязку. Если нивелирный ход проложен между двумя пунктами с известными высотами, то сумма полученных превышений теоретически должна быть равна разности высот конечного и начального реперов.

Таблица 1 – Журнал нивелирования трассы

Номер станции	Номер точки	Отсчет по рейке, мм			Превышение, мм		Среднее превышен., мм		Исправ. превыш., мм	Высота ГП, м	Высота точки, м
		задний	передний	промеж.	+	-	+	-			
1	Реп.3 ПК0	1100 5788	1420 6106			320 318		+1 319	-318		50.000 49.682
2	ПК0	2932		2849	2124		+1 2123		+2124	52.614	49.682
	+32	7620			2122					<u>52.616</u>	49.766
	+80 ПК1		0810 5496	0846						52.615	51.769 51.806
3	ПК1	1212		1058		852		+2		53.018	51.806
	ПК2	5900		1121		850		851	-849	<u>53.019</u>	51.960
	+25 ПК3		2062 6752							53.018	51.897 50.957
4	ПК3	2738		1126	1716		+2			53.695	50.957
	ПК4	7426			1718		1717		+1719	<u>53.696</u>	52.570
	+38		1020 5710							53.696	52.676
Постраничный контроль Σ		34 716	29 376	-	7 680	2 340	3 840	1 170			

$$h_1 = \frac{34716 - 29376}{2} = 2670, \quad h_2 = \frac{7680 - 2340}{2} = 2670, \quad h_3 = 3840 - 1170 = 2670.$$

Продолжение табл. 1

Номер станции	Номер точки	Отсчет по рейке, мм			Превышение, мм		Среднее превышен., мм		Исправ. превыш., мм	Высота ГП, м	Высота точки, м
		задний	передний	промеж.	+	-	+	-			
5	+38	2986					+1		+2605	55.662	52.676
	ПК5	7634		0561	2603		2604			<u>55.662</u>	55.101
	+25		0381		2605					55.662	55.281
6	+25	2955					+1		+2447		55.281
	ПК6	7654			2447		2446				57.728
7	ПК6	0300						+1	-2619		55.728
	X	4986	2919			2621	2620				55.109
8	X	0402						+1	-2529	55.511	55.109
	ПК7	5091		2650	2529		2530			<u>55.513</u>	52.862
	+35		2933		2531					55.512	52.580
9	+35	1240						+1	-218		52.580
	Реп.4	5930	1460			218	219				52.362
Постраничный контроль Σ		39 178	39 816	-	10 100	10 737	5 050	5 369			

$$h_1 = \frac{39178 - 39816}{2} = -319, \quad h_2 = \frac{10100 - 10738}{2} = -319, \quad h_3 = 5050 - 5369 = -319.$$

Окончание табл. 1

Номер станции	Номер точки	Отсчет по рейке, мм			Превышение, мм		Среднее превышен., мм		Исправ. превыш., мм	Высота ГП, м	Высота точки, м
		задний	передний	промеж.	+	-	+	-			
Контроль по ходу	Σ	73 894	69 192	-	17 780	13 078	8 890	6 539			

$$b \quad h_1 = \frac{73894 - 69192}{2} = +2351, \quad h_2 = \frac{17780 - 13078}{2} = +2351, \quad h_3 = 8890 - 6539 = +2351.$$

$$\text{Невязка хода } fh = \sum h_{cp.} - (H_{pen.4} - H_{pen.3}) = 2.351 - (52.362 - 50.000) = -11 \text{ мм}.$$

$$\text{Допустимая невязка } fh_{дон.} = \pm 50 \sqrt{L} = \pm 50 \sqrt{0.8} = \pm 45 \text{ мм}.$$

$$\Sigma h_{теор.} = H_{Rp_{кон.}} - H_{Rp_{нач.}} \quad (4)$$

Разница между фактической измеренной суммой превышений и теоретической является величиной невязки:

$$fh = \Sigma h_{ср.} - (H_{кон.} - H_{нач.}), \quad (5)$$

где $\Sigma h_{ср.}$ – сумма средних превышений в нивелирном ходе, м;

$H_{кон.}$ – высота конечного репера, мм;

$H_{нач.}$ – высота начального репера, мм.

Допустимая невязка считается по формуле

$$fh_{доп.} = \pm 50\sqrt{L}, \quad (6)$$

где $fh_{доп.}$ – допустимая невязка, мм;

L – длина нивелирного хода, км.

Невязка для таблицы 1 составит:

$$fh = \Sigma h_{ср.} - (H_{Rp4} - H_{Rp3}) = 2351 - (52362 - 50000) = -11 \text{ мм}.$$

Соответственно допустимая невязка:

$$fh_{доп.} = \pm 50\sqrt{L} = \pm 50\sqrt{0.8} = \pm 45 \text{ мм}.$$

При проложении хода в условиях сложного рельефа, когда число станций на один километр хода более 25, допустимая невязка считается по формуле

$$fh_{доп.} = \pm 10\sqrt{n}, \quad (7)$$

где n – число станций в ходе.

Если полученная невязка не превышает допустимую, как в данном примере, то в средние значения превышений $h_{\text{ср.}}$ вводится поправка δ . Поправка вводится со знаком обратным знаку невязки, поровну во все станции, но с округлением ее до целых миллиметров. Поправка выписывается над средними превышениями. Для контроля правильности распределения поправок подсчитывается сумма введенных поправок. Она должна равняться невязке с обратным знаком.

Затем вычисляются исправленные превышения:

$$h_{\text{испр.}} = h_{\text{ср.}} + \delta . \quad (8)$$

По высоте начального репера $H_{\text{нач.}}$ и исправленным превышениям $h_{\text{испр.}}$ вычисляют высоты для связующих точек:

$$H_{n+1} = H_n + h_{\text{испр.}} , \quad (9)$$

где H_{n+1} – высота последующей точки, м;

H_n – высота предыдущей точки, м;

$h_{\text{испр.}}$ – исправленное превышение между этими точками, м.

Высота конечного репера, полученная из вычислений, должна совпасть с высотой конечного репера из исходных данных.

После определения высот связующих точек вычисляют высоты промежуточных точек. Для этого определяют горизонт прибора (ГП) или высоту визирного луча для тех станций, на которых были пронивелированы промежуточные точки. Схема определения ГП представлена на рисунке 1.

Горизонт прибора определяется как сумма высоты задней или передней связующей точки $H_{\text{связ.}}$ плюс отсчет на данную точку $a_{\text{ч связ.}}$ по черной стороне нивелирной рейки:

$$\text{ГП} = H_{\text{связ.}} + a_{\text{ч связ.}} . \quad (10)$$



Рисунок 1 – Схема нивелирования на станции с промежуточной точкой

Например: между ПК0 и ПК1 на расстоянии 32 метров имеется точка перегиба местности и она была пронивелирована как промежуточная. Для данной станции определяется ГП по задней, а затем, для контроля, и по передней точкам:

$$\text{ГП}_1 = N_{\text{зад.}} + a_{\text{ч}} = 49.395 + 1.919 = 51.314 \text{ м};$$

$$\text{ГП}_2 = N_{\text{пер.}} + b_{\text{ч}} = 50.085 + 1.227 = 51.312 \text{ м},$$

где $N_{\text{зад.}}$ – высота задней связующей точки, м;

$a_{\text{ч}}$ – отсчет на заднюю связующую точку по черной стороне рейки, м;

$N_{\text{пер.}}$ – высота передней связующей точки, м;

$b_{\text{ч}}$ – отсчет на переднюю связующую точку по черной стороне рейки, м.

Так как расхождение между ними не превышает **5 мм**, то можно определить среднее значение для станции:

$$\Gamma\Pi_{\text{ср.}} = 51.313 \text{ м.}$$

Высота промежуточной точки определяется как разность между горизонтом нивелира (высота луча визирования) $\Gamma\Pi_{\text{ср.}}$ и отсчетом на промежуточную точку по черной стороне рейки $a_{\text{пром.}}$:

$$H_{\text{пром.}} = \Gamma\Pi_{\text{ср.}} - a_{\text{пром.}} \quad (11)$$

Тогда высота промежуточной точки ПК0+32 будет равна:

$$H_{\text{ПК0+32}} = 51.313 - 1.361 = 49.952 \text{ м.}$$

Все три значения $\Gamma\Pi$ выписываются в соответствующую графу журнала нивелирования для станции. Высота промежуточных точек определяется через $\Gamma\Pi_{\text{ср.}}$, вычисленный для данной станции.

ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТРАССЫ

Нивелирование трассы, как и всякая съемочная работа, завершается графическим построением. Продольный профиль – это условное изображение на бумаге вертикального разреза местности по линии нивелирования. Профиль является одним из основных документов, по которому выполняют проектирование, а затем и строительство линейного объекта. Он строится на масштабной координатной миллиметровой бумаге по ширине в размер стандартного листа, а длина определяется длиной трассы и заданным масштабом профиля. Профиль составляется на основании пикетажного журнала и данных журнала нивелирования трассы.

Для придания большей наглядности чертежа вертикальные расстояния (высоты) наносят в более крупном масштабе, обычно в десять раз крупнее. Для продольного профиля автомобильной дороги установлен горизонтальный масштаб 1:5 000, а вертикальный – соответственно 1:500.

Построение профиля начинают с нанесения профильной сетки (графы и строки) на миллиметровую бумагу. Оставляют поля: слева 20 мм (для подшива), снизу и сверху по 20 мм (для нумерации страниц и обрезки), справа 10 мм (для обрезки).

Согласно техническому заданию, под линией условного горизонта (верхняя линия табличной части профиля) вычерчивают необходимые строки в зависимости от назначения профиля. Набор строк для различных видов линейных объектов будет значительно отличаться, например: автомобильная дорога и канализационный коллектор. Так, для автодороги пятой категории понадобятся графы, приведенные на рисунке 2.

Для размещения линии профиля выбирают высоту линии условного горизонта. Ее целесообразно выбирать так, чтобы самая низкая фактическая точка профиля находилась над верхней линией сетки (линия условного горизонта) на расстоянии 4–6 сантиметров. Ее округляют до целого значения метров, предпочтительно кратного количеству метров в 1 см вертикального масштаба. После чего оцифровывают вертикальную ось через 1 см.

В строке «Расстояния» в принятом горизонтальном масштабе откладывают вертикальными линиями пикеты и плюсовые точки. В пределах каждого пикета пишут расстояния между плюсовыми точками и пикетами, дополняя их в правой части до 100 метров.

Там, где нет плюсовых точек, длину между пикетами (100 м) не пишут. Резанные пикеты отмеряют, как и обычные (100 м), вписывают их длину и утолщают линию графы сверху и снизу.

Под линией строки расстояний выписывают номера пикетов. Номера кратные 10 пишут полностью, для остальных пишут только последнюю цифру.

Строка «Отметки земли по оси дороги» заполняется по данным нивелирования трассы. Высоты пикетов и плюсовых точек выписываются с точностью до сотых долей метра симметрично вертикальным линиям проведенных в строке расстояний.

Численное значение высоты выписывается в вертикальном направлении.

После построения сетки от линии условного горизонта в принятом вертикальном масштабе откладывают высоты точек земли как пикетов, так и плюсовых точек. Проводят вертикальные линии от полученных точек до линии условного горизонта. Полученные верхние точки отрезков последовательно соединяют между собой прямыми линиями. Полученная ломаная линия является профилем местности по оси трассы линейного объекта.

Строку «Ситуация» заполняют по пикетажному журналу условными знаками, гидрографию окрашивают акварельными красками синего цвета слабого тона. Посередине красным цветом проводят прямой линией ось трассы. В точках поворота трассы стрелками показывают направления поворотов. Показывают положения привязочных реперов относительно оси трассы. В отдельных случаях вместо условных знаков контуров и угоний допускается вписывать их названия.

Под планом трассы ставят указатели километров и оцифровывают их.

Для заполнения строки «План линии» используют расчеты пикетажного положения начала и конца круговых кривых из пикетажного журнала. От точек начала и конца круговой кривой проводят вертикальные линии до строки пикеты. Возле этих линий пишут: слева расстояние от ближайшего младшего пикета до линии и справа расстояние от линии до ближайшего старшего пикета. Сумма внутренних расстояний должна соответствовать длине круговой кривой. План линии трассы вычерчивается красным цветом.

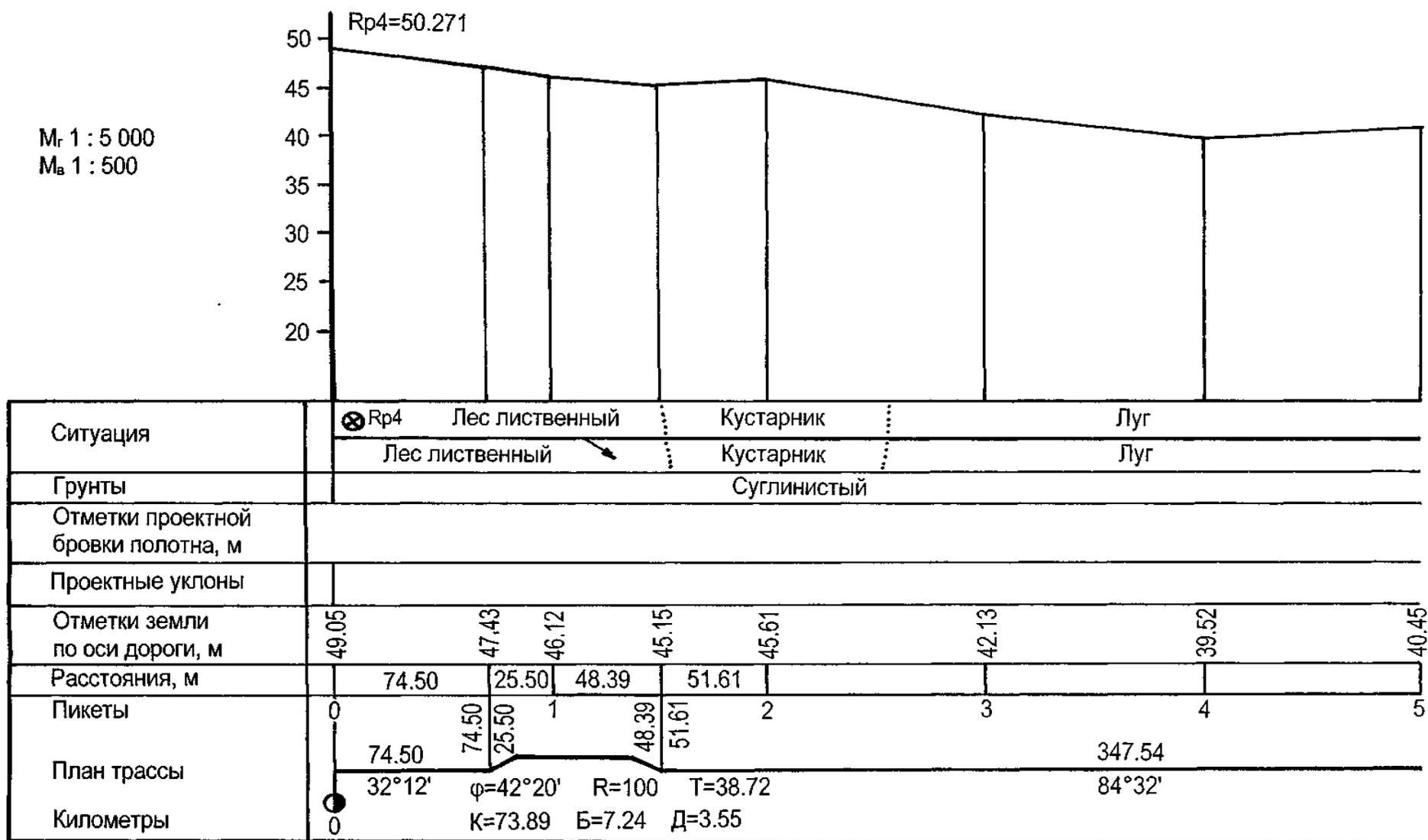


Рисунок 2 – Продольный профиль автомобильной дороги, г. Павловск–Карьер

От начала каждой кривой до ее конца проводят условные дуги. При повороте трассы вправо выпуклость дуги должна быть вверх, а при повороте влево выпуклость дуги должна быть вниз. Или – вогнутость дуги показывает направление поворота. Около дуг или внутри их выписывают все элементы кривой из пикетажного журнала φ , R , T , K , D , B .

Над серединой каждой прямой вставки выписывают ее длину, а под ней пишут дирекционный угол или румб.

Контроль: длина прямых вставок и кривых должна быть равна длине трассы.

В строке «Грунты» пишут наименования грунтов, по которым проходит трасса.

Строки «Отметки проектной бровки полотна», «Проектные уклоны» заполняются в процессе проектирования. Согласно полученным высотам вычерчивается проектная линия трассы. В данном задании эти строки не заполняются.

На вертикальных линиях в начале и конце трассы, выше линии профиля подписываются наименования привязочных реперов и их высоты с точностью до миллиметра.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КРУГОВОЙ КРИВОЙ

Прямые участки дороги в углах поворота сопрягаются плавными круговыми кривыми, а при необходимости более плавных сопряжений между ними используют переходные кривые.

Круговая кривая – это окружность радиуса R . В круговой кривой различают следующие элементы:

а) угол поворота φ – величина отклонения трассы от предыдущего направления;

б) радиус кривой R – выбирают из нормативов согласно техническим условиям;

в) тангенс T – расстояние от вершины угла поворота (ВУП) до начала кривой или до конца кривой. Его величина определяется по формуле

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \quad (12)$$

г) кривая K – длина дуги от начала до конца кривой. Ее величина определяется по формуле

$$K = \frac{\pi R \varphi}{180^\circ}, \quad (13)$$

где $\pi = 3.14$;

д) биссектриса B – расстояние от ВУП до середины кривой (СК). Величина биссектрисы может быть определена по формуле

$$B = \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2}} - R = R \left(\operatorname{сек} \frac{\varphi}{2} - 1 \right); \quad (14)$$

е) домер D – это разность в длине суммы двух тангенсов и кривой:

$$D = 2T - K. \quad (15)$$

По заданным значениям углов поворота трассы, радиусам кривых определяют основные элементы кривых, согласно приведенным формулам (12)–(15). Эти значения определяют для каждой кривой отдельно. Полученные значения выписывают на продольном профиле и заносят в ведомость прямых вставок и круговых кривых (табл. 2).

Их значения можно определить как при помощи калькулятора, так и по специальным таблицам для разбивки круговых и переходных кривых, согласно φ и R (приложение Б).

РАСЧЕТ ПИКЕТАЖНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ГЛАВНЫХ ТОЧЕК КРИВОЙ

К главным точкам кривой относят: начало кривой, середину кривой и конец кривой (рис. 3). Расчет главных точек выполняют от пикетажного положения вершины угла поворота.

Положение начала и конца кривой (колонки 10 и 11 табл. 2) за-
полняют по результатам следующих расчетов:

$$\text{НК} = \text{ВУП} - T, \quad (16)$$

$$\text{КК} = \text{НК} + K. \quad (17)$$

Например: вершина угла поворота находится на пикете ПК1+42.80, угол поворота трассы составляет $\varphi=34^{\circ}27'$, радиус закругления $R=250$ м. Определены следующие значения элементов круговой кривой: $T=77.51$ м, $K=150.32$ м, $D=4.70$ м, $B=11.74$ м. Исходя из этого, пикетажные положения начала, середины и конца кривой составят:

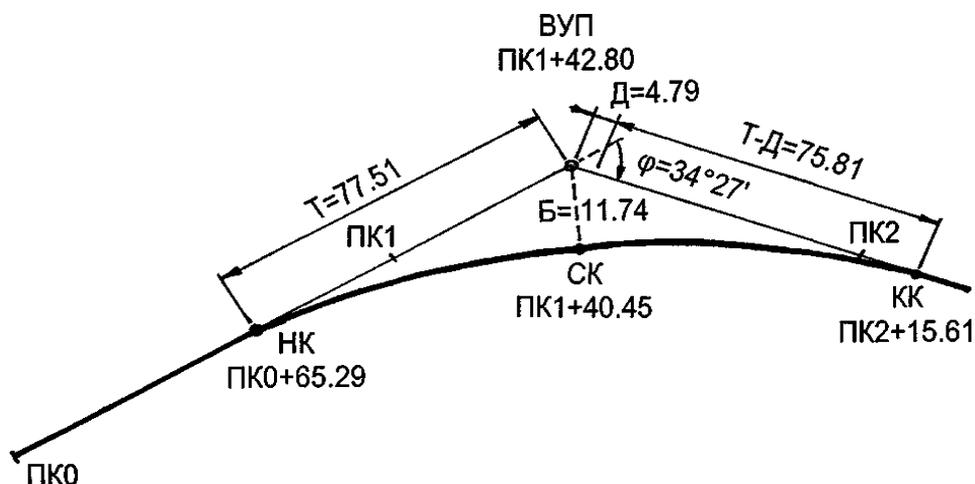


Рисунок 3 – Положение главных точек на кривой

ВУП	ПК1+42.80
-T	77.51
<hr/>	
НК	ПК0+65.29
+K	1+50.32
<hr/>	
КК	ПК2+15.61
-0.5K	75.16
<hr/>	
СК	ПК1+40.45

Необходимо выполнить контрольные вычисления для КК:

$$\begin{array}{r} \text{ВУП ПК1+42.80} \\ +\text{T} \quad \underline{77.51} \\ \text{ПК2+20.31} \\ -\text{Д} \quad \underline{4.70} \\ \text{КК ПК2+15.61 .} \end{array}$$

Расхождения между КК не должны превышать **3 см.**

Необходимо выполнить контрольные вычисления для СК:

$$\begin{array}{r} \text{НК ПК0+65.29} \\ +0.5 \text{ К} \quad \underline{75.16} \\ \text{СК ПК1+40.45 .} \end{array}$$

СОСТАВЛЕНИЕ ВЕДОМОСТИ ПРЯМЫХ ВСТАВОК И КРУГОВЫХ КРИВЫХ

Полученные плановые данные по трассе заносятся в ведомость прямых вставок и кривых (табл. 2).

Прямые вставки вычисляются по разности пикетажных наименований начала кривой последующего угла поворота и конца кривой предыдущего угла поворота:

$$d_{\text{пр.}} = \text{НК}_{n+1} - \text{КК}_n . \quad (18)$$

Расстояния между вершинами углов поворота получают по разности пикетажных наименований последующей вершины и предыдущей, с добавлением домера предыдущей кривой:

$$d_{\text{ВУП}} = \text{ВУП}_{n+1} - \text{ВУП}_n + D_n . \quad (19)$$

Относительная ошибка измеренной линии между ВУП и определенной по формуле не должна превышать 1/1 000.

Для каждой линии записываются дирекционные углы или румбы.

Дирекционный угол вычисляется по следующим формулам

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \varphi_{\text{прав.}} ; \quad (20)$$

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \varphi_{\text{лев.}}$$

где α_{n+1} – дирекционный угол определяемого направления;

α_n – дирекционный угол предыдущего направления;

$\varphi_{\text{прав.}}$ – значение угла правого поворота;

$\varphi_{\text{лев.}}$ – значение угла левого поворота.

Таблица 2 – Ведомость прямых вставок и кривых

Номер точек	ВУП, м	Угол, °'		Элементы кривой, м					Положение, м		Длина, м		Направление, °'	
		лево	право	радиус	тангенс	кривая	биссектриса	домер	НК	КК	прям. вставка	расст. межд. ВУП	ди-рект. угол	румб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ПК0											843.27	987.50	86 15	СВ : 86 15
1	ПК9+87.50		27 02	600	144.23	283.09	17.09	5.37	8+43.27	11+26.36	569.97	844.49	113 17	ЮВ : 66 43
2	ПК18+26.62	18 30		800	130.29	258.31	10.54	2.27	16+96.33	19+54.64	531.06	784.79	94 47	СВ : 71 32
3	ПК26+09.14	23 15		600	123.44	243.47	12.57	3.40	24+85.70	27+29.17	590.15	847.01	71 32	ЮВ : 79 02
4	ПК34+52.75	15 12		1000	133.43	265.29	8.86	1.57	33+19.32	35+84.61	737.72	1032.00	56 20	СВ : 56 20
5	ПК44+83.18		35 40	500	160.85	311.25	25.24	10.45	43+22.33	46+33.58	465.36	626.21	92 00	ЮВ : 88 00
ПК50 + 98.94														
Σ	-	56 57	62 42	-	692.24	1361.41	-	23.06	-	-	3737.53	5122.00	-	-

23

Контроли: 1. $2\Sigma T - \Sigma K = \Sigma D$; $1384.48 - 1361.41 = 23.07$.

2. $\Sigma \varphi_{\text{пр.}} - \Sigma \varphi_{\text{лев.}} = \alpha_{\text{кон.}} - \alpha_{\text{нач.}}$; $62^\circ 42' - 56^\circ 57' = 92^\circ 00' - 86^\circ 15' = 5^\circ 45'$.

3. $\Sigma d_{\text{пр.}} + \Sigma K = \Sigma d_{\text{ВУП}} - \Sigma D = L$; $3737.53 + 1361.41 = 5122.00 - 23.06 = 5098.94$.

Румбы вычисляются по зависимости дирекционных углов и румбов по четвертям (табл. 3).

Таблица 3 – Зависимость дирекционных углов и румбов

Значение дирекционного угла	Название румба	Зависимость дирекционного угла и румба
0°–90°	СВ	$r = \alpha$
90°–180°	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$
180°–270°	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$
270°–360°	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$

Выполняется контроль правильности составления ведомости:

а) разность между удвоенной суммой тангенсов и суммой кривых должна быть равна сумме домеров:

$$2\Sigma T - \Sigma K = \Sigma D; \quad (21)$$

б) разность между суммой правых и суммой левых углов поворота должна быть равна разности дирекционных углов конечной и начальной линии трассы:

$$\Sigma \varphi_{\text{пр.}} - \Sigma \varphi_{\text{лев.}} = \alpha_{\text{кон.}} - \alpha_{\text{нач.}}; \quad (22)$$

в) сумма прямых вставок плюс сумма кривых должна быть равна длине трассы L , определенной как разность пикетажных наименований конца трассы и ее начала. Также длине трассы должна быть равна разность между суммой расстояний между вершинами углов поворота и суммой домеров:

$$\Sigma d_{\text{пр.}} + \Sigma K = \Sigma d_{\text{ВУП}} - \Sigma D = L. \quad (23)$$

ОФОРМЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

После проверки расчетов и построения профиля в карандаше его вычерчивают тушью.

Черным цветом показывают элементы, характеризующие существующую поверхность: пикеты, расстояния, ситуацию, линию профиля поверхности земли, грунты по линии трассы и высоты поверхности земли.

Красным цветом показывают все проектируемые элементы: план трассы в прямых вставках и круговых кривых, ось трассы линейного сооружения в строке «Ситуация», проектные уклоны, проектные высоты, рабочие высоты, проектную линию профиля объекта и условные знаки на ней. Три горизонтальные линии профильной сетки, ограничивающие строки «Высоты проектной бровки полотна», «Проектные уклоны» вычерчивают также красным цветом.

Синим цветом показывают: горизонты вод, высоты воды у искусственных сооружений, высоты нулевых точек и их вертикальные линии, гидрографию в строке «Ситуация».

Окрашивают:

- а) синим цветом слабого тона – элементы гидрографии;
- б) красным цветом – продольное сечение насыпи на профиле;
- в) желтым цветом слабого тона – продольное сечение выемки на профиле.

Так как по заданию расчетно-графической работы по геодезии на землеустроительном факультете не требуется выполнять проектирование, то допустимо все линии профиля и надписи выполнить только черной тушью.

Линии проводят толщиной:

- а) сетка профиля – 0,5 мм;
- б) план трассы и осевая линия строки «Ситуация» – 0,8 мм;
- в) ординаты (вертикальные линии), соответствующие пикетам – 0,4 мм;
- г) ординаты (вертикальные линии), соответствующие плюсовым точкам – 0,2 мм;
- д) линия земли по оси дороги (линия профиля) – 0,2 мм.

Цифры и надписи на профиле пишут высотой:

- а) километровые знаки – 3 мм;
- б) пикеты – 3 мм;
- в) высоты земли по оси дороги – 3 мм;

- г) высоты реперов – 3 мм;
- д) длина прямых вставок, элементы круговых кривых, дирекционные углы и румбы – 2 мм;
- е) надписи – 3 мм.

Точность приводимых данных:

- а) высоты реперов выписывают с точностью до тысячных долей метра;
- б) остальные высоты округляют до сотых долей метра;
- в) величины прямых вставок, круговых кривых, начало и конец кривой, расстояния подписывают с точностью до сотых долей метра;
- г) проектные уклоны записывают не в долях, а в промилях.

Основная надпись.

Профиль внизу подписывается основной надписью. После слова «Рисунок» ставится его порядковый номер среди приведенных иллюстраций арабскими цифрами, затем после знака тире с прописной буквы строчными пишется его название. Например, «Рисунок 1 – Продольный профиль автомобильной дороги, г. Павловск-Карьер».

Численные масштабы – горизонтальный и вертикальный – подписываются слева от вертикальной оси над боковиком профильной сетки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие сооружения относят к линейным?
2. Какие графические материалы характеризуют положение линейного объекта?
3. Что такое угол поворота трассы?
4. Что называют пикетом линейного объекта?
5. Для чего необходимы плюсовые точки?
6. Что такое круговая кривая?
7. Для чего нужны круговые кривые?
8. Назовите основные элементы круговой кривой.
9. Какие точки называются главными точками круговой кривой?
10. Как вычисляется пикетажное положение главных точек круговой кривой?
11. Как контролируется на местности пикетажное положение конца кривой?
12. В каком полевом документе производится вычисление пикетажного положения главных точек круговой кривой?
13. Назовите порядок определения начала кривой.
14. Назовите порядок определения конца кривой.
15. Каким образом вычисляются длины прямых вставок?
16. Каким образом вычисляются расстояния между вершинами углов поворота?
17. Каким образом контролируется правильность составления ведомости прямых вставок и кривых?
18. К чему осуществляется геодезическая привязка линейного объекта?
19. Какой точности выполняется нивелирование автомобильной дороги?
20. Высоты каких точек должны быть получены в процессе нивелирования линейного объекта?
21. Какие точки называются связующими?
22. Какие точки называются промежуточными?
23. Какие точки называются иксовыми?
24. В чем отличие нивелирования связующих и промежуточных точек?
25. Назовите последовательность нивелирования на станции, где имеется промежуточная точка.

26. Что такое постраничный контроль при нивелировании?
27. По каким данным можно выполнить постраничный контроль?
28. Как определяется невязка для разомкнутого нивелирного хода?
29. Как определяется величина допустимой невязки в превышениях для различных условий сложности рельефа?
30. Как распределяется поправка в превышения?
31. Как определяется высота связующих точек?
32. Что такое горизонт прибора?
33. Для чего необходимо определять величину горизонта прибора?
34. Как определяется высота промежуточных точек?
35. Из каких полевых документов получают данные для построения продольного профиля?
36. По каким данным строится продольный профиль линейного объекта?
37. В чем отличие горизонтального и вертикального масштабов продольного профиля?
38. Как определяется высота линии условного горизонта?
39. Какие элементы отражаются на продольном профиле автодороги?
40. Откуда берут данные для заполнения строки «Ситуация»?
41. Что отражается в строке «Ситуация»?
42. Каким образом можно отобразить элементы ситуации на чертеже продольного профиля?
43. Как вычислить расстояния для строки «Расстояние»?
44. Какие элементы трассы отображаются в строке «План линии»?
45. Каким образом отображаются направления поворота в строке «План линии»?
46. Какие параметры трассы линейного объекта отражаются в строке «План линии»?
47. Какие параметры в строке «План линии» контролируются?
48. Какие параметры круговой кривой отражаются в строке «План линии»?
49. Какие элементы на продольном профиле отображают черным цветом?
50. Какие элементы на продольном профиле отображают красным цветом?
51. Какие элементы на продольном профиле отображают синим цветом?
52. Какие элементы на продольном профиле окрашиваются?

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакян, В.В. Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ / В.В. Авакян. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 588 с.
2. Ганьшин, В.Н. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых / В.Н. Ганьшин, Л.С. Хренов. – М.: Недра, 1985. – 430 с.
3. Геодезия: учебник / А.Г. Юнусов, А.Б. Беликов, В.Н. Баранов [и др.]. – М.: Академический проект; Трикста, 2015. – 411 с.
4. Геодезия. Охрана труда при ведении топографо-геодезических работ: метод. указания к проведению учебных и производственных практик / К.Н. Шумаев, А.Я. Сафонов, Т.Т. Миллер [и др.]. – Красноярск: Изд-во Красноярского ГАУ, 2017. – 56 с.
5. Гиршберг, М.А. Геодезия: учебник / М.А. Гиршберг. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 384 с.
6. Дьяков, Б.Н. Основы геодезии и топографии: учеб. пособие / Б.Н. Дьяков, В.Ф. Ковязин, А.Н. Соловьёв. – СПб.: Лань, 2011. – 272 с.
7. Золотова, Е.В. Геодезия с основами кадастра: учебник / Е.В. Золотова, Р.Н. Скогорева. – М.: Академический Проект; Трикста, 2015. – 414 с.
8. Инженерная геодезия: учебник / Е.Б. Ключин, М.И. Киселёв, Д.Ш. Михелев [и др.]. – М.: Академия, 2010. – 496 с.
9. Инженерная геодезия: учебник / А.Г. Парамонов и др. – М.: МАКС Пресс, 2014. – 368 с.
10. Инженерная геодезия и геоинформатика. Краткий курс: учебник / М.Я. Брынь [и др.]. – СПб.: Лань, 2015. – 286 с.
11. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / ГУГК. – М.: Недра, 1985. – 152 с.
12. Киселев, М.И. Геодезия: учебник / М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. – 384 с.
13. Курошев, Г.Д. Геодезия и топография: учебник / Г.Д. Курошев, Л.Е. Смирнов. – М.: Академия, 2006. – 176 с.
14. Маслов, А.В. Геодезия / А.В. Маслов, А.В. Гордеев, Ю.Г. Батраков. – М.: КолосС, 2006. – 598 с.
15. Михайлов, А.Ю. Инженерная геодезия в вопросах и ответах / А.Ю. Михайлов. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 200 с.
16. Неумывакин, Ю.К. Практикум по геодезии: учеб. пособие / Ю.К. Неумывакин. – М.: КолосС, 2008. – 318 с.

17. Первунин В.А. Картография: учеб.-метод. пособие / В.А. Первунин. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2009. – 130 с.
18. Перфилов, В.Ф. Геодезия: учебник / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н.В. Усова. – М.: Высш. шк., 2006. – 350 с.
19. Поклад, Г.Г. Геодезия: учеб. пособие / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Академический Проект, 2013. – 539 с.
20. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах: справочное пособие (ПТБ-88) / ГУГК. – М.: Недра, 1991. – 303 с.
21. Практикум по геодезии: учеб. пособие / под ред. Г.Г. Поклада. – М.: Академический Проект; Фонд «Мир», 2015. – 487 с.
22. Пресняков, В.В. Современные топографо-геодезические методы определения площадей (территорий) на картах и планах / В.В. Пресняков. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 244 с.
23. Сафонов, А.Я. Топография: учеб. пособие / А.Я. Сафонов, К.Н. Шумаев, Т.Т. Миллер. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2014. – 222 с.
24. Справочник стандартных и употребляемых (распространенных) терминов по геодезии, картографии, топографии, геоинформационным системам, пространственным данным. – М.: Братишка, 2007. – 736 с.
25. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / ГУГК. – М.: Недра, 1989. – 286 с.
26. Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10 000 / ГУГК. – М.: Недра, 1977. – 143 с.
27. Уставич, Г.А. Геодезия: учебник. Кн. 1 / Г.А. Уставич. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 352 с.
28. Уставич, Г.А. Геодезия: учебник. Кн. 2 / Г.А. Уставич. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 536 с.
29. Фельдман В.Д. Основы инженерной геодезии: учебник / В.Д. Фельдман, Д.Ш. Михелев. – М.: Высш. шк., 2001. – 314 с.
30. Федеральный закон «О государственном кадастре недвижимости» от 24 июля 2007 г. № 221-ФЗ [Электронный ресурс] // СПС «Консультант-Плюс». – URL: www.consultant.ru.
31. Федотов, Г.А. Инженерная геодезия: учебник / Г.А. Федотов. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 479 с.
32. Фокина, Л.А. Картография с основами топографии: учеб. пособие / Л.А. Фокина. – М.: Гуманитар. Изд. Центр ВЛАДОС, 2005. – 335 с.

33. Хохановская, В.И. Пособие по дешифрированию аэрокосмических снимков и таблицы условных знаков для целей создания планов и карт / В.И. Хохановская. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2009. – 163 с.

34. Чекалин, С.И. Основы картографии, топографии и инженерной геодезии: учеб. пособие / С.И. Чекалин. – М.: Академический Проект, 2009. – 393 с.

35. Шумаев, К.Н. Геодезия. Курс лекций: учеб. пособие / К.Н. Шумаев, А.Я. Сафонов. – Красноярск: Гротеск, 2004. – 80 с.

36. Шумаев, К.Н. Геодезия. Геодезические работы при ведении кадастра недвижимости: курс лекций / К.Н. Шумаев, А.Я. Сафонов. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2010. – 196 с.

37. Шумаев, К.Н. Геодезия. Геодезическое трассирование линейного объекта: метод. указания к выполнению полевых работ / К.Н. Шумаев, А.Я. Сафонов, Ю.В. Горбунова. – Красноярск: Изд-во Красноярского ГАУ, 2017. – 28 с.

38. Шумаев, К.Н. Геодезия. Топографо-геодезические работы в землеустройстве: учеб. пособие / К.Н. Шумаев, А.Я. Сафонов. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2009. – 180 с.

39. Шумаев, К.Н. Картография. Основы геометризации пространства: учеб. пособие / К.Н. Шумаев, А.Я. Сафонов. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2012. – 308 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Пример оформления титульного листа расчетно-графической работы

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ

ЗАДАНИЕ 5

ПО ГЕОДЕЗИИ

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ТРАССИРОВАНИЕ

Проверил
доцент

Т.Т. Миллер

Выполнил
ст-т ИЗКиП – 3-35-180

Д.А. Донской

Красноярск 2018

**Пример использования таблиц В.Н. Ганьшина, Л.С. Хренова [2]
для определения основных элементов круговых кривых**

Таблица «Основные элементы круговых кривых» содержит значения: тангенса T , длины кривой K , домера D и биссектрисы B для радиуса $R=1000$ м и углов поворота α от 0 до 170° через одну минуту дуги. Авторы [2] для обозначения угла поворота использовали букву α , что надо признать неудачным, так как в геодезии данной буквой обозначают дирекционный угол. Поэтому в представленных методических указаниях для обозначения угла поворота использована буква φ . Далее приведены примеры решения задач при помощи таблицы.

Задача 1

Определить основные элементы круговой кривой для $R=1000$ м и $\varphi=64^\circ 12'$.

В таблице в первых четырех колонках, над которыми стоит « $\alpha=64^\circ$ », в строке против $12'$ считываем $T=627.30$ м, $K=1120.50$ м, $D=134.10$ м и $B=180.47$ м.

Задача 2

Определить основные элементы круговой кривой для $R=1275$ м и $\varphi=65^\circ 14'$.

В таблице в четырех крайних правых колонках, над которыми стоит « $\alpha=65^\circ$ », в строке против $14'$ для $R=1000$ м считываем $T=639.94$ м, $K=1138.54$ м, $D=141.34$ м и $B=187.23$ м (см. табл.).

Для $R=1275$ м получаем значения:

$$T = 639.94 \cdot 1.275 = 815.92 \text{ м,}$$

$$K = 1138.54 \cdot 1.275 = 1451.64 \text{ м,}$$

$$D = 141.34 \cdot 1.275 = 180.21 \text{ м,}$$

$$B = 187.23 \cdot 1.275 = 231.07 \text{ м.}$$

Основные элементы круговых кривых

$\alpha = 64^\circ$				$R = 1000$	$\alpha = 65^\circ$			
Основные элементы круговых кривых, м				Минуты угла α	Основные элементы круговых кривых, м			
<i>T</i>	<i>K</i>	<i>Д</i>	<i>Б</i>		<i>T</i>	<i>K</i>	<i>Д</i>	<i>Б</i>
624.87	1117.01	132.73	179.18	0	637.07	1134.46	139.68	185.69
625.07	30	84	29	1	27	75	79	80
27	59	95	39	2	48	1135.05	91	91
625.48	1117.88	133.08	179.50	3	637.68	1135.34	140.02	186.02
68	1118.17	19	61	4	89	63	15	23
88	47	29	71	5	638.09	92	26	24
626.08	1108.76	133.40	179.82	6	638.30	1136.21	140.39	186.35
29	1119.05	53	93	7	50	50	50	46
49	34	64	180.04	8	71	79	63	57
626.29	1119.63	133.75	180.14	9	638.91	1137.08	140.74	186.68
89	92	86	25	10	639.12	37	87	79
627.10	1120.21	99	36	11	32	66	98	90
627.30	1120.50	134.10	180.47	<u>12</u>	639.53	1137.95	141.11	187.01
50	79	21	58	13	73	1138.25	21	12
70	1121.08	32	68	<u>14</u>	94	54	34	23
627.91	1121.37	134.45	180.79	15	640.14	1138.83	141.45	187.34
628.11	66	56	90	16	35	1139.12	58	45
31	96	66	181.01	17	55	41	69	56
628.52	1122.25	134.79	181.11	18	640.76	1139.70	141.82	187.67
72	54	90	22	19	96	99	93	78
92	83	135.10	33	20	641.17	1140.28	142.06	90
629.12	1123.12	135.12	181.44	21	641.37	1140.57	142.17	188.01
33	41	25	55	22	58	86	30	12
53	70	36	66	23	78	1141.15	41	23
629.73	1123.99	135.47	181.76	24	641.99	1141.45	142.53	188.34
94	1124.28	60	87	25	642.19	74	64	45
630.14	57	71	98	26	40	1142.03	77	56
630.34	1124.86	135.82	182.09	27	642.60	1142.32	142.88	188.67
55	1125.16	94	20	28	81	61	143.01	78
75	45	136.05	31	29	643.02	90	14	89
630.95	1125.74	136.16	182.41	30	643.22	1143.19	143.25	189.01

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Обработка журнала геометрического нивелирования.....	5
Построение продольного профиля трассы.....	14
Расчёт элементов круговой кривой.....	18
Расчет пикетажного положения главных точек кривой.....	20
Составление ведомости прямых вставок и круговых кривых.....	22
Оформление продольного профиля.....	25
Контрольные вопросы.....	27
Литература.....	29
Приложения.....	32
Приложение А.....	32
Приложение Б.....	33

ГЕОДЕЗИЯ

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ТРАССИРОВАНИЕ

*Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы*

*Сафонов Александр Яковлевич
Горбунова Юлия Викторовна*

Редактор Л.Ю. Беликова

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 6.03.2018. Формат 60x90/16 Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 2,5. Тираж 56 экз. Заказ № 49.

Издательство Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117