

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра лесоустройства

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**Методические рекомендации для студентов
специальности 1-46 01 01 «Лесоинженерное дело»**

Минск 2010

УДК 528.48(076+075.8)

ББК 26.1я73

И62

Рассмотрены и рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета.

Составители:

А. А. Пушкин, С. В. Ковалевский, Н. Я. Сидельник

Рецензент

доцент кафедры лесных культур и почвоведения БГТУ,
кандидат сельскохозяйственных наук

А. П. Волкович

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы на 2010 год. Поз. 8.

Для студентов специальности 1-46 01 01 «Лесоинженерное дело».

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2010

ВВЕДЕНИЕ

Профессиональная подготовка инженеров-технологов для лесопромышленных производств ориентирована на выполнение следующих задач: организация лесоэксплуатационных процессов, которые учитывают требования лесной сертификации и принцип неиссякаемости и рационального лесопользования; разработка современных способов грузоперевозок и погрузочно-разгрузочных работ лесного комплекса; использование ГИС-технологий и нового программного обеспечения для проектирования дорог; конструирование покрытий и почвенного полотна лесовозных дорог; совершенствование технологии строительства и ремонта дорожных покрытий для освоения лесных массивов; механизация дорожно-строительных работ.

Цель курсовой работы – закрепление студентами полученных теоретических знаний по дисциплине «Инженерная геодезия»; углубленное изучение методики камеральных и полевых геодезических работ, выполняемых при изыскании лесовозных автомобильных дорог; получение навыков выполнения на картах и планах геодезических измерений, связанных с проектированием и строительством линейных сооружений; ознакомление с сущностью геодезических расчетов и графических работ при проектировании лесовозных дорог и других аналогичных сооружений, а также с методикой оценки точности геодезических величин, получаемых в процессе вышеназванных работ на планах и картах в процессе расчетов; подготовка студентов к изучению на специальных кафедрах процессов проектирования, строительства и эксплуатации лесовозных дорог.

В соответствии с названными целями в задачи курсовой работы входят следующие задания: трассирование дороги на карте в соответствии с полученным вариантом, ориентирование трассы, составление ее плана; составление продольного и поперечного профилей трассы; размещение на профиле проектной линии вертикального положения дороги; вычисление проектных и рабочих отметок, а также отметок точек нулевых работ; проектирование вертикальных кривых, оценка точности результатов камерального трассирования лесовозной дороги; детальная разбивка круговых кривых.

В задачи выполняемой курсовой работы не входит изучение специальных вопросов проектирования, строительства и эксплуатации лесовозных дорог. Эти вопросы затрагиваются только для соответствующих пояснений.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Методические рекомендации составлены в соответствии с программой курсовой работы «Инженерно-геодезические расчеты при изыскании трассы лесовозной дороги».

При выполнении курсовой работы следует руководствоваться настоящими методическими рекомендациями и теоретическими сведениями, изложенными по теме курсовой работы в учебной литературе [2, 3, 4], а также в технической литературе [1].

На аудиторных практических занятиях студентам выдаются геодезические приборы: линейки масштабные с поперечным масштабом (ЛМП), транспортиры геодезические (ТГ-1), копии фрагментов учебной топографической карты масштаба 1 : 10 000 (У-33-65-Б-а-1), образцы условных знаков для карт и планов.

Для выполнения курсовой работы каждый студент должен иметь: лист миллиметровой бумаги размером 40×60 см; бумагу чертежную – 3 листа формата А4; инженерный калькулятор; линейку металлическую или проверенную пластмассовую на деревянной основе длиной 25–30 см; угольник с четко видимыми миллиметровыми делениями; транспортир диаметром не менее 10 см; циркуль-измеритель; чертежные инструменты (рейсфедер или чертежное перо стальное № 41 и ручку для пера, линейку с прямолинейным выступом, другие устройства для вычерчивания кривых тонких линий); карандаш простой или механический «0,5» со стержнем средней твердости 2М или 3М; устройство для заточки карандаша; тушь черную, красную – 1 флакон на учебную группу студентов.

Каждому студенту руководителем курсового проектирования выдается задание на выполнение курсовой работы, утвержденное заведующим кафедрой, на которой выполняется работа. В задании приводится перечень подлежащих разработке вопросов, календарный график работы над курсовой работой на весь период проектирования. Для успешного овладения методикой камеральных геодезических работ, получения навыков геодезических измерений на картах и планах, связанных с проектированием и строительством линейных сооружений, обязательным является соблюдение календарного графика работы над курсовой работой.

Защита курсовой работы осуществляется в форме беседы преподавателя и студента. К защите допускаются курсовые работы студентов, выполнивших календарный график работы.

1. ТРАССИРОВАНИЕ ДОРОГИ ПО КАРТЕ

1.1. Исходные данные для трассирования. Учет технических условий определения планового положения дороги

Трассирование дороги осуществляется на выданной копии топографической карты масштаба 1 : 10 000 от точки P до точки G .

Начальная (P) и конечная (G) точки трассы наносятся на карту карандашом по их координатам, выбранным из табл. 1.1, в соответствии с номером варианта курсовой работы, заданным преподавателем.

Для нанесения на копию карты точки P по ее координатам необходимо найти квадрат координатной километровой сетки, в который попала точка P (рис. 1.1). В нашем случае точка P имеет координаты: $X = 6022,56$ км, $Y = 3451,28$ км. На двух сторонах квадрата, параллельных оси X , относительно горизонтальной линии $X = 6022$ км откладывают отрезок $\Delta X = 6022,56 - 6022 = 0,56$ км, что в соответствии с масштабом карты составляет $\Delta X_{\text{п}} = 56$ мм. Через окончания этих отрезков проходит горизонтальная линия (на копии карты ее не проводят), вдоль которой откладывают отрезок $\Delta Y = 3451,28 - 3451 = 0,28$ км, или в масштабе $\Delta Y_{\text{п}} = 28$ мм. Обозначают пункт P легким наколом карандаша (диаметр поставленной точки не должен превышать 0,2 мм).

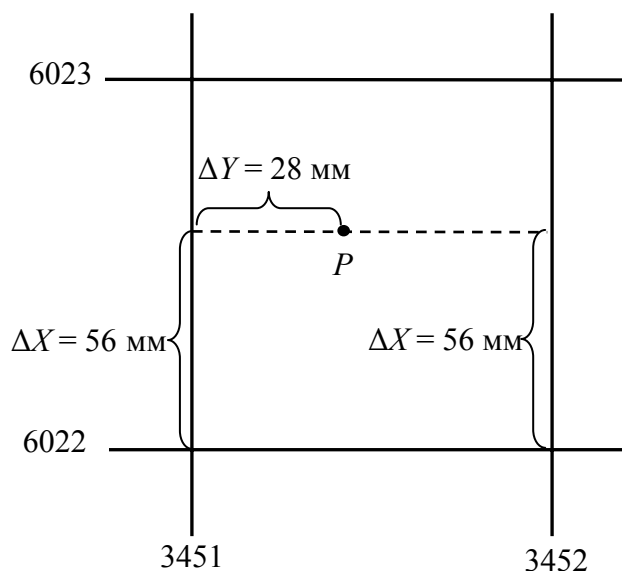


Рис. 1.1. Схема нанесения пункта по координатам

Аналогичные действия выполняются при нанесении на копию топографической карты конечной точки (G) трассы.

Таблица 1.1

Координаты начальной и конечной точек трассы

Номер вари- анта	Пункт P		Пункт G	
	X_P , км	Y_P , км	X_G , км	Y_G , км
1	6022,96	3451,28	6022,60	3454,14
2	6022,87	3451,30	6022,81	3454,20
3	6022,76	3451,29	6022,74	3454,10
4	6022,67	3451,30	6022,86	3453,90
5	6022,66	3451,52	6022,16	3454,00
6	6022,54	3451,32	6022,13	3454,15
7	6022,47	3451,33	6022,36	3454,03
8	6022,41	3451,34	6022,18	3454,06
9	6022,31	3451,25	6022,41	3454,11
10	6022,21	3451,24	6022,38	3454,26
11	6022,09	3451,27	6022,24	3453,91
12	6022,02	3451,29	6022,99	3454,00
13	6021,97	3451,29	6023,00	3453,72
14	6021,82	3451,35	6023,04	3453,68
15	6021,75	3451,35	6023,11	3453,62
16	6021,46	3451,44	6023,13	3453,56
17	6021,31	3451,62	6023,17	3453,89
18	6021,39	3451,56	6023,13	3453,39
19	6021,20	3451,62	6023,28	3453,44
20	6021,33	3451,46	6023,13	3453,70
21	6021,38	3451,76	6023,13	3453,40
22	6021,68	3451,58	6022,98	3454,11
23	6021,74	3451,53	6023,04	3453,48
24	6021,87	3451,48	6023,11	3453,82
25	6021,94	3451,42	6023,17	3453,49
26	6021,93	3451,59	6023,23	3453,84
27	6021,81	3451,69	6023,23	3453,74
28	6022,06	3451,43	6023,00	3453,52
29	6022,15	3451,55	6023,13	3454,15
30	6021,99	3451,60	6022,41	3453,81

Окончание табл. 1.1

Номер вари- анта	Пункт <i>P</i>		Пункт <i>G</i>	
	X_P , км	Y_P , км	X_G , км	Y_G , км
31	6020,96	3451,28	6020,60	3454,14
32	6020,87	3451,30	6020,81	3454,20
33	6020,76	3451,29	6020,74	3454,10
34	6020,67	3451,30	6020,86	3453,90
35	6020,66	3451,52	6020,16	3454,00
36	6020,54	3451,32	6020,13	3454,15
37	6020,47	3451,33	6020,36	3454,03
38	6020,41	3451,34	6020,18	3454,06
39	6020,31	3451,25	6020,41	3454,11
40	6020,21	3451,24	6020,38	3454,26
41	6020,09	3451,27	6020,24	3453,91
42	6020,02	3451,29	6020,99	3454,00
43	6019,97	3451,29	6021,00	3453,72
44	6019,82	3451,35	6021,04	3453,68
45	6019,75	3451,35	6021,11	3453,62
46	6019,46	3451,44	6021,13	3453,56
47	6019,31	3451,62	6021,17	3453,89
48	6019,39	3451,56	6021,13	3453,39
49	6019,20	3451,62	6021,28	3453,44
50	6019,33	3451,46	6021,13	3453,70
51	6019,38	3451,76	6021,13	3453,30
52	6019,68	3451,58	6020,98	3454,11
53	6019,74	3451,53	6021,04	3453,48
54	6019,87	3451,48	6021,11	3453,82
55	6019,94	3451,42	6021,17	3453,49
56	6019,93	3451,59	6021,23	3453,84
57	6019,81	3451,69	6021,23	3453,74
58	6020,06	3451,43	6021,00	3453,52
59	6020,15	3451,55	6021,13	3454,15
60	6019,99	3451,60	6020,41	3453,81

При выборе положения трассы на карте необходимо руководствоваться общетехническими требованиями, которые с учетом ранее названных целей можно сформулировать так:

- трасса должна обходить контурные и высотные препятствия (излучены рек, населенные пункты, озера и болота, возвышенности, глубокие котловины), ценные сельскохозяйственные земли и проходить преимущественно по участкам местности со спокойным рельефом, для того чтобы избежать проектирования промежуточных участков продольного профиля дороги на высоких насыпях и глубоких выемках;
- через реки, овраги и балки трассу прокладывают под прямым углом к их направлению, по возможности в наиболее узком месте;
- предельный уклон продольного профиля лесовозной дороги в курсовой работе принимаем за 40‰;
- протяженность дороги с учетом названных условий должна быть как можно меньше.

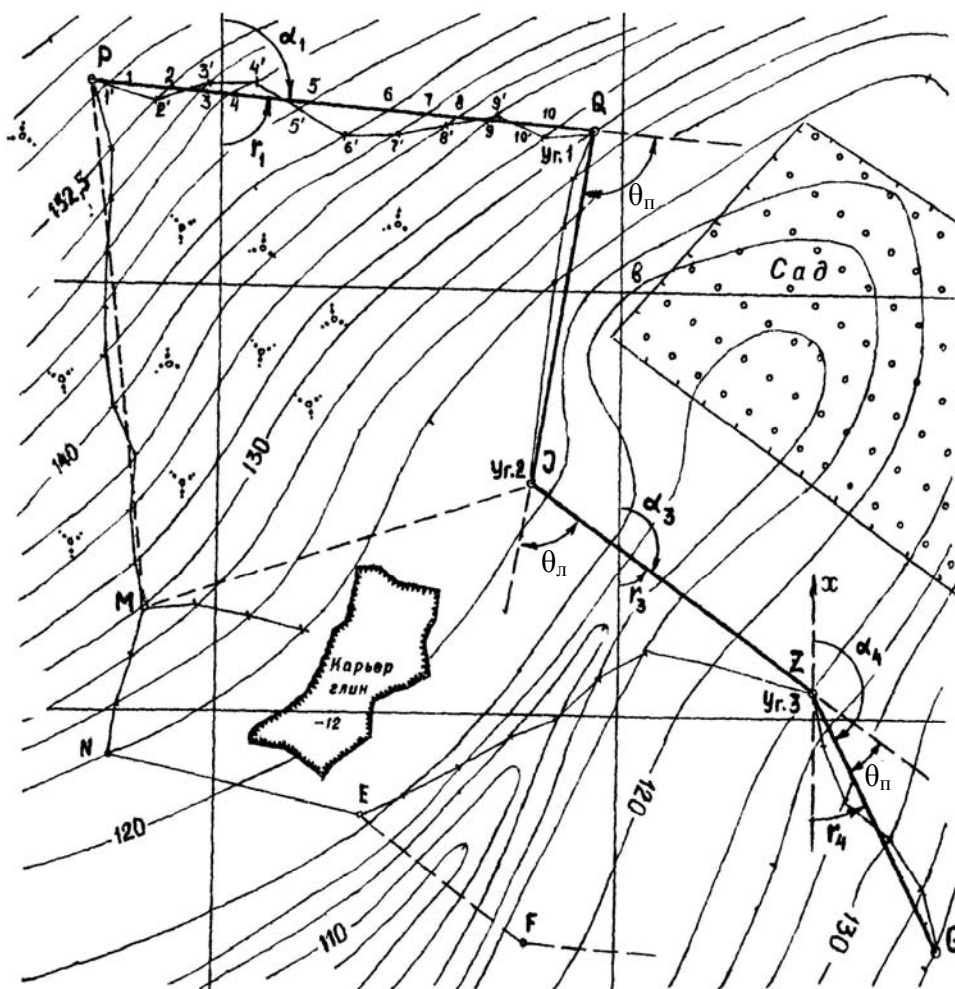


Рис. 1.2. Выбор планового положения трассы

Совмещение указанных требований приводит к необходимости изучения нескольких вариантов размещения трассы на карте. Выбирается тот, который наиболее полно удовлетворяет требованиям размещения, строительства и эксплуатации дороги. При этом для обеспечения оптимальных уклонов нередко предусматривается изменение рельефа на трассе дороги путем создания соответствующих насыпей и выемок.

На рис. 1.2 приведен пример выбора планового положения трассы с учетом предельного уклона лесовозной дороги и наличия препятствий. Показаны некоторые возможные варианты прокладки трассы по карте между точками P и G .

1.2. Трассирование лесовозной дороги по карте

С учетом технических условий, приведенных в пункте 1.1, требуется спроектировать на карте положение дороги. Учебное проектирование трассы лесовозной дороги ведется на ксерокопии карты – этим обеспечивается многократное использование карт в учебном процессе.

На копии карты между точками P и G намечаются направления прямых отрезков трассы и углы ее поворотов. Для прокладки трассы на крутых спусках высчитывается выраженное горизонтальным расстоянием на местности заложение рельефа для данной карты, т. е. минимально допустимая длина отрезка между смежными горизонталями (d_{\min}):

$$d_{\min} = \left[h_c / (i_{\text{пред}} - \Delta i) \right] \cdot 1000, \quad (1.1)$$

где h_c – высота сечения рельефа, м; $i_{\text{пред}}$ – предельный уклон лесовозной дороги; $\Delta i = i_{\text{пред}} / 20$ – поправка, учитывающая положение горизонталей по карте, отложение отрезков d_{\min} , а также извилистость предельного уклона.

В нашем случае предельный уклон $i_{\text{пред}} = 40\%$, высота сечения рельефа $h_c = 2,5$ м, используя формулу (1.1), получаем

$$d_{\min} = 2,5 \cdot 1000 / (40 - (40 / 20)) = 65,8 \text{ м.}$$

На карте масштаба $1 : M = 1 : 10\,000$ отрезку d_{\min} соответствует отрезок l_0 (рис. 1.2), величина которого определяется по формуле

$$l_0 = d_{\min} / M. \quad (1.2)$$

Значение l_0 берется в раствор циркуля-измерителя, с помощью которого между горизонталями намечается ломаная линия $P - 1' - 2' - 3' - \dots$, ее уклон на местности не превышает предельного (рис. 1.2). Намеченный участок трассы спрямляется отрезком PQ , причем точка Q необязательно совпадает с намеченной ломаной линией.

В нашем случае на рис. 1.2 положение конечного участка трассы установлено по условию соблюдения требуемого уклона от точки G во встречном к PG направлении. Положение промежуточных точек участков (QJ , JZ) выбрано в обход контурных препятствий с учетом пересечения лощины в наиболее узком и неглубоком месте.

В учебных целях на копии карты между точками P и G прокладываются два варианта трассы.

Из намеченных участков выбирается тот, который имеет самую короткую ломаную линию и удовлетворяет техническим условиям, приведенным в пункте 1.1. Остальные варианты сохраняются на карте для иллюстрирования обоснования выбора окончательного положения трассы.

1.3. Ориентирование трассы, измерение углов поворота на карте, расчет элементов закруглений

Для строительства дороги производится рекогносцировка трассы с окончательным выбором и обозначением на местности вершин поворота. В производственных условиях углы поворота измеряются теодолитом. Значения дирекционного угла (α) в начале и конце трассы определяется по привязке к геодезической основе. В отдельных случаях значения α_n и α_k вычисляются по результатам измерения магнитных азимутов.

При выполнении курсовой работы ориентирование трассы осуществляется по топографической карте относительно вертикальных линий координатной километровой сетки. Данные ориентирования трассы заносятся в таблицу «Угловые элементы трассы» (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Угловые элементы трассы

Угол поворота			Направление прямого отрезка		Измеренный на карте дирекционный румб, r'	Расхождение, Δr
Номер вершины	Обозначения	Величина	Дирекционный угол, α	Дирекционный румб, r		
1	2	3	4	5	6	7
P	–	–	95°06'	ЮВ:84°54'	ЮВ:85°00'	–6'
ВУ1	Q_n	95°48'	190°54'	ЮЗ:10°54'	ЮЗ:10°24'	+30'
ВУ2	Q_d	66°12'	124°42'	ЮВ:55°18'	ЮВ:55°36'	–18'
ВУ3	Q_n	29°30'	154°12'	ЮВ:25°48'	ЮВ:26°12'	–24'
G	–	–				

В первую очередь, в соответствии с выбранным вариантом трассы, определяются с наличием углов поворота трассы, их обозначают на карте и указывают в графе 2 табл. 1.2.

Угол поворота трассы – это горизонтальный угол, составленный продолжением предыдущего и направлением последующего ее участков (рис. 1.3).

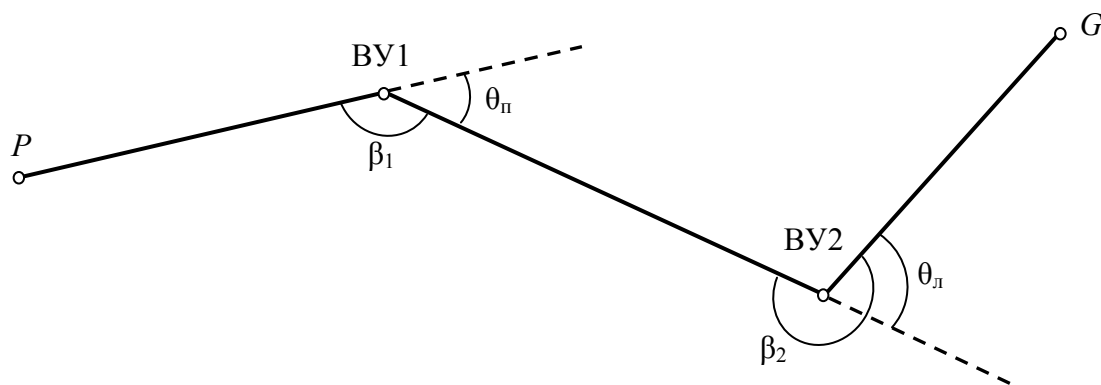


Рис. 1.3. Углы поворота трассы

После определения количества и вида углов поворота трассы их измеряют при помощи транспортира ТГ-1 с точностью до $0,1-0,2^\circ$. В нашем случае в точке Q (рис. 1.2) угол поворота равен $\theta_{\text{п}} = 95,8^\circ$. В табл. 1.2 измеренные углы поворота $\theta_{\text{п}}$ и $\theta_{\text{л}}$ записывают в графе 3 в градусах и минутах, т. е. $\theta_{\text{п}} = 95,8^\circ$, где $0,8^\circ \cdot 60 = 48'$.

После измерения углов поворота трассы необходимо с помощью транспортира ТГ-1 с точностью до $0,1-0,2^\circ$ измерить дирекционный угол первого прямого участка трассы. В нашем случае $\alpha_{P-ВУ1} = 95,1^\circ = 95^\circ 06'$, данное значение заносится в табл. 1.2 графу 4 для стороны $P-ВУ1$. Дирекционные углы остальных прямых участков вычисляются в зависимости от угла поворота по формулам (1.3) и (1.4):

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - \theta_{\text{л}}, \quad (1.3)$$

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + \theta_{\text{п}}, \quad (1.4)$$

где i – порядковый номер участка.

В нашем случае в точке ВУ1 имеем угол поворота вправо, равный $\theta_{\text{п}} = 95^\circ 48'$. Дирекционный угол следующего участка трассы ВУ1–ВУ2 вычисляется по формуле (1.3):

$$\alpha_{ВУ1-ВУ2} = 95^\circ 06' + 95^\circ 48' = 190^\circ 54'.$$

В точке ВУ2 имеем угол поворота влево, равный $\theta_{л} = 66^{\circ}12'$. Дирекционный угол следующего участка трассы ВУ2–ВУ3 вычисляется по формуле (1.4):

$$\alpha_{ВУ2-ВУ3} = 190^{\circ}54' - 66^{\circ}12' = 124^{\circ}42'$$

Вычисленные значения $\alpha_{ВУ1-ВУ2}$, $\alpha_{ВУ2-ВУ3}$ указываются в табл. 1.2 графе 4. Аналогичным образом поступают со всеми прямолинейными участками трассы.

После определения дирекционных углов участков трассы вычисляются румбы прямых участков (r), для этого используют зависимость между румбами и дирекционными углами. Для проверки результатов, по копии карты с помощью геодезического транспортира (ТГ-1) проводят измерение дирекционных румбов (r'). После измерения дирекционных румбов определяется расхождение между вычисленными и измеренными румбами (Δr) по формуле

$$\Delta r = r - r' . \quad (1.5)$$

Для правильного ориентирования трассы необходимо, чтобы расхождение (Δr) не превышало 1° . В противном случае проверяют измерение углов поворота $\theta_{п}$ и $\theta_{л}$, дирекционного угла первого прямого участка трассы ($\alpha_{р-ВУ1}$) и результаты вычислений дирекционных углов прямых участков, выполненные по формулам (1.3) и (1.4).

После измерения углов поворота и ориентирования трассы по карте приступают к формированию таблицы «Ведомость углов поворота, прямых и кривых трассы» (табл. 1.3), которая необходима для составления плана трассы автомобильной лесовозной дороги.

Графы 1, 3 и 4 табл. 1.3 заполняются данными, указанными в графах 1–3 табл. 1.2 «Угловые элементы трассы». После указания в табл. 1.3 данных по ориентированию трассы необходимо в графе 5 записать значение радиусов круговых кривых (R). В общем случае значение радиуса круговой кривой устанавливается с учетом условий местности и назначения дороги, руководствуясь техническими условиями проектирования лесовозных дорог, что изучается в специальных курсах. Для лесовозных дорог чаще всего рекомендуемый радиус $R = 800-1000$ м, а минимальный – $30-150$ м. Поскольку при выполнении курсовой работы изучаются геодезические работы и расчеты, связанные с проектированием лесовозных дорог, величину R будем принимать в зависимости от угла поворота трассы θ : при $\theta \leq 15^{\circ}$ $R = 500$ м; при $15^{\circ} \leq \theta \leq 30^{\circ}$ $R = 400$ м; при $30^{\circ} \leq \theta \leq 50^{\circ}$ $R = 300$ м; при $50^{\circ} \leq \theta \leq 70^{\circ}$ $R = 250$ м; при $\theta \geq 70^{\circ}$ $R = 200$ м.

Таблица 1.3

Ведомость углов поворота, прямых и кривых трассы

Наименование точек	Пикетное положение	Величина угла поворота		Кривые, м							Длина прямых S_k , м	Расстояние между вершинами углов поворота S_B , м
		θ_n	θ_d	R	T	K	D	B	Пикетное положение			
									НК	КК		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P	ПК0											
											1024,66	1246,0
ВУ1	ПК12 + 46,0	95°48'		200	221,34	334,40	108,28	98,32	ПК10 + 24,66	ПК13 + 59,06		
											461,69	846,0
ВУ2	ПК19 + 83,72		66°12'	250	162,97	288,85	37,09	48,43	ПК18 + 20,75	ПК21 + 9,60		
											576,72	845,0
ВУ3	ПК27 + 91,63	29°30'		400	105,31	205,95	4,67	13,63	ПК26 + 86,31	ПК28 + 92,26		
											574,69	680,0
G	ПК34 + 66,95											
Сумма		128°18'	66°12'		489,62	829,20	150,04				2637,76	3617,0

Контроль:

$$2\Sigma T - \Sigma K = \Sigma D = 979,24 - 829,2 = 150,04 \text{ м};$$

$$\Sigma S_k + \Sigma K + \Sigma D = \Sigma S_B = 2637,76 + 829,2 + 150,04 = 3617,00 \text{ м}.$$

Угол поворота (θ) и радиус круговой кривой (R) служат исходными данными для вычисления основных элементов круговой кривой – тангенса (T), кривой (K), домера (D) и биссектрисы (B).

Тангенс (T) – длина касательных от вершины угла ($BУ$) до начала или конца кривой.

Кривая (K) – длина круговой кривой между ее началом и концом.

Домер (D) – разность в длине двух касательных (тангенсов) и кривой.

Биссектриса (B) – отрезок биссектрисы от вершины угла до кривой.

Основные элементы круговой кривой можно определить, используя «Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых», в которых названные элементы вычислены по углу поворота для $R_T = 1000$ м. Чтобы определить основные элементы круговой кривой для выбранного радиуса, необходимо найденные табличные значения, в соответствии со значением угла поворота, умножить на коэффициент k , который равен отношению R / R_T .

В нашем случае в точке $BУ1$ угол поворота трассы равен $\theta_{\pi} = 95^{\circ}48'$. По «Таблицам для разбивки круговых и переходных кривых» [2] получаем значения основных элементов круговой кривой: $T = 1106,72$ м, $K = 1672,03$ м, $D = 541,41$ м, $B = 491,59$ м. При проектировании лесовозной дороги в точке $BУ1$ в соответствии с величиной угла поворота был принят радиус круговой кривой $R = 200$ м. Таким образом, для получения основных элементов круговой кривой в точке $BУ1$, которые будут соответствовать $\theta_{\pi} = 95^{\circ}48'$ и $R = 200$ м, необходимо табличные данные умножить на $k = R / R_T = 200 / 1000 = 0,20$. Таким образом, основные элементы имеют следующие значения:

$$T = 221,34 \text{ м};$$

$$K = 334,40 \text{ м};$$

$$D = 108,28 \text{ м};$$

$$B = 98,32 \text{ м}.$$

Результаты расчетов записываются в табл. 1.3 графы 6–9.

Значения основных элементов круговой кривой можно вычислить по формулам:

тангенс

$$T = R \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right); \quad (1.6)$$

круговая кривая

$$K = \left(\frac{\theta}{180}\right) \cdot \pi \cdot R; \quad (1.7)$$

домер

$$Д = 2Т - К ; \quad (1.8)$$

биссектриса

$$Б = R \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right) = \frac{R}{\cos(\theta/2)} - R ; \quad (1.9)$$

где θ – угол поворота трассы, °; R – радиус круговой кривой, м; $\pi = 3,141\,592\,6$.

В нашем случае в точке ВУ2 угол поворота трассы равен $\theta_n = 66^\circ 12'$, радиус круговой кривой $R = 250$ м. Используя формулы, вычисляем основные элементы круговой кривой:

$$Т = R \cdot \operatorname{tg}(\theta / 2) = 250 \cdot \operatorname{tg}(66,2^\circ / 2) = 250 \cdot 0,651\,89 = 162,97 \text{ м};$$

$$К = \pi \cdot R \cdot (\theta / 180^\circ) = 3,141\,592\,6 \cdot 250 \cdot (66,2^\circ / 180^\circ) = 288,85 \text{ м};$$

$$Д = 2Т - К = (2 \cdot 162,97) - 288,85 = 37,09 \text{ м};$$

$$Б = (R / \cos(\theta / 2)) - R = (250 / \cos(66,2^\circ / 2)) - 250 = 48,43 \text{ м}.$$

Результаты расчетов T , K , D и B записываются в табл. 1.3 графы 6–9.

При написании курсовой работы для расчета основных элементов круговой кривой выбирается любой из вышеописанных способов.

Правильность расчетов и записи основных элементов круговых кривых в табл. 1.3 проверяется по формуле

$$2\sum T - \sum K = \sum D. \quad (1.10)$$

1.4. Составление плана трассы

План трассы – графическое изображение технических и геодезических данных дороги для нанесения их на местность. План трассы представляет собой горизонтальную проекцию оси дороги. Элементы плана трассы: прямые – расстояния от начала трассы до начала кривой или от конца одной кривой до начала последующей; углы поворота; кривые постоянного радиуса.

Для составления плана трассы необходимо продолжить заполнение табл. 1.3 «Ведомость углов поворота, прямых и кривых трассы».

По карте с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки измеряют расстояния между вершинами углов поворота трассы (S_B) и полученные значения записываются в табл. 1.3 графу 13. В нашем случае расстояние от точки P до ВУ1 равно 1246 м, от ВУ1 до ВУ2 – 846 м, от ВУ2 до ВУ3 – 845 м, от ВУ3 до точки G – 680 м.

После определения расстояний между вершинами углов поворота (S_B) необходимо определить пикетное обозначение точек P (начало трассы), G (конец трассы) и всех вершин углов поворота, в нашем случае – ВУ1, ВУ2, ВУ3.

Пикетное обозначение ВУ1 вычисляется по формуле

$$\text{ПК ВУ1} = \text{ПК0} + S_{B,1}, \quad (1.11)$$

где $S_{B,1}$ – расстояние от точки P до ВУ1, указанное в графе 13 табл. 1.3.

В нашем случае

$$\text{ПК ВУ1} = 0 + 1246,0 = 1246,0 \text{ м} = \text{ПК 12} + 46,0 \text{ м}.$$

Пикетное обозначение ВУ2 вычисляется по формуле

$$\text{ПК ВУ2} = \text{ПК ВУ1} + S_{B,2} - D_1, \quad (1.12)$$

где $S_{B,2}$ – расстояние от ВУ1 до ВУ2; D_1 – домер первой круговой кривой.

В нашем случае

$$\text{ПК ВУ2} = 1246,0 + 846,0 - 37,09 = 1983,72 \text{ м} = \text{ПК 19} + 83,72 \text{ м}.$$

Пикетное обозначение ВУ3 определяется по формуле

$$\text{ПК ВУ3} = \text{ПК ВУ2} + S_{B,3} - D_2, \quad (1.13)$$

где $S_{B,3}$ – расстояние от ВУ2 до ВУ3; D_2 – домер второй круговой кривой.

Аналогичным образом поступают со всеми вершинами углов поворота. Так как в нашем случае вершин углов поворота только 3, то после определения их пикетных обозначений необходимо определить пикетное обозначение конечной точки трассы – G .

Пикетное обозначение конечной точки трассы G вычисляется по формуле

$$\text{ПК ВУG} = \text{ПК ВУ3} + S_{B,4} - D_3 \quad (1.14)$$

где $S_{B,4}$ – расстояние от ВУ3 до точки G ; D_3 – домер третьей круговой кривой.

Вычисленные пикетные обозначения точек P , ВУ1, ВУ2, ВУ3 и G записываются в графе 2 табл. 1.3.

По найденным основным элементам круговой кривой и пикетным обозначениям вершин углов поворота вычисляют пикетное обозначение главных точек круговой кривой (начало кривой – НК, конец кривой – КК).

Пикетное обозначение точек начала (НК) и конца (КК) каждой круговой кривой трассы находят по формулам:

$$\text{ПК НК} = \text{ПК ВУ} - T; \quad (1.15)$$

$$\text{ПК КК} = \text{ПК НК} + K. \quad (1.16)$$

Контроль:

$$\text{ПК КК} = \text{ПК ВУ} + T - Д. \quad (1.17)$$

В нашем случае для первой круговой кривой имеем $\text{ПК ВУ1} = \text{ПК12} + 46,0$ м, вычисляем пикетное обозначение точек начала (НК) и конца (КК) кривой:

ПК ВУ1	12 + 46,00	Контроль	
– T	221,34	ПК ВУ1	12 + 46,00
ПК НК	10 + 24,66	+ T	221,34
+ K	334,40	– Д	108,28
ПК КК	13 + 59,06	ПК КК	13 + 59,06

Расхождение в пикетном значении конца круговой кривой (КК), вычисленном по двум схемам, не должно превышать 0,03 м, которое может получиться за счет округлений.

Пикетное обозначение главных точек определяют для всех круговых кривых. Результаты расчетов записываются в графах 10 и 11 табл. 1.3.

В соответствии с техническими указаниями план трассы автомобильных дорог необходимо вычерчивать в масштабе 1 : 2000 [1]. В курсовой работе план трассы составляется на копии топографической карты масштаба 1 : 10 000 по образцу рис. 1.4.

Для каждой круговой кривой определяется местоположение главных точек (НК, КК). Для этого необходимо на карте от вершины угла в обе стороны отложить величину ее тангенса в масштабе карты. Середина кривой находится на биссектрисе. Круговая кривая проводится ее радиусом в масштабе карты. После указания местоположения главных точек круговой кривой на оси дороги определяется местоположение километровых точек. Километровые точки откладываются через 1 км в масштабе карты по оси трассы, т. е. через ее прямые и кривые участки. Чтобы избежать ошибок от неточного измерения расстояний по кривым, километровые пикеты наносят на план от ближайшей вершины угла поворота на расстоянии d , которое вычисляется по формулам в зависимости от местоположения километровой точки:

а) если километровая точка расположена перед вершиной угла поворота, то используется формула

$$d = \text{ПК ВУ} - 1000 \cdot n, \quad (1.18)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$ – номер километровой точки.

В нашем случае, такая ситуация сложилась для первой километровой точки, т. е. для ПК10:

$$d_1 = \text{ПК ВУ1} - 1000 = 1246,0 - 1000 = 246,0 \text{ м.}$$

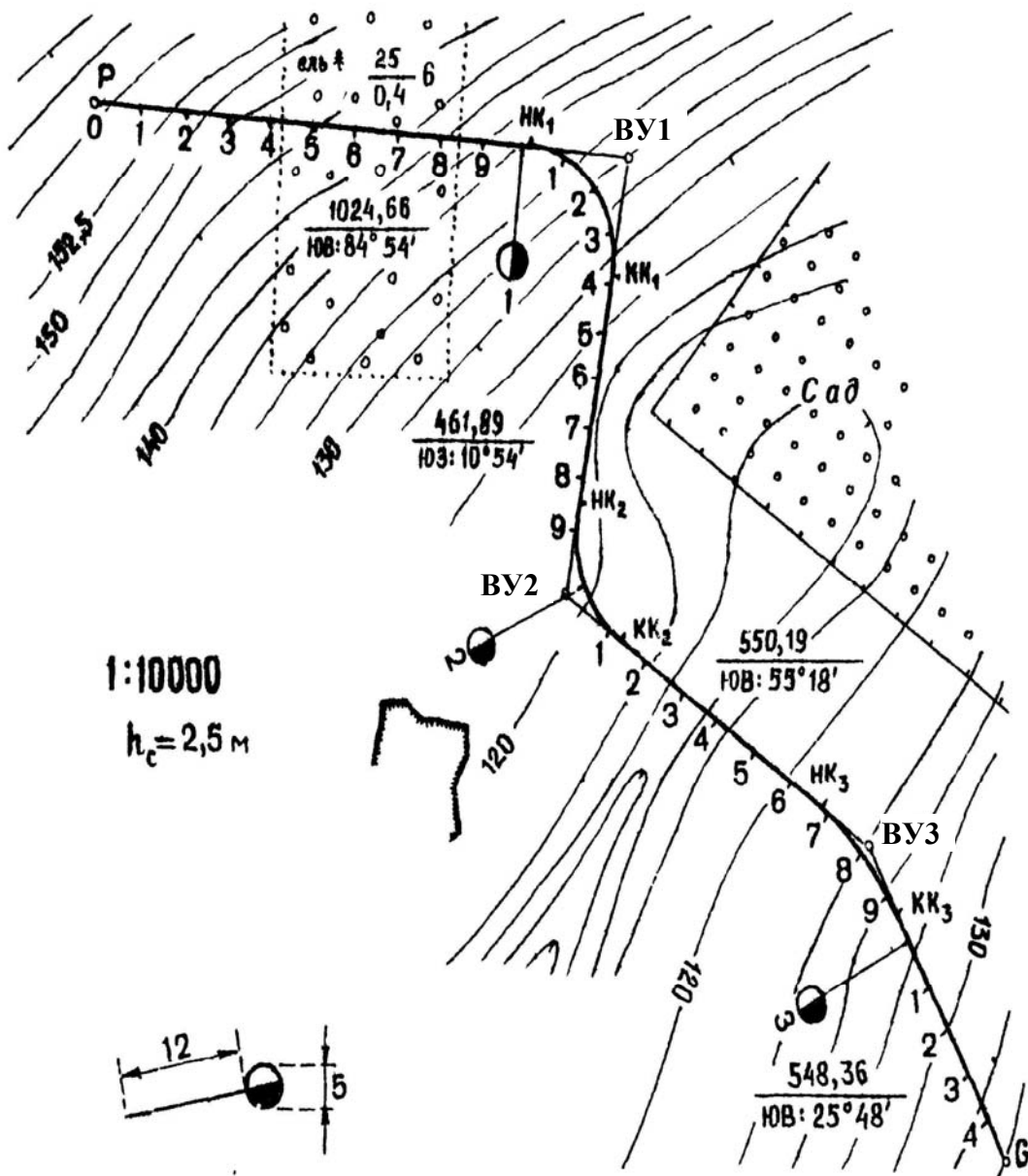


Рис. 1.4. План трассы

В соответствии с масштабом 1 : 10 000 на карте расстояние равно $d_{п,1} = 24,6$ мм. Для нанесения на план трассы первой километровой точки, т. е. ПК10, необходимо от ВУ1 в направлении начальной точки трассы P отложить по прямой линии $d_{п} = 24,6$ мм;

б) если километровая точка расположена за вершиной угла поворота и за концом кривой номером i , применяется формула

$$d = 1000 \cdot n - \text{ПК ВУ}_i + D_i. \quad (1.19)$$

В нашем случае такая ситуация сложилась для третьей километровой точки, т. е. для ПК30:

$$d_3 = \text{ПК30} - \text{ПК ВУ3} + D_3 = 3000,0 - 2791,63 + 4,67 = 213,04 \text{ м.}$$

В соответствии с масштабом 1 : 10 000 расстояние на карте равно $d_{п,3} = 21,3$ мм. Для нанесения на план трассы третьей километровой точки, т. е. ПК30, необходимо от ВУ3 в направлении конечной точки трассы G отложить по прямой линии $d_{п} = 21,3$ мм;

в) если километровая точка расположена на закруглении трассы между началом кривой и вершиной угла поворота, то ее расстояние (d_k) от начала кривой вычисляется по формуле

$$d_k = 1000 \cdot n - \text{ПК НК}. \quad (1.20)$$

В нашем случае такая ситуация сложилась с второй километровой точкой, т. е. для ПК20:

$$d_k = \text{ПК20} - \text{ПК НК2} = 2000,0 - 1820,75 = 179,25 \text{ м.}$$

В соответствии с масштабом 1 : 10 000 расстояние на карте равно $d_{п,k} = 17,9$ мм. Для нанесения на план трассы второй километровой точки, т. е. ПК20, необходимо от точки НК2 в направлении ВУ2 по круговой кривой отложить $d_{п,k} = 17,9$ мм.

После нанесения на план трассы километровых точек между ними отмечаются по линии трассы 100-метровые отрезки – пикеты. Пикеты, располагающиеся на круговой кривой, отмечаются на тангенсах измерениями без учета домеров. От тангенсов методом перпендикуляров они переносятся на круговую кривую.

В связи с тем что трасса имеет несколько углов поворота, для окончательного оформления плана трассы необходимо определить длины прямолинейных участков трассы, т. е. прямых вставок (S_k). В нашем случае трасса включает четыре прямых вставки: точка P – НК1, НК1 – НК2, НК2 – НК3, НК3 – точка G .

Длина первого прямолинейного участка ($S_{k,1}$) равна пикетному значению начальной точки трассы P минус пикетное значение начала первой кривой:

$$S_{k,1} = \text{ПК НК1} - \text{ПК0} = (\text{ПК10} + 24,66) - \text{ПК0} = 1024,66 \text{ м.}$$

Длина второго прямолинейного участка ($S_{k,2}$) определяется как разность между пикетным обозначением начала второй кривой и концом предыдущей (первой) кривой:

$$S_{k,2} = \text{ПК НК2} - \text{ПК КК1} = (\text{ПК18} + 20,75) - (\text{ПК13} + 59,06) = 461,69 \text{ м.}$$

Длина третьего прямолинейного участка ($S_{k,3}$) равна пикетному обозначению начала третьей кривой минус пикетное обозначение конца второй кривой:

$$S_{k,3} = \text{ПК НК3} - \text{ПК КК2} = (\text{ПК26} + 86,31) - (\text{ПК21} + 9,60) = 576,72 \text{ м.}$$

Длина четвертого прямолинейного участка ($S_{k,4}$) вычисляется как разность между пикетным наименованием конечной точки трассы G и концом предыдущей (третьей) кривой:

$$S_{k,4} = \text{ПК } G - \text{ПК КК3} = (\text{ПК34} + 66,95) - (\text{ПК } 28 + 92,26) = 574,69 \text{ м.}$$

Результаты расчета длин прямолинейных участков трассы (S_k) записываются в графе 12 табл. 1.3.

После определения пикетного обозначения главных точек круговых кривых (НК, КК) и длин прямых вставок (S_k) в табл. 1.3 осуществляется окончательный контроль вычислений по формуле

$$\sum S_B = \sum S_k + \sum K + \sum D. \quad (1.21)$$

В нашем случае в результате проведения контроля в табл. 1.3 получаем, что все данные – элементы круговых кривых, пикетные обозначения главных точек круговых кривых, длины прямолинейных участков – вычислены правильно:

$$3617,0 = 2637,76 + 829,2 + 150,04.$$

В противном случае, если контроль вычислений при составлении плана трассы по формуле (1.21) не выполняется, необходимо отыскать и исправить ошибки, допущенные при вычислениях.

Таким образом, после составления табл. 1.3 приступают к окончательному оформлению плана трассы. Для прямолинейных участков трассы на копии топографической карты для каждого участка указываются дирекционный румб (r) (табл. 1.2) и длина прямой вставки (S_k) (табл. 1.3). Окончательный вид плана трассы представлен на рис. 1.4.

2. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТРАССЫ

Профиль местности представляет собой уменьшенное изображение на плоскости вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Для придания изображению неровностей местности большей наглядности на профиле при его построении применяют два масштаба: для горизонтальных и вертикальных расстояний.

Продольным профилем трассы называется условное изображение разреза дороги вертикальной плоскостью, проходящей через ее ось.

Продольный профиль характеризует рельеф поверхности земли по оси дороги, крутизну отдельных участков дороги, положение бровки земляного полотна относительно земной поверхности, расположение проезжей части, размещение искусственных сооружений и др.

Продольный профиль составляется по данным пикетажного и нивелирного журналов.

В курсовой работе продольный профиль лесовозной автомобильной дороги составляется по данным оформленного на копии топографической карты плана трассы. Исходными данными для составления продольного профиля являются абсолютные отметки пикетов и плюсовых точек (ПК0 + 60, ПК1 + 80 и т. д.), точки начала (НК) и конца (КК) всех круговых кривых. При этом на продольном профиле указываются пикеты и плюсовые точки (ПК0 + 40, ПК1 + 45 и т. д.). Местоположение плюсовых точек определяется в каждой точке пересечения оси трассы с горизонталями (см. рис. 2.1). В нашем случае это пункты *B*, *C*, *D*, *E*.

Для определения пикетного обозначения плюсовой точки необходимо на плане трассы с помощью линейки измерить расстояние на трассе от предыдущего пикета до плюсовой точки с точностью до 0,1 мм. Затем, используя масштаб плана трассы, определить соответствующее расстояние на местности.

В нашем случае точка *B* расположена между ПК0 (точка *P*) и ПК1. Измеренное расстояние на копии карты от ПК0 до точки *B* равно 6 мм (см. рис. 2.1). В соответствии с масштабом (1 : 10 000) на местности расстояние равно $d = 60$ м. Для определения пикетного обозначения точки *C* измеряется расстояние на карте от ПК1 до точки *C* ($d_{\text{п}} = 8$ мм, $d = 80$ м), для точки *D* – от ПК2 до точки *D* ($d_{\text{п}} = 5$ мм, $d = 50$ м), для точки *E* – от ПК3 до точки *E* ($d_{\text{п}} = 4$ мм, $d = 40$ м).

2.1. Определение отметок точек по карте

Отметки пикетных и плюсовых точек определяются измерениями на копии топографической карты (рис. 2.1).

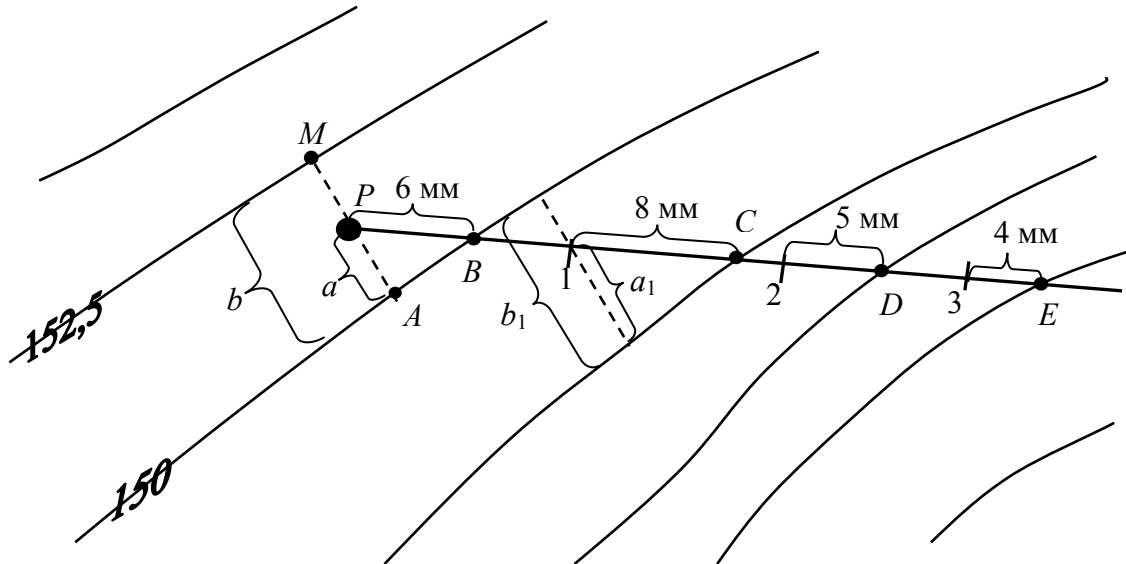


Рис. 2.1. Определение отметок пикетных и плюсовых точек

Для определения отметки, лежащей на горизонтали точки, необходимо найти отметку горизонтали, на которой лежит эта точка. В нашем случае это точка B (ПК0 + 60): $H_B = 150,0$ м.

Если точка лежит между горизонталями, как в нашем случае точка P (ПК0), то чтобы узнать ее отметку, через нее проводят отрезок AM , по возможности перпендикулярный к двум соседним горизонталям, и измеряют отрезки $AP = a$ и $AM = b$ в мм. Отметка точки P определяется по формуле

$$H_P = H_B + h_c \cdot \left(\frac{a}{b} \right), \quad (2.1)$$

где h_c – высота сечения рельефа горизонталями; a и b – расстояния, измеренные на карте по перпендикулярному направлению к горизонталям, мм.

В нашем случае, измерив на карте отрезки $a = 4$ мм и $b = 9$ мм и определив $H_B = 150$ м, вычисляем отметку точки P :

$$H_P = 150 + 2,5 \cdot (4 / 9) = 150 + 1,11 = 151,11 \text{ м.}$$

Отметки пикетов и плюсовых точек указываются в таблице «Абсолютные отметки пикетов и плюсовых точек» (см. таблицу на с. 23).

Абсолютные отметки пикетов и плюсовых точек

Пикеты, плюсовые точки	Абсолютная отметка H , м
ПК0 (точка P)	151,11
ПК0 + 60	150,00
ПК1	149,20
ПК1 + 80	147,50
ПК2	146,88
ПК2 + 50	145,00
ПК3	143,54
...	...
ПК34 + 67	135,00

2.2. Составление продольного профиля земли

Продольный профиль трассы составляется на общем листе миллиметровой бумаги формата А2 или размером 40×60 см карандашом, тонкими линиями с аккуратными шрифтовыми надписями букв и цифр. После проверки чертеж оформляют черной тушью по указанию преподавателя.

Продольный профиль трассы составляют в масштабах: для горизонтальных расстояний – 1 : 5000 (в 1 см 50 м), для вертикальных – 1 : 500 (в 1 см 5 м).

На листе миллиметровой бумаги производят разграфку сетки профиля в соответствии с рис. 2.2, соблюдая указанную ширину каждой графы. Верхняя линия профильной сетки, которая называется линией условного горизонта, должна совпадать с сантиметровой линией миллиметровой бумаги. Отступив от таблички на 5 мм, проводят горизонтальные линии длиной $d_{\text{г}} = L / M$, где L – длина трассы, м; M – знаменатель горизонтального масштаба профиля.

В строке «Расстояния» вертикальными линиями отмечают 100-метровые пикеты в масштабе 1 : 5000, а в строке «Пикеты» указывают номера пикетов.

Пользуясь данными таблицы, в строке «Расстояния» вертикальными линиями отмечают плюсовые точки, начало (НК) и конец (КК) кривой, соблюдая горизонтальный масштаб профиля. Например, точку ПК0 + 60 отмечают относительно точки ПК0 на расстоянии d_{60} , определяемом в масштабе 1 : 5000 упрощенным расчетом вида $d_{60} = 6,0 \cdot 2 = 12$ мм.

Масштабы:
горизонтальный 1 : 5000
вертикальный 1 : 500

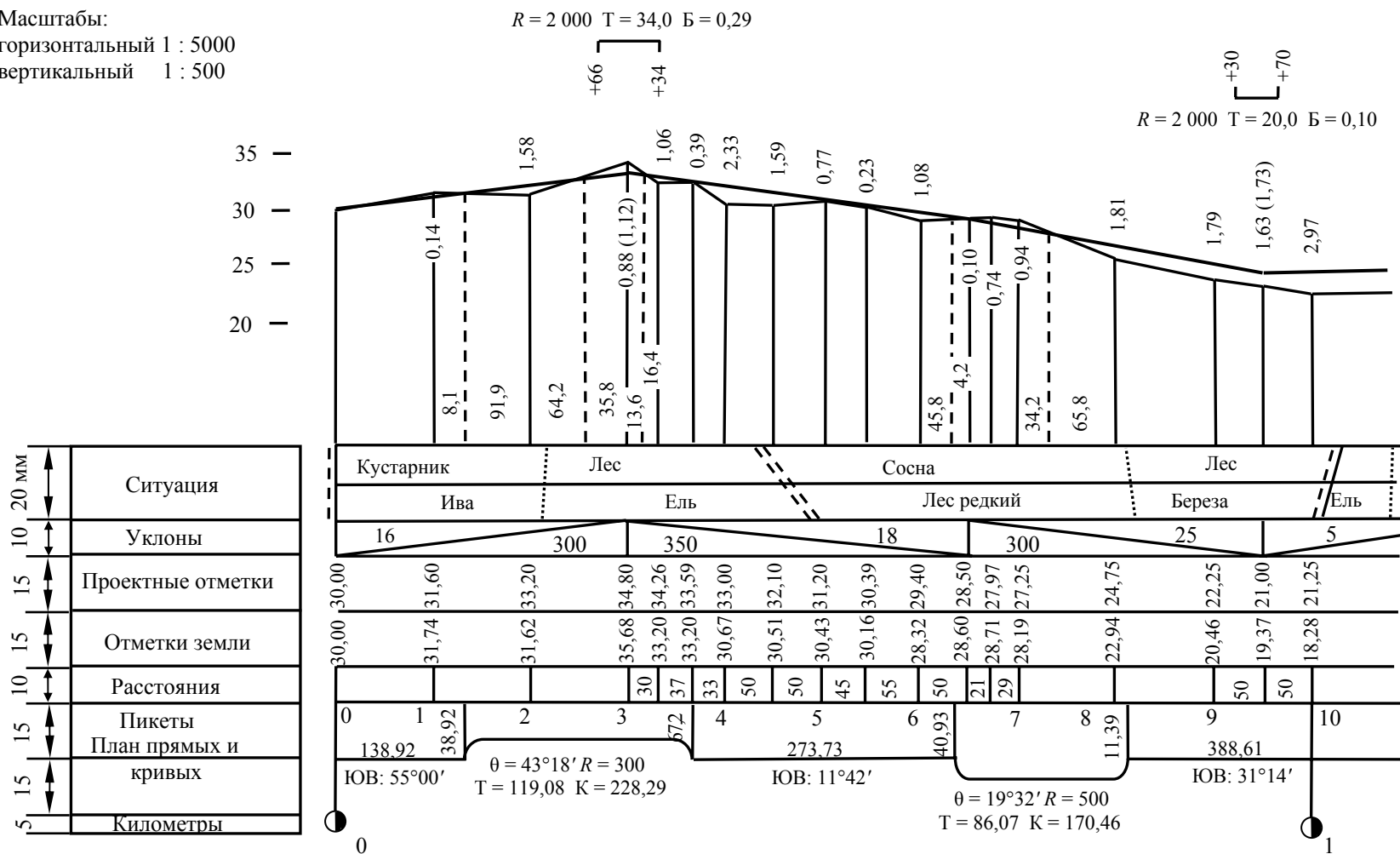


Рис. 2.2. Фрагмент продольного профиля трассы

В той же строке записывают величину расстояния 60 м до точки +60 и величину расстояния 40 м от точки +60 до ПК1.

Аналогичным образом показывают все плюсовые точки.

Если между пикетными точками нет плюсовых, то расстояние 100 м не подписывают.

В строку «Отметки земли» вносят значения высоты пикетных и плюсовых точек по данным графы «Абсолютная отметка H » таблицы.

Масштаб вертикальных расстояний 1 : 500 задается вертикальными метками высот H с шагом 5 м, нанесенными над заголовочной табличкой – шкалой высот. Значения H выбирают так, чтобы низкая часть профиля размещалась выше верхней границы заголовочной таблицы на 4–6 см. В примере (рис. 2.2) масштабные метки подписаны высотами начиная от 15 м, которая соответствует наименьшей отметке $H = 18,28$ м (ПК10), записанной в строке «Отметки земли».

По данным строки «Отметки земли» на профиль наносят точки земли, используя миллиметровую сетку в роли координатной и имея в виду, что по вертикали двум миллиметрам сетки соответствует расстояние 1,0 м. Точки наносят глазомерно с погрешностью 0,1–0,2 мм, пользуясь остро заточенным карандашом, и от точек проводят вертикальные линии ординат до верхней границы строки «Ситуация». Соседние точки земли соединяют прямыми отрезками, образующими профиль трассы по линии земли.

В строке «План прямых и кривых» (см. рис. 2.2) легким нажимом карандаша вдоль линейки намечают слабый след прямой линии. По данным расчетов пикетных значений точек НК и КК каждой круговой кривой (см. п. 1.4, табл. 1.3) на прямой отмечают точки НК и КК перпендикулярами, проведенными от линии пикетов. Рядом с перпендикулярами записывают их плюсовые расстояния от ближайшего младшего пикета. Между точками НК и КК круговые кривые показывают дугами. Для поворота трассы влево условную дугу отмечают выпуклостью вниз, а для поворота трассы вправо – выпуклостью вверх. При условных дугах записывают значения θ , R , T и K .

Для прямолинейных участков трассы подписывается их длина в метрах (табл. 1.3) и румб (табл. 1.2).

В строке «Километры» через 10 пикетов вычерчивают километровые знаки (кружок диаметром 5 мм). Правую половину каждого кружка закрашивают и подписывают номер километрового знака – «1», «2» и т. д.

Заполняется строка «Ситуация», в которой наносятся условными знаками пересекаемые трассой контуры ситуации и прилегающие объекты в притрассовой полосе шириной до 50–100 м [8].

2.3. Составление профиля поперечника

Поперечные профили в общем случае составляются для характеристики значительных изломов рельефа местности в поперечных к оси трассы направлениях.

Длина поперечников и расстояния между точками на поперечниках зависят от рельефа.

Профили поперечников помещаются в 2–3 см над соответствующим участком продольного профиля по пикетажу. Они составляются в масштабе 1 : 1000 как для горизонтальных, так и для вертикальных расстояний (рис. 2.3).

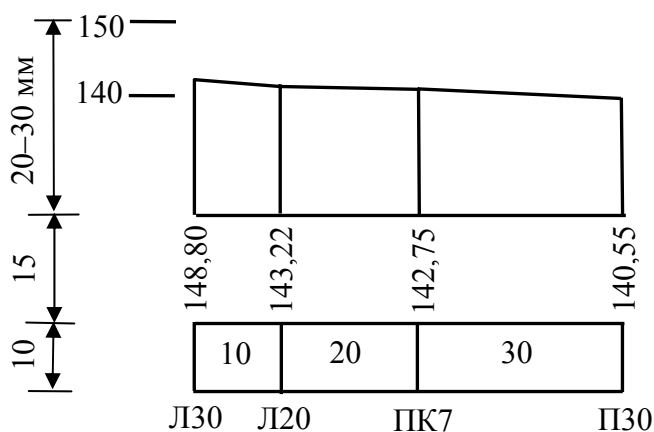


Рис. 2.3. Профиль поперечника

В курсовой работе в учебных целях необходимо наметить 2 поперечных профиля длиной по 25–50 м в обе стороны от оси трассы.

Отметки намеченных точек поперечников находятся относительно высот соседних горизонталей (см. п. 2.1).

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОФИЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ

3.1. Проектирование профиля дороги

Проектная линия трассы автомобильной лесовозной дороги наносится методом последовательных проб с учетом некоторых технических требований, предусмотренных строительными нормами и правилами (СНиП). Данные требования применительно к курсовой работе сводятся к выполнению следующих геометрических условий:

а) уклоны отдельных участков трассы не должны превышать 40‰;

б) при относительно ровном рельефе проектная линия наносится выше земной поверхности в среднем на 0,3–1 м при совпадении с ней в отдельных местах, а проектирование продольного профиля ведется короткими прямыми отрезками, обертывающими ломаную линию земной поверхности;

в) проектная линия должна совмещаться по высоте с точками земной поверхности в пунктах начала и конца трассы, с существующими дорогами в пунктах пересечения с ними, с проектными отметками в местах строительства мостовых переходов через водные препятствия. В практике производства геодезических работ проектные отметки данных точек заранее записывают на профиль в строке проектных отметок по данным нивелирования. В курсовой работе эти отметки вычисляют по формуле

$$H_{\text{п}} = H_0 + z_{\text{раб}}, \quad (3.1)$$

где $z_{\text{раб}} = 1,00$ м; H_0 – опорные отметки для проектирования, которые определяются следующим образом:

– в точке пересечения с шоссейной дорогой H_0 равняется отметке земли, найденной по карте;

– в местах пересечения с ручьями, рекой и оврагами H_0 равняется отметке горизонтали, расположенной выше линии обрыва, а при отсутствии обрыва – отметке второй от реки горизонтали, условно принимаемой за отметку горизонта высоких вод во время паводка;

г) при резкопересеченном рельефе и при переходе через глубокие и широкие лощины применяется секущее проектирование, при котором проектная линия трассы проводится в выемках и на насыпях с соблюдением примерного равенства их площадей на участке секущего проектирования.

Построенный профиль земной поверхности разбивается на участки, уклон которых приблизительно одинаков, и на данных

участках трасса проектируется прямой линией. В местах сопряжений прямолинейных участков проектируются точки излома трассы. При этом их высотное положение определяется таким образом, чтобы уклоны (углы наклона) прямолинейных участков были как можно меньше.

Точки излома трассы проектируются также в пунктах с вычисленными отметками по формуле (3.1).

Предварительный вариант трассы наносится на профиль тонкими прерывистыми линиями, после чего проверяется выполнение условий б, в, г.

После нанесения предварительного варианта проектной линии на профиль выполняют ряд геодезических расчетов проектируемого сооружения.

3.1.1. Вычисление проектного уклона трассы. В строке «Проектные уклоны» точки излома трассы отмечаются прямыми вертикальными отрезками, между которыми проводят наклонные линии, указывающие направление наклона проектного отрезка. Внизу строки записывают горизонтальные проложения всех прямолинейных участков трассы. При этом сумма всех длин записанных в строке проектных уклонов должна равняться длине трассы (пикетному обозначению конечной точки, записанному в графе 2 табл. 1.3), т. е.

$$\sum d = \sum d_k + \sum K. \quad (3.2)$$

По вертикальной шкале высот определяют отметки точек излома трассы и выписывают их в строку «Проектные отметки» профиля.

Вычисляют уклон каждого отрезка проектной линии по формуле

$$i = (H_k - H_n) / d, \quad (3.3)$$

где H_k и H_n – отметки конечной и начальной точек рассматриваемого отрезка проектной линии; d – расстояние между точками.

Вычисленные уклоны проектной линии трассы должны быть не более 40% и в случае выполнения данного условия они записываются в строку «Проектные уклоны» с округлением до 4–5 знаков после запятой, а проектная линия утолщается. В противном случае положение проектной линии необходимо изменить.

3.1.2. Определение проектных отметок. Проектные отметки промежуточных точек вычисляют по формуле

$$H_{j+1} = H_j + i \cdot d, \quad (3.4)$$

где H_{j+1} – проектная отметка последующей точки; H_j – проектная отметка предыдущей точки; i – проектный уклон отрезка трассы; d – расстояние между точками.

Таким образом, проектная отметка каждой последующей точки будет равна проектной отметке предыдущей точки плюс уклон, умноженный на расстояние до этой точки.

Например, на участке ПК3 – ПК6 + 50 (рис. 2.2) отметка начальной точки $H_n = 34,80$ м; $i = -0,018$, тогда

$$\begin{aligned} H_{\text{ПК}3+30} &= H_n + i \cdot d_1 = 34,80 - 30 \cdot 0,018 = 34,26 \text{ м;} \\ H_{\text{ПК}3+67} &= H_{\text{ПК}3+30} + i \cdot d_2 = 34,26 - 37 \cdot 0,018 = 33,59 \text{ м;} \\ H_{\text{ПК}4} &= H_{\text{ПК}3+67} + i \cdot d_3 = 33,59 - 33 \cdot 0,018 = 33,00 \text{ м;} \\ H_{\text{ПК}4+50} &= H_{\text{ПК}4} + i \cdot d_4 = 33,00 - 50 \cdot 0,018 = 32,10 \text{ м;} \\ &\dots \\ &\text{контроль} \\ H_k &= H_{\text{ПК}6} + i \cdot d_k = 29,40 - 50 \cdot 0,018 = 28,50 \text{ м.} \end{aligned}$$

3.1.3. Вычисление рабочих отметок. Рабочие отметки вычисляются по формуле

$$h_{\text{раб}} = H_{\text{пр}} - H_{\text{зем}}, \quad (3.5)$$

где $h_{\text{раб}}$ – рабочая отметка, $H_{\text{пр}}$ – проектная отметка, $H_{\text{зем}}$ – отметка земли.

Рабочая отметка показывает высоту насыпи или глубину выемки в каждом пункте трассы.

Положительные значения рабочих отметок, соответствующие высотам насыпи, записывают над профилем, а отрицательные значения рабочих отметок, т. е. глубины выемок, подписывают под линиями профиля.

В нашем случае (см. рис. 2.2) в точке ПК1 (проектная отметка $H_{\text{пр}} = 31,60$ м, отметка земли $H_{\text{зем}} = 31,74$ м) рабочая отметка равна

$$h_{\text{раб}} = 31,60 - 31,74 = -0,14 \text{ м.}$$

В точке ПК2 (проектная отметка $H_{\text{пр}} = 33,20$ м, отметка земли $H_{\text{зем}} = 31,62$ м) рабочая отметка равна

$$h_{\text{раб}} = 33,20 - 31,62 = +1,58 \text{ м.}$$

3.1.4. Определение положения точек нулевых работ. В данных точках проектная линия трассы пересекает поверхность земли, и рабочая отметка в данной точке равна нулю. Для определения положения точки нулевых работ на местности вычисляют ее удаленность от ближайших пикетов (плюсовых точек): от заднего пикета до точки нулевых работ и от точки нулевых работ до переднего пикета.

Согласно рис. 3.1, получаем:

$$d_1 = \frac{|h_1|}{|h_1| + |h_2|} d; \quad (3.6)$$

$$d_2 = \frac{|h_2|}{|h_1| + |h_2|} d, \quad (3.7)$$

где d_1 и d_2 – расстояния соответственно до задней и передней пикетных точек; h_1 и h_2 – рабочие отметки на задней и передней пикетных точках.

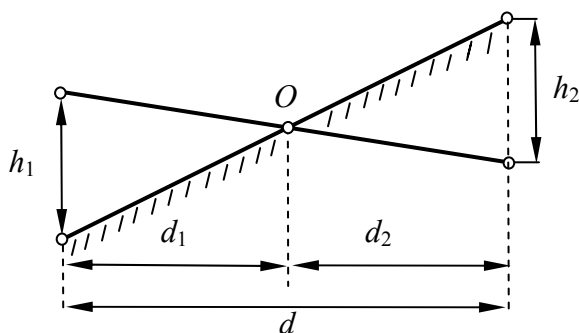


Рис. 3.1. Положение точки нулевых работ

Например, на рис. 2.2 между ПК1 и ПК2 находится точка нулевых работ: $h_1 = -0,14$ м, $h_2 = 1,58$ м, $d = 100$ м.

$$d_1 = 100 \cdot 0,14 / (0,14 + 1,58) = 8,1 \text{ м};$$

$$d_2 = 100 \cdot 1,58 / (0,14 + 1,58) = 91,9 \text{ м};$$

контроль

$$d = d_1 + d_2 = 8,1 + 91,9 = 100 \text{ м}.$$

3.2. Расчет вертикальных кривых

Переломы проектного профиля сглаживаются при помощи вертикальных кривых. Вертикальные кривые обеспечивают плавность движения автотранспорта и хорошую видимость встречных автомобилей. На лесовозных автомобильных дорогах вертикальные кривые проектируются при разности уклонов сопрягаемых участков более 15%.

Вертикальный угол λ между прямыми проектными линиями (рис. 3.2) вычисляется по формуле

$$\lambda = \arctg(i_1 - i_2) = \arctg \Delta i, \quad (3.8)$$

где i_1 и i_2 – уклоны предыдущей и последующей сопрягаемых проектных прямых (с учетом их знаков).

Выделяют выпуклые и вогнутые вертикальные кривые. Выпуклые кривые проектируются в случае, когда i_1 принимает положительное значение, i_2 – отрицательное, а вогнутые, когда i_1 – отрицательное, а i_2 – положительное.

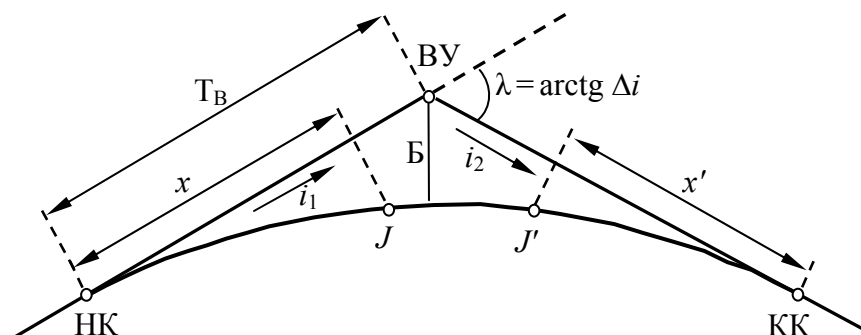


Рис. 3.2. Выпуклая вертикальная кривая

Основные элементы вертикальных кривых идентичны горизонтальным и включают длину кривой (K_B), тангенс (T_B) и биссектрису (B_B).

Радиус вертикальной кривой регламентируется расчетной скоростью движения автотранспорта по дороге и в курсовой работе выбирается для выпуклых кривых равным 5000–10 000, а вогнутых – 1000–2000 м.

Основные элементы вертикальных дорожных кривых вычисляются по нижеследующим приближенным формулам:

$$K_B = R_B \cdot \Delta i, \quad (3.9)$$

$$T_B = K_B / 2 = R_B \cdot \Delta i / 2, \quad (3.10)$$

$$B_B = T_B^2 / 2 R_B = K_B^2 / 8 R_B. \quad (3.11)$$

Нанесение вертикальных кривых на профиль осуществляется по координатам. При этом за ось абсцисс принимаются тангенсы, перпендикулярно которым откладываются ординаты (рис. 3.2). Абсциссы точек вертикальной кривой совмещаются с пикетными и плюсовыми точками, на которые данная вертикальная кривая попадает.

Ординату точки J вертикальной кривой рассчитывают по формуле

$$y = x^2 / 2R_B, \quad (3.12)$$

где x – абсцисса точки J , равная ее расстоянию от начала или конца вертикальной кривой.

Поскольку значения ординат точек вертикальных кривых малы, то их учитывают как поправки к рабочим отметкам профиля.

Согласно рис. 3.3, поправки u вычитают из рабочих отметок при выпуклых кривых и прибавляют к рабочим отметкам на вогнутых кривых. Исправленные таким образом рабочие отметки указываются на профиле, а первоначальные (неисправленные) отметки заключаются в скобки.

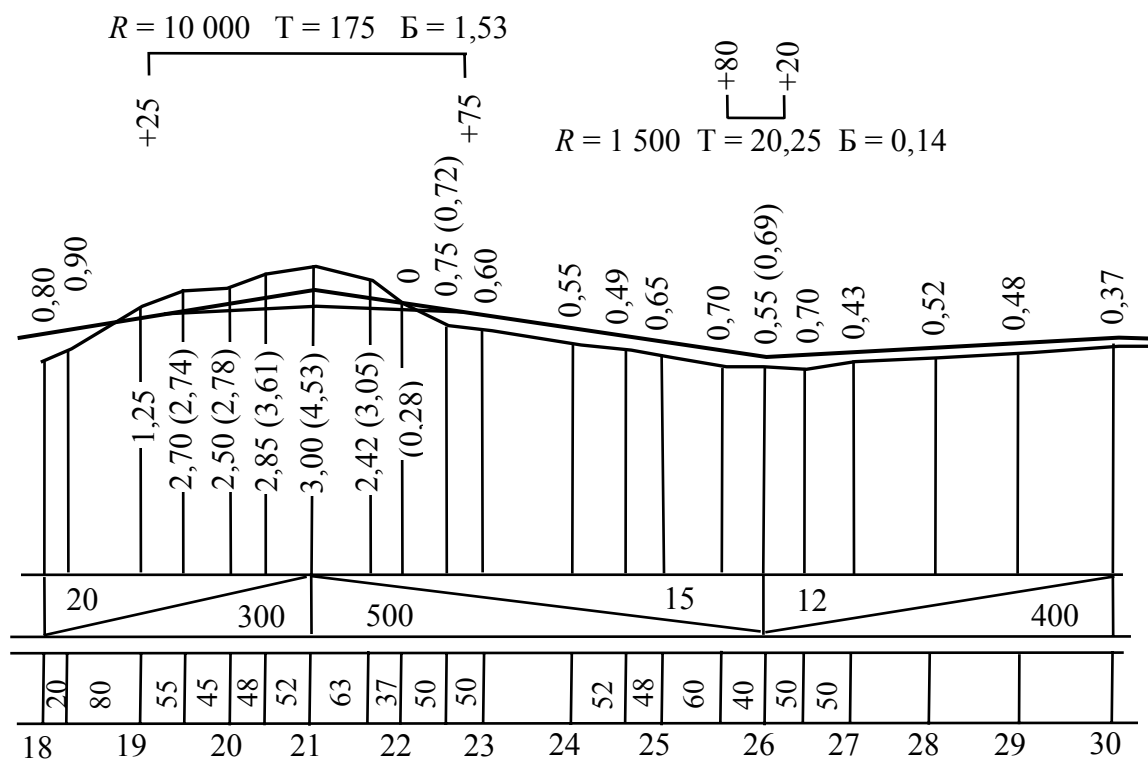


Рис. 3.3. Вертикальные кривые на продольном профиле

Необходимо отметить, что радиус вертикальных кривых в курсовой работе выбирается таким образом, чтобы две смежные вертикальные кривые не пересекались.

В нашем случае для выпуклой вертикальной кривой с вершиной угла на ПК21 (рис. 3.3) принимаем $R_B = 10\,000$ м. Согласно строке проектных уклонов, $i_1 = 0,020$, а $i_2 = -0,015$. Тогда

$$\Delta i = i_1 - i_2 = 0,020 - (-0,015) = 0,035,$$

$$K_B = R_B \cdot \Delta i = 10\,000 \cdot 0,035 = 350 \text{ м},$$

$$T_B = K_B / 2 = 350 / 2 = 175 \text{ м},$$

$$B_B = T_B^2 / 2 R_B = 175^2 / 2 \cdot 10\,000 = 1,53 \text{ м}.$$

После вычисления основных элементов вертикальной кривой определяют пикетные положения точек начала и конца вертикальной кривой. Относительно рассматриваемого примера получим:

ПК ВУ	21 + 0,00		Контроль	
– T _в	175,00		ПК ВУ	21 + 0,00
ПК НК	19 + 25,00		+ T _в	175,00
+ K _в	350,00		ПК КК	22 + 75,00
ПК КК	22 + 75,00			

Для нанесения вертикальной кривой на профиль определяют абсциссы и вычисляют ординаты точек кривой. Абсциссы расположены на первом и втором тангенсах и совпадают с пикетными и плюсовыми точками, попадающими в промежутки от вершины угла до начала кривой и от вершины угла до конца кривой.

В представленном примере абсциссы располагаются на точках ПК19 + 55, ПК20, ПК20 + 48, ПК21 + 63, ПК22, ПК22 + 50. Поскольку абсциссы откладываются от начала и конца кривой, то их необходимо вычислить по формулам:

$$x = ПК_i - ПК \text{ НК}; \quad (3.13)$$

$$x' = ПК \text{ КК} - ПК_i, \quad (3.14)$$

где x, x' – абсциссы точек, располагающихся на первом и втором тангенсах соответственно; $ПК_i$ – точка, располагающаяся на i -м пикете (плюсовой точке); ПК НК и ПК КК – пикетные положения точек начала и конца кривой.

По вычисленным значениям абсцисс согласно формуле (3.12) рассчитывают значения ординат, на основании которых поправляют рабочие отметки профиля.

Расчеты вертикальных кривых сводят в таблицу «Ведомость абсцисс и ординат вертикальных кривых».

Ведомость абсцисс и ординат вертикальных кривых

Пикетное обозначение точки	Абсцисса, м $x = ПК_i - ПК \text{ НК}$ $x' = ПК \text{ КК} - ПК_i$	Ординаты вертикальной кривой, м	Рабочие отметки, м	
			для прямых проектных линий	с учетом вертикальной кривой
Выпуклая вертикальная кривая ВУ ПК21, $R_v = 10\,000$ м				
Первый тангенс				
ПК19 + 55	$x_1 = 1955 - 1925 = 30$	–0,04	–2,70	–2,74
ПК20	$x_2 = 2000 - 1925 = 75$	–0,28	–2,50	–2,78
ПК20 + 48	$x_3 = 2048 - 1925 = 123$	–0,76	–2,85	–6,31
ВУ ПК21	$x_4 = T_v = 175$	–1,53	–3,00	–4,53

Второй тангенс				
ПК21 + 63	$x'_1 = 2275 - 2163 = 112$	-0,63	-2,42	-3,05
ПК22	$x'_2 = 2275 - 2200 = 75$	-0,28	0	-0,28
ПК22 + 50	$x'_3 = 2275 - 2250 = 25$	-0,03	+0,75	+0,72
Вогнутая вертикальная кривая ВУ ПК26, $R_v = 1\ 500$ м				
ВУ ПК21	$x = T_v = 20,25$	+0,14	+0,55	+0,69

Аналогичным образом выполняют расчет вогнутых вертикальных кривых.

Вертикальные кривые обозначаются над линией профиля горизонтальными квадратными скобками, направленными соответственно выпуклости или вогнутости кривой (рис. 3.3). Над ними или ниже них записывают значения радиуса, тангенса и биссектрисы, а рядом со штрихами указывается пикетажное обозначение начала и конца вертикальной кривой расстоянием до ближайшей задней пикетной точки (например, +25, +75 – для выпуклой кривой).

4. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ КАМЕРАЛЬНОГО ТРАССИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ

4.1. Оценка точности геодезических работ при трассировании лесовозных дорог

Камеральное трассирование линейного сооружения выполняется по планам (картам) и аэрофотоснимкам на предварительной стадии изысканий для оценки качества различных вариантов трассы и выбора наилучших из них по технико-экономическим условиям задания на строительство соответствующего линейного сооружения.

Из-за того что данные камерального трассирования характеризуются определенной приближенностью, после выбора варианта трассы производится ее рекогносцировка на местности.

При этом окончательно выбирается положение вершин, производится их закрепление, проводятся окончательные геодезические изыскания, в процессе которых выполняется вешение трассы на местности, измерение углов поворота теодолитами, разбивка пикетажа с измерением расстояний мерной лентой, съемка притрассовой полосы местности, нивелирование пикетных и плюсовых точек. После геодезических изысканий или параллельно с ними производятся геологические, гидрологические и другие изыскания.

Результаты специальных изысканий наносятся на план трассы. При этом точность геодезических измерений на местности характеризуется данными графы 3 табл. 4.1, точность трассирования дороги по карте – данными графы 2 табл. 4.1.

4.1.1. Точность вычисления дирекционных углов. В соответствии с формулами (1.3) и (1.4) дирекционный угол прямого участка трассы вычисляется по формуле

$$\alpha_i = \alpha_n \pm \theta_1 \pm \theta_2 \pm \theta_3 \pm \dots \pm \theta_i, \quad (4.1)$$

где α_n – дирекционный угол первого прямолинейного участка трассы; θ_i – углы поворота трассы ($i = 1, 2, \dots, n$).

Применив к формуле вычисления дирекционного угла прямого участка правила теории погрешностей, получим формулу для определения средней квадратической погрешности вычисления дирекционного угла i -го прямого участка, которая будет иметь вид

$$m_{\alpha,i} = \sqrt{m_n^2 + m_{\theta,1}^2 + \dots + m_{\theta,n}^2}, \quad (4.2)$$

где m_n – средняя квадратическая погрешность измерения дирекционного угла начального(первого) прямого участка; $m_{\theta,1} = m_{\theta,2} = \dots = m_{\theta,n}$ – средняя квадратическая погрешность измерения углов поворота трассы.

Таблица 4.1

Характеристики точности геометрических данных для составления продольного профиля трассы и проектировочных расчетов

Измеряемая или вычисляемая величина	1. Приборы для измерения величины 2. Способ измерения или вычисления величины 3. Средняя квадратическая погрешность определяемой величины	
	Трассирование по карте	Изыскания трассы на местности
Правый по ходу угол (β); угол поворота трассы (θ); дирекционный угол (α)	1. Геодезический транспортир 2. По карте 3. $m_\beta = m_\theta = m_\alpha = \pm 15'$	1. Теодолит ТЗ0 2. Один прием измерения угла 3. $m_\beta = m_\alpha = \pm 1'$
Расстояние d , м, между точками поворота, пикетными, плюсовыми точками	1. Циркуль-измеритель, масштабная линейка 2. По карте масштаба 1 : М 3. $m_d = 0,00025M$ (м)	1. Лента землемерная 2. По поверхности земли 3. $m_d = (1 / 2000) \cdot d$
Отметка (H), выраженная в метрах пикетных и плюсовых точек	1. Линейка, циркуль-измеритель 2. Относительно горизонталей карты с сечением рельефа h_c 3. При углах наклона земной поверхности $\nu = 0-2^\circ$ $m_H = 0,25 \cdot h_c$ при $\nu = 2-6^\circ$ $m_H = 0,3 \cdot h_c$	1. Нивелир НТ, рейки нивелирные РНТ 2. Техническое нивелирование относительно исходных реперов 3. В середине нивелирного хода общей длиной L , км, между двумя реперами $m_H = 0,025 \cdot \sqrt{L}$
Разность отметок $\Delta H = H_2 - H_1$, расстояние между которыми равно d , м	3. $m_{\Delta H} = m_H \cdot \sqrt{2}$	3. $m_{\Delta H} = 0,02 \cdot \sqrt{d / 1000}$, где d – расстояние между точками на местности, м

Значение $m_{\alpha, i}$ является также средней квадратической погрешностью соответствующего румба, т. е.

$$m_{\alpha, i} = m_{r, i} = \sqrt{m_n^2 + m_\theta^2 \cdot i} . \quad (4.3)$$

При вычислениях значения $m_{r, i}$ необходимо учитывать, что действительные (истинные) погрешности оцениваемого результата могут

достигать удвоенной ($2m$) или даже утроенной ($3m$) величины средней квадратической погрешности.

В нашем случае дирекционный угол второго прямого участка (ВУ1–ВУ2) определялся по формуле (1.4), т. е.

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \theta_{\text{п}}.$$

Поэтому средняя квадратическая погрешность измерения дирекционного угла на данном участке, используя уравнение (4.3), будет находится по формуле

$$m_{\alpha,2} = \sqrt{m_{\text{н}}^2 + m_{\theta}^2}.$$

Согласно данным табл. 4.1, при трассировании дороги по карте средние квадратические погрешности измерения дирекционного угла и угла поворота трассы будут соответственно равны $m_{\text{н}} = 15'$, $m_{\theta} = 15'$. Тогда средняя квадратическая погрешность измерения дирекционного угла на втором участке будет равна

$$m_{\alpha,2} = \sqrt{15^2 + 15^2} = \pm 21'.$$

Удвоенная средняя квадратическая погрешность дирекционного угла и румба участка трассы ВУ1–ВУ2 составляет $2m_{\alpha,2} = \pm 42'$. Контрольное измерение румба (см. 1.2 графы 6, 7) показывает, что расхождение румбов составляет $\Delta r = +30'$, т. е. результаты измерений и вычислений не содержат грубых ошибок.

При проведении изысканий трассы на местности измерения проводятся с помощью теодолита Т30, средние квадратические погрешности измерения дирекционного угла и угла поворота трассы при этом соответственно равны $m_{\text{н}} = 1'$, $m_{\theta} = 1'$ (см. табл. 4.1 графа 3), тогда средняя квадратическая погрешность измерения дирекционного угла на втором участке будет равна

$$m_{\alpha,2} = \sqrt{1^2 + 1^2} = \pm 1,4'.$$

4.1.2. Точность измерения расстояний. Длина отрезка прямой линии на плане ($d_{\text{п}}$) измеряется в среднем с погрешностью 0,5 мм, при переходе от плана масштаба 1 : М к расстояниям на местности (d) они будут содержать погрешности m_d , которые вычисляются по формуле

$$m_d = 0,0005 \cdot M. \quad (4.4)$$

Трасса, состоящая из нескольких прямых отрезков, общая длина которой равна

$$L = d_1 + d_2 + \dots + d_n,$$

будет характеризоваться средней квадратической погрешностью, вычисляемой по формуле

$$m_L = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2} = 0,0005 \cdot M \cdot \sqrt{n}, \quad (4.5)$$

где $m_1 \approx m_2 \approx \dots \approx m_n \approx 0,0005 \cdot M$.

В нашем случае план трассы составлен на копии карты 1 : М = 1 : 10 000, нивелирный ход состоит из четырех прямых отрезков – P–ВУ1, ВУ1–ВУ2, ВУ2–ВУ3, ВУ3–G (см. табл. 1.3). Средняя квадратическая погрешность трассы при трассировании по карте будет

$$m_L = 0,0005 \cdot 10\,000 \cdot \sqrt{4} = 10 \text{ м.}$$

При измерении длины линии на местности с использованием землемерной ленты, согласно табл. 4.1, погрешность измеренной линии будет равна

$$m_d = \frac{1}{2000} \cdot d. \quad (4.6)$$

Трасса, состоящая из нескольких прямых отрезков, будет характеризоваться средней квадратической погрешностью, вычисляемой по формуле

$$m_L = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2} = \frac{1}{2000} \cdot \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}. \quad (4.7)$$

В нашем случае трасса состоит из четырех прямых отрезков – P–ВУ1, ВУ1–ВУ2, ВУ2–ВУ3, ВУ3–G, длина которых соответственно равна 1246 м, 846 м, 845 м, 680 м (см. табл. 1.3 графа 13). Средняя квадратическая погрешность трассы при изысканиях на местности будет равна

$$m_L = (1 / 2000) \cdot \sqrt{1246^2 + 846^2 + 845^2 + 680^2} = 0,92 \text{ м.}$$

4.1.3. Точность расчета главных элементов круговых кривых. В формулах (1.6)–(1.9), применяемых для расчета основных элементов круговой кривой, используется угол поворота трассы (θ), который вычисляется (измеряется) со средней квадратической погрешностью m_θ . В связи с этим значения главных элементов круговой кривой будут найдены по таблицам или вычислены с погрешностями, средние квадратические значения которых вычисляются по формулам:

$$m_T = \frac{R \cdot m_\theta}{2 \cdot \rho \cdot \cos^2(\theta/2)}; \quad (4.8)$$

$$m_K = \frac{\pi \cdot R \cdot (m_\theta/60)}{180}; \quad (4.9)$$

$$m_\sigma = \frac{R \cdot \left(\frac{m_\theta}{\rho}\right) \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} = m_T \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right); \quad (4.10)$$

$$m_D = \sqrt{4 \cdot m_T^2 + m_K^2}, \quad (4.11)$$

где m_T , m_K , m_σ , m_D – соответственно средние квадратические погрешности тангенса, кривой, биссектрисы и домера; R – радиус круговой кривой; θ – угол поворота трассы; m_θ – средняя квадратическая погрешность угла поворота трассы; $\rho = 3438$ – число минут в радиане; $\pi = 3,141\,592\,654$.

В нашем случае оценку точности расчета главных элементов круговых кривых необходимо выполнить при трассировании трассы по карте и на местности на примере одной круговой кривой. Из табл. 1.3 выбираем круговую кривую в точке ВУ1: $\theta = 95^\circ 48'$, $R = 200$ м.

При трассировании дороги по карте, согласно табл. 4.1, $m_\theta = 15'$, тогда средние квадратические погрешности определения главных элементов круговой кривой будут равны:

$$m_T = (200 \cdot 15') / (2 \cdot 3438 \cdot (\cos^2(95^\circ 48' / 2))) = 0,97 \text{ м};$$

$$m_K = (3,141\,592\,654 \cdot 200 \cdot (15' / 60)) / 180 = 0,87 \text{ м};$$

$$m_\sigma = 0,97 \cdot \sin(95^\circ 48' / 2) = 0,72 \text{ м};$$

$$m_D = \sqrt{(4 \cdot (0,97^2)) + 0,87^2} = 2,13 \text{ м}.$$

Предельные значения погрешностей основных элементов круговых кривых вычисляются по формуле

$$\Delta_{\text{пред}} = 2 \cdot m. \quad (4.12)$$

При трассировании трассы по карте предельные значения погрешностей основных элементов круговых кривых будут равны $\Delta_T = 1,94$ м, $\Delta_K = 1,74$ м, $\Delta_\sigma = 1,44$ м, $\Delta_D = 4,26$ м.

При выполнении изысканий трассы на местности, согласно табл. 4.1, $m_\theta = 1'$, средние квадратические погрешности определения главных элементов круговой кривой будут равны:

$$m_T = (200 \cdot 1') / (2 \cdot 3438 \cdot (\cos^2(95^\circ 48' / 2))) = 0,06 \text{ м};$$

$$m_K = (3,141592654 \cdot 200 \cdot (1' / 60)) / 180 = 0,06 \text{ м};$$

$$m_\delta = 0,06 \cdot \sin(95^\circ 48' / 2) = 0,04 \text{ м};$$

$$m_d = \sqrt{(4 \cdot (0,06^2)) + 0,06^2} = 0,13 \text{ м}.$$

Их предельные значения, которые вычисляются по формуле (4.12), будут равны $\Delta_T = 0,12 \text{ м}$, $\Delta_K = 0,12 \text{ м}$, $\Delta_\delta = 0,08 \text{ м}$, $\Delta_d = 0,26 \text{ м}$.

4.1.4. Точность вычисления уклона. При вычислениях проектного уклона по формуле (3.3) отметки конечной (H_K) и начальной (H_H) точек принимаются со средними квадратическими погрешностями $m_K \approx m_H \approx m_N$. Значение m_H , в зависимости от способа измерения или вычисления указано в табл. 4.1.

Средняя квадратическая погрешность уклона ($m_{ук}$) в зависимости от длины проектного участка определяется по формулам:

при $d < 100 \text{ м}$

$$m_{ук} = i \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m_H^2}{h^2} + \frac{m_d^2}{d^2}}, \quad (4.13)$$

при $d \geq 100 \text{ м}$

$$m_{ук} = \frac{m_H \cdot \sqrt{2}}{d}, \quad (4.14)$$

где $m_{ук}$ – средняя квадратическая погрешность уклона; m_H – средняя квадратическая погрешность отметки земли плюсовой или пикетной точки; m_d – средняя квадратическая погрешность измеренного расстояния; i – проектный уклон участка; d – длина участка.

В курсовой работе оценку точности вычисления уклона необходимо выполнить при трассировании трассы по карте и на местности на примере одного участка трассы.

В нашем случае, продольный профиль (рис. 2.2) составлен по топографической карте масштаба 1 : 10 000 с высотой сечения рельефа $h_c = 2,5 \text{ м}$. Для оценки точности вычисления уклона на трассе выбираем участок от ПК0 до ПК3 – протяженность $d = 300 \text{ м}$, проектный уклон $i = 16\%$, угол наклона $\nu = \arctg(i) = 0,92^\circ = 0^\circ 55'$. Согласно табл. 4.1, так как $\nu = 0^\circ 55'$, средняя квадратическая погрешность отметки земли на данном участке будет равна

$$m_H = 0,25 \cdot h_c = 0,25 \cdot 2,5 = 0,63 \text{ м.}$$

При выполнении трассирования по карте на участке от ПК0 до ПК3 средняя квадратическая погрешность уклона будет вычисляться по формуле (4.14):

$$m_{\text{ук}} = (0,63 \cdot \sqrt{2}) / 300 = 0,0029 = 2,9\text{‰}.$$

При проведении изысканий на местности в нивелирном ходе общей длины $L = 3466,95 \text{ м} = 3,47 \text{ км}$ (табл. 1.3), согласно табл. 4.1, средняя квадратическая погрешность отметки земли будет равна

$$m_H = 0,025 \cdot \sqrt{L} = 0,025 \cdot 1,87 = 0,05 \text{ м.}$$

Средняя квадратическая погрешность определения проектного уклона по данным технического нивелирования на участке трассы от от ПК0 до ПК3 будет равна

$$m_{\text{ук}} = (0,05 \cdot \sqrt{2}) / 300 = 0,00023 = 0,23\text{‰}.$$

4.1.5. Точность вычисления рабочих отметок. Рабочие отметки вычисляются по данным проектных отметок и отметок земли. В соответствии с правилами теории погрешностей средняя квадратическая ошибка рабочей отметки (m_z) вычисляется по формуле

$$m_z = \sqrt{m_{H, \text{ПР}}^2 + m_H^2}, \quad (4.15)$$

где m_H – средняя квадратическая погрешность определения отметки земли; $m_{H, \text{ПР}}$ – средняя квадратическая погрешность определения проектной отметки.

Средняя квадратическая ошибка определения проектной отметки находится по формуле

$$m_{H, \text{ПР}} = s_j \cdot m_{\text{ук}}, \quad (4.16)$$

где $m_{\text{ук}}$ – средняя квадратическая погрешность определения проектного уклона, s_j – расстояние рассматриваемой пикетной точки от начальной точки прямолинейного участка трассы с проектным уклоном i .

На участке проектной линии от ПК0 до ПК3 выберем точку ПК1, для нее $s_j = 100 \text{ м}$. Выполняя оценку точности вычисления проектного уклона при трассировании по карте (см. п. 4.1.3) на данном участке, получили среднюю квадратическую ошибку $m_{\text{ук}} = 2,9\text{‰} = 0,0029$. Используя формулу (4.16), находим на данном участке среднюю квадратическую ошибку определения проектной отметки:

$$m_{H, \text{ПР}} = 100 \cdot 0,0029 = 0,29 \text{ м.}$$

Средняя квадратическая ошибка рабочей отметки (m_z) на участке трассы от ПК0 до ПК3 по данным трассирования по карте определяется по формуле (4.15):

$$m_z = \sqrt{(0,63)^2 + (0,29)^2} = 0,69 \text{ м.}$$

Предельное значение средней квадратической ошибки рабочей отметки определяется по формуле (4.12):

$$\Delta_z = 2 \cdot 0,69 = 1,38 \text{ м.}$$

При проведении изысканий на местности средняя квадратическая ошибка определения проектной отметки ($m_{H, \text{пр}}$), средняя квадратическая ошибка рабочей отметки (m_z) определяются по формулам (4.16) и (4.15) с учетом ранее выполненных расчетов в п. 4.1.3:

$$m_{H, \text{пр}} = 100 \cdot 0,00023 = 0,023 \text{ м,}$$

$$m_z = \sqrt{(0,023)^2 + (0,05)^2} = 0,06 \text{ м.}$$

4.2. Анализ точности элементов продольного профиля трассы

Все виды измерений в геодезии выполняются с соответствующим контролем в целях увеличения точности результатов, выявления грубых ошибок. В измерениях обязательно присутствуют ошибки. Необходимо знать их свойства, чтобы по возможности исключить их, правильно оценить точность и надежность измеренных величин.

Ошибки измерений в большинстве своем зависят от измерительных качеств приборов и условий окружающей среды (устойчивость прибора, благоприятные метеорологические факторы и др.). Личностные качества наблюдателя также влияют на точность измерений.

Результаты расчета всех показателей точности геометрических данных для составления продольного профиля и проектировочных расчетов при трассировании по карте и изысканиях на местности указываются в табл. 4.2 «Сравнительная точность элементов продольного профиля трассы лесовозной дороги». Средние квадратические погрешности элементов продольного профиля трассы лесовозной дороги, вычисленные по данным полевых измерений, принимаются в качестве критериев требуемой и достаточной точности соответствующих элементов профиля.

Необходимо провести анализ вычисленных показателей, сравнить точность элементов продольного профиля, построенного по картографическим данным, с критериями требуемой точности и сделать выводы о практическом использовании запроектированного профиля.

Таблица 4.2

**Сравнительная точность элементов продольного профиля
трассы лесовозной дороги**

Элемент трассы	Средняя квадратическая погрешность	
	при трассировании по карте масштаба 1 : 10 000	при изысканиях в поле
Угол поворота (m_{β}), '	$\pm 15'$	$\pm 1'$
Тангенс (m_T), м	$\pm 0,97$	$\pm 0,06$
Кривая (m_K), м	$\pm 0,87$	$\pm 0,06$
Биссектриса (m_{δ}), м	$\pm 0,72$	$\pm 0,04$
Домер (m_D), м	$\pm 2,13$	$\pm 0,13$
Уклон (m_{γ}), ‰	$\pm 2,9$	$\pm 0,23$
Проектная отметка ($m_{H, \text{пр}}$), м	$\pm 0,26$	$\pm 0,02$
Отметка земли (m_H), м	$\pm 0,63$	$\pm 0,05$
Рабочая отметка (m_z), м	$\pm 0,69$	$\pm 0,06$
Длина трассы (m_L), м	$\pm 10,0$	$\pm 0,92$

5. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРУГОВЫХ КРИВЫХ

В местах поворота трассы для обеспечения плавного перехода движущегося транспорта с одного направления на другое производят вставки круговых кривых больших радиусов.

Детальная разбивка круговых кривых производится с целью определения на местности промежуточных точек $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, расположенных на кривой K .

В курсовой работе детальная разбивка круговой кривой выполняется для одного из поворотов трассы тремя способами, которые применяются в зависимости от местных условий:

- а) прямоугольных координат;
- б) продолженных хорд;
- в) углов и хорд.

Каждый способ выполняется на отдельном листе чертежной бумаги формата А4 в произвольном масштабе. Образцы оформления представлены на рис. 5.2, 5.5, 5.6. Все рисунки выполняются черной тушью. На этом же листе показывают исходные данные, результаты измерений и вычислений.

5.1. Способ прямоугольных координат

За начало системы координат принимают точки НК и КК. Разбивку осуществляют с этих двух точек к середине кривой. За ось абсцисс X принимают линии тангенсов, за ось ординат Y – перпендикуляры, опущенные с промежуточных точек $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ на линии тангенсов (рис. 5.1).

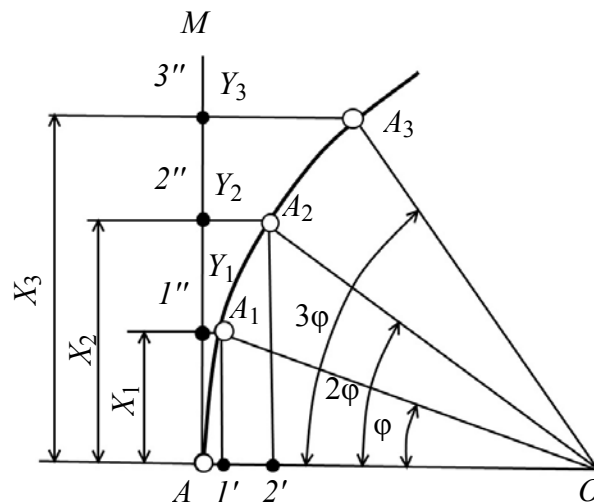


Рис. 5.1. Разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат

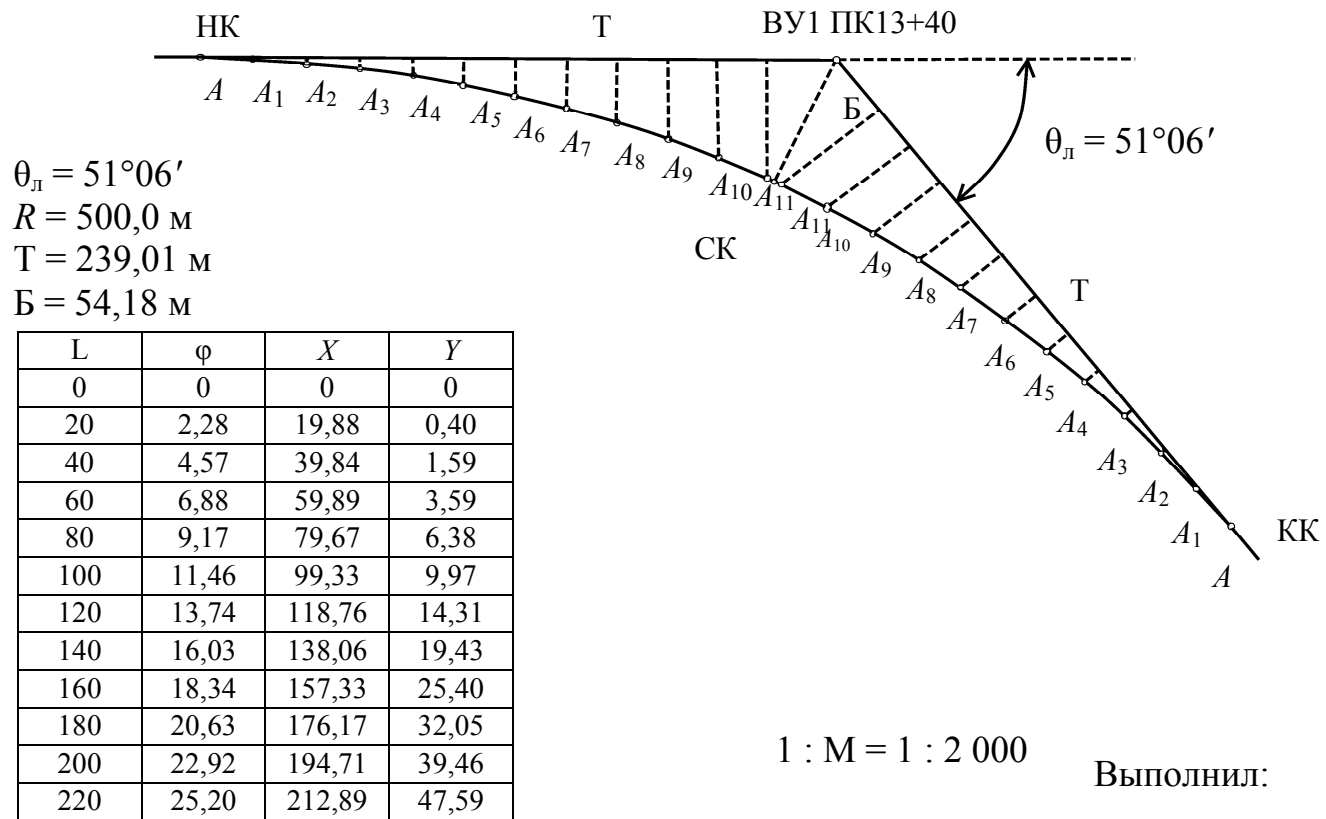


Рис. 5.2. Чертеж детальной разбивки круговой кривой способом прямоугольных координат

Положение промежуточных точек определяют по значениям прямоугольных координат в зависимости от угла φ , соответствующего дуге l (например $l = 20$ м), вычисленных по формулам:

$$\varphi = \frac{\theta \cdot l}{K}; \quad (5.1)$$

$$X_n = R \sin n\varphi; \quad (5.2)$$

($X_1 = R \sin \varphi$; $X_2 = R \sin 2\varphi$; $X_3 = R \sin 3\varphi$ и т. д.);

$$Y_n = R \cdot (1 - \cos n\varphi); \quad (5.3)$$

($Y_1 = R \cdot (1 - \cos \varphi)$; $Y_2 = R \cdot (1 - \cos 2\varphi)$; $Y_3 = R \cdot (1 - \cos 3\varphi)$ и т. д.).

Значения прямоугольных координат можно определить по «Таблицам для разбивки круговых кривых и переходных кривых» [2].

После нахождения прямоугольных координат для промежуточных точек приступают к определению местоположения этих точек на чертеже. Для этого от точек НК и КК линейкой откладывают по линии тангенсов абсциссы точек $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$. В полученных точках восстанавливают перпендикуляры к линии тангенсов и линейкой откладывают ординаты тех же точек $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$. Полученные точки $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ соединяются плавной линией (рис. 5.2).

5.2. Способ продолженных хорд

Этот способ применяется при разбивке кривых радиусом до 200 м в стесненных условиях, когда кривая располагается в узкой полосе местности, свободной от препятствий для разбивочных работ. В этом способе основными параметрами являются величины крайнего (a) и промежуточного (b) перемещений и длина хорды S (рис. 5.3).

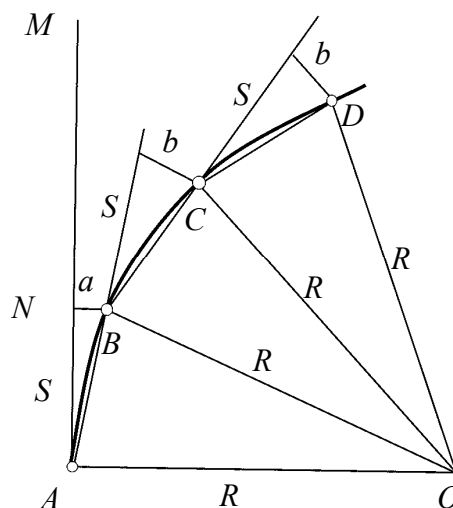


Рис. 5.3. Разбивка круговой кривой способом продолженных хорд

Значения a и b определяются по таблицам круговых кривых или вычисляются по формулам:

$$b = \frac{S^2}{R}; \quad (5.4)$$

$$a = \frac{b}{2}. \quad (5.5)$$

Разбивка круговых кривых производится по хордам (S) длиной 25–30 м.

Положение первой точки B определяется так же, как и в способе прямоугольных координат или линейной засечкой, получаемой отрезками S и a . Найденную точку B отмечают сквозной точкой.

Для определения точки C на продолжении хорды AB от точки B линейкой откладывают отрезок, равный длине хорды S . Из конечной точки этого отрезка смещают линейку на величину b и т. д. (рис. 5.4, 5.5).

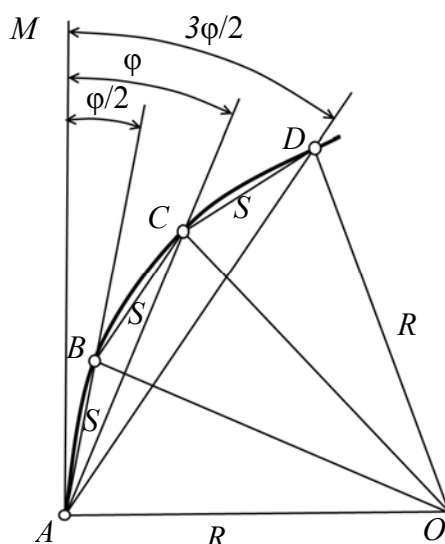


Рис. 5.4. Разбивка круговой кривой способом углов и хорд

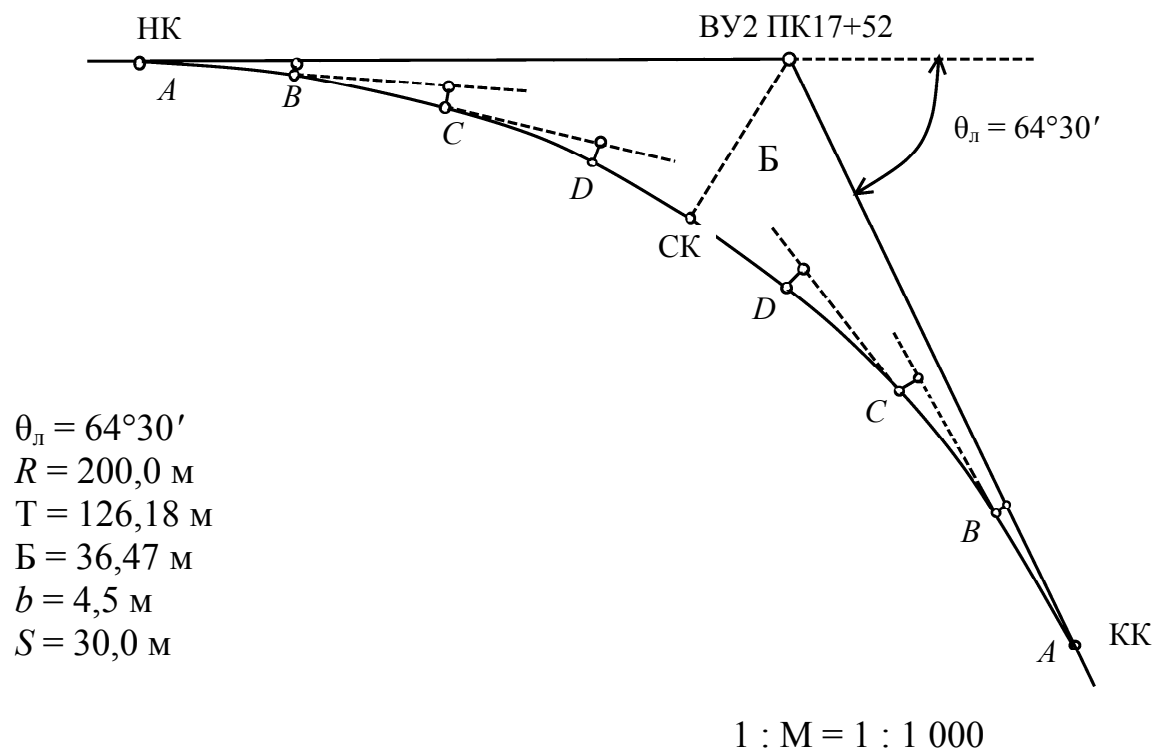
5.3. Способ углов и хорд

При этом способе разбивки промежуточные точки A, B, C, D, \dots, Z получают путем построения углов (φ) в точках НК или КК и откладывания отрезков, равных длине хорды S (25–30 м) (рис. 5.4).

Величина угла φ может быть вычислена по формулам:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{S}{2R}; \quad (5.6)$$

$$\frac{\varphi}{2} = \arcsin \left(\frac{S}{2R} \right). \quad (5.7)$$



Выполнил:

Рис. 5.5. Чертеж детальной разбивки круговой кривой способом продолженных хорд

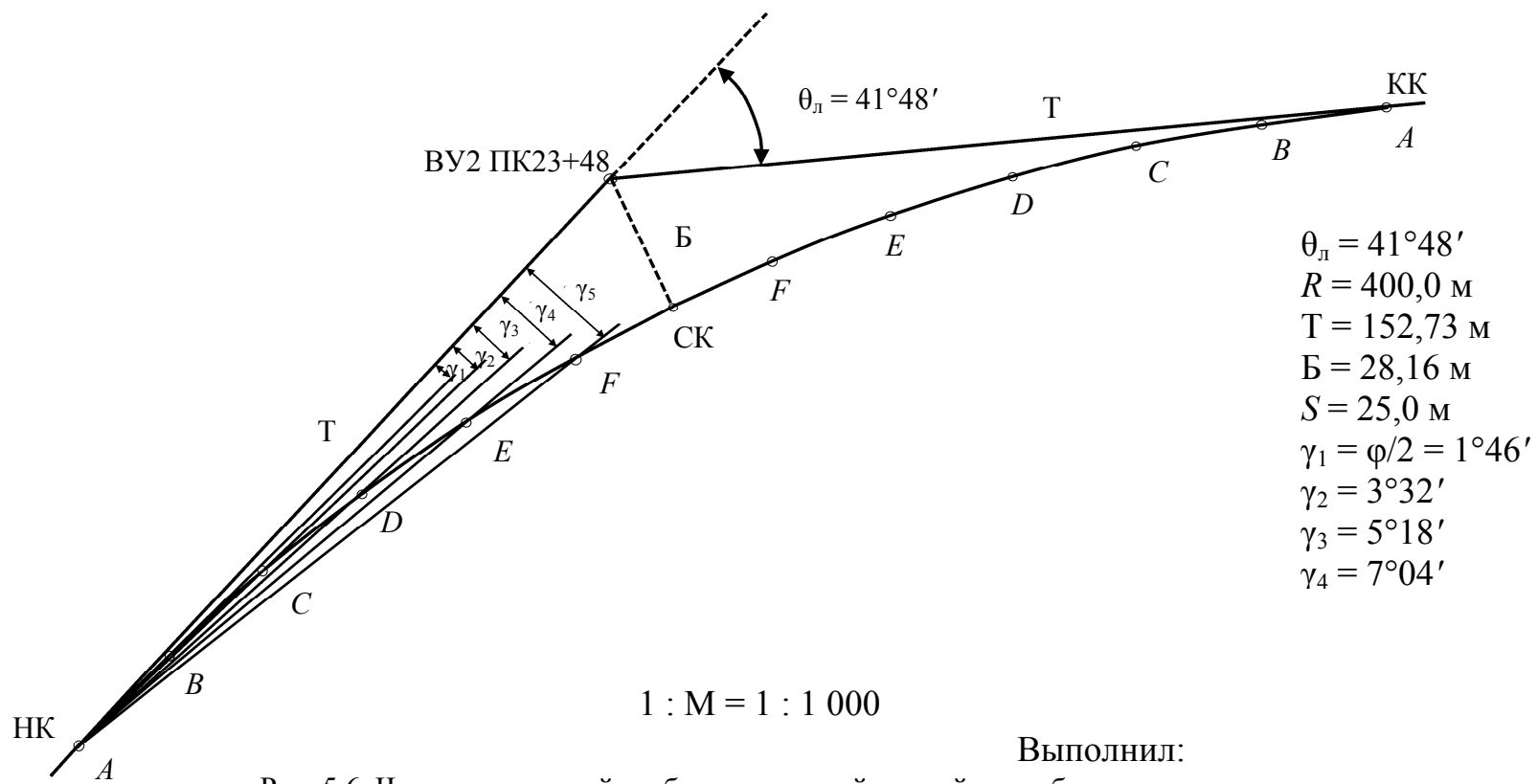


Рис. 5.6. Чертеж детальной разбивки круговой кривой способом углов и хорд

Порядок работы при данном способе разбивки следующий. Устанавливают в точке НК транспортир, ориентируют его по точке ВУ (вершина угла). Откладывают угол $(\varphi / 2) = \gamma_1$. Конец линейки совмещают с точкой НК и откладывают отрезок, равный длине хорды (S) вдоль ориентирного направления. Полученную точку B отмечают сквозной точкой. Далее на транспортире откладывают отсчет, равный углу φ ($\gamma_2 = (2\varphi / 2) = \varphi$), совмещают начало линейки с точкой B и часть линейки, равную длине хорды S , поворачивают до пересечения с линией ориентирования. Полученную точку C закрепляют сквозной точкой. Таким же образом получают и остальные точки кривой, откладывая горизонтальные углы $\gamma_3 = 3\varphi / 2$, $\gamma_4 = 4\varphi / 2 = 2\varphi$ и т. д. (рис. 5.6).

6. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Пояснительная записка курсового проекта включает следующие структурные элементы, расположенные в приведенной последовательности: титульный лист; задание на курсовой проект; реферат; содержание; введение; основные разделы; заключение; список использованных источников; приложения (при необходимости). Требования к оформлению пояснительной записки приведены в СТП БГТУ 002-2007[5].

В **титульном листе** указывается тот факультет, на котором обучается студент, и кафедра, на которой выполняется курсовой проект (приложение 1).

Реферат должен содержать: сведения об объеме курсового проекта (работы); количество страниц пояснительной записки с указанием количества рисунков, таблиц, использованных источников и приложений; перечень ключевых слов (5–15 слов); текст реферата.

Текст реферата должен отражать сокращенное изложение содержания курсового проекта с основными фактическими результатами (приложение 2).

Содержание последовательно включает в себя: введение, номера и наименования всех разделов и подразделов, заключение, список использованных источников и приложений с указанием номеров страниц, на которых они размещены.

Введение должно содержать описание состояния проблемы, актуальность, цели и задачи по теме проекта (работы).

В **заключении** нужно отразить основные выводы по результатам анализа и расчетов.

Список использованных источников включает все использованные информационные источники в порядке появления ссылок на них в тексте, помещается после изложения текстового материала перед приложением.

В **приложения** помещаются иллюстрационный материал, таблицы, текст вспомогательного характера.

Пояснительная записка курсового проекта выполняется на белой бумаге формата А4 на одной стороне листа на русском или белорусском языках.

Текст пояснительной записки печатается шрифтом Times New Roman одного размера – 12 или 14 пт, через одинарный межстрочный интервал, с соблюдением размеров полей, мм: справа – 5–8; слева – 22–23; снизу – 15; сверху – 20.

Первые листы разделов выполняются с нового листа в рамке, за исключением разделов «Реферат», «Содержание», «Введение»,

«Заключение», «Список использованных источников», которые выполняются с нового листа без рамки.

Первый лист раздела оформляется на стандартных листах с рамкой – текст располагается от рамки, мм: слева и справа – 2–3; сверху – 15; снизу – вплотную к основной надписи.

Каждый раздел и подраздел должен иметь заголовок, которые записываются строчными буквами (кроме первой прописной) с абзацного отступа, равного 12,5 мм. Перенос слов в заголовках не допускается. Точку в конце заголовка не ставят.

Заголовки разделов и подразделов выполняются шрифтом основного текста и выделяются полужирным шрифтом; интервал между заголовком раздела и текстом составляет 18 пт; перед заголовком подраздела – 18 пт; после заголовка подраздела – 12 пт. Все разделы, подразделы, пункты и подпункты должны быть пронумерованы арабскими цифрами, в конце их номеров точка не ставится.

В текстовом документе обязательно должны приводиться ссылки на источники информации, откуда взяты определения, формулы, уравнения или числовые значения справочных величин.

Формулы. Все формулы и уравнения нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела. В случае нумерации в пределах раздела – номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой. Номер указывают в круглых скобках с правой стороны листа на уровне формулы. Одну формулу обозначают – (1). Формула отделяется от текста отступом в один межстрочный интервал.

Оформление иллюстраций. Иллюстрации должны быть размещены так, чтобы их было удобно рассматривать без поворота текста или с поворотом по часовой стрелке. На все иллюстрации должны быть даны ссылки. Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела. Иллюстрации отделяются от текста отступом 18 пт.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рисунок А3 (третий рисунок приложения А).

Таблица размещается после первого упоминания о ней в тексте таким образом, чтобы ее можно было читать без поворота текста или с поворотом по часовой стрелке. При необходимости таблица располагается в приложении. Все таблицы нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией или в пределах раздела.

При переносе части таблицы на другие страницы слово «Таблица» и ее название помещают только над первой частью таблицы, над другими частями таблицы пишут слева «Продолжение таблицы» с указанием ее номера. В этом случае под «шапкой» таблицы предусматривается строка с указанием номера каждой графы, обозначенного арабскими цифрами, а на последующих листах вместо «шапки» таблицы указываются номера граф.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в тексте. При ссылке следует писать слово «Таблица» с указанием ее номера.

Заполнение таблицы производится шрифтом основного текста или при необходимости допускается использовать размер шрифта не менее 10 пт. Таблица отделяется от текста отступом 18 пт.

Все страницы пояснительной записки, начиная с титульного листа и включая приложения, должны иметь сквозную нумерацию. Номер страницы проставляется в правом верхнем углу без точки начиная с третьей страницы шрифтом 14 пт. На листах со стандартной рамкой номер страниц указывается в соответствующей графе рамки.

Пояснительная записка курсового проекта должна быть сброшюрована и иметь титульный лист.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Образец титульного листа

Учреждение образование
«Белорусский государственный технологический университет»

Факультет Технологии и техники лесной промышленности
Кафедра Лесоустройства
Специальность «Лесоинженерное дело»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА КУРСОВОЙ РАБОТЫ

по дисциплине «Инженерная геодезия»

тема:

«Инженерно-геодезические расчеты при изыскании трассы лесовозной дороги»

Исполнитель:

студент 2 курса группы 1 _____ Иванов П. П.
Подпись, дата

Руководитель:

ассистент кафедры _____ Петров С. В.
Подпись, дата

Курсовой проект защищен с оценкой _____

Руководитель _____ Петров С. В.
Подпись, дата

Минск 2010

РЕФЕРАТ

Курсовая работа состоит из пояснительной записки на _____ страницах.

Пояснительная записка состоит из 5 разделов, включает _____ таблиц, _____ рисунков, _____ литературных источников.

ТРАССА ЛЕСОВОЗНОЙ ДОРОГИ, КАРТА, ПЛАН ТРАССЫ, ПИКЕТ, ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ, ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛЬ, РАБОЧАЯ ОТМЕТКА, ТОЧКА НУЛЕВЫХ РАБОТ, ВЕРТИКАЛЬНАЯ КРИВАЯ, ТОЧНОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ, СПОСОБ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТ, СПОСОБ ПРОДОЛЖЕННЫХ ХОРД, СПОСОБ УГЛОВ И ХОРД

Целью курсовой работы является углубленное изучение методики камеральных и полевых геодезических работ, выполняемых при изысканиях лесовозных автомобильных дорог, составление продольного и поперечного профилей трассы по данным топографической карты масштаба 1 : 10 000.

В курсовой работе выполнено трассирование дороги на карте, составление плана трассы, составление продольного и поперечного профилей трассы, размещение на профиле проектной линии вертикального положения дороги, вычисление проектных и рабочих отметок, а также отметок точек нулевых работ, проектирование вертикальных кривых, оценка точности результатов камерального трассирования лесовозной дороги, детальная разбивка круговых кривых.

В результате выполнения курсовой работы на топографической карте масштаба 1 : 10 000 в соответствии технико-экономическими условиями задания на строительство линейного сооружения запроектирована лесовозная дорога, построен продольный профиль и проведены соответствующие инженерно-геодезические расчеты.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вырко, Н. П. Праектаванне лесавозных дарог: вучэб. дапаможнік / Н. П. Вырко, П. А. Лышчык. – Мінск: БДТУ, 2004. – 308 с.
2. Ганьшин, В. Н. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых / В. Н. Ганьшин, Л. С. Хренов. – Москва: Недра, 1985. – 430 с.
3. Инженерная геодезия. Геометрическое нивелирование: методические рекомендации для студентов специальностей 1-75 01 01 «Лесное хозяйство», 1-75 02 01 «Садово-парковое строительство» / сост. В. Ф. Несцеронак. – Минск: БГТУ, 2007. – 54 с.
4. Несцяронак, В. Ф. Інжынерная геадэзія: падручнік / В. Ф. Несцяронак, М. С. Несцяронак. – Мінск: БДТУ, 1998. – 320 с.
5. Проекты (работы) курсовые. Требования и порядок подготовки, представление к защите и защита: СТП БГТУ 002-2007. – Введ. 02.05.07. – Минск: БГТУ, 2007. – 40 с.
6. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500: утв. Главным управлением геодезии и картографии 25 нояб. 1986 г. – Москва: Недра, 1989. – 284 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общие указания.....	4
1. Трассирование дороги по карте	5
1.1. Исходные данные для трассирования. Учет технических условий определения планового положения дороги	5
1.2. Трассирование лесовозной дороги по карте	9
1.3. Ориентирование трассы, измерение углов поворота на карте, расчет элементов закруглений	10
1.4. Составление плана трассы	15
2. Составление профиля трассы	21
2.1. Определение отметок точек по карте	22
2.2. Составление продольного профиля земли	23
2.3. Составление профиля поперечника	26
3. Геодезические расчеты при проектировании профиля автомобильной лесовозной дороги	27
3.1. Проектирование профиля дороги	27
3.1.1. Вычисление проектного уклона трассы	28
3.1.2. Определение проектных отметок	28
3.1.3. Вычисление рабочих отметок	29
3.1.4. Определение положения точек нулевых работ	29
3.2. Расчет вертикальных кривых	30
4. Оценка точности результатов камерального трассирования лесовозной дороги	35
4.1. Оценка точности геодезических работ при трассировании лесовозных дорог	35
4.1.1. Точность вычисления дирекционных углов	35
4.1.2. Точность измерения расстояний	37
4.1.3. Точность расчета главных элементов круговых кривых ..	38
4.1.4. Точность вычисления уклона	40
4.1.5. Точность вычисления рабочих отметок	41
4.2. Анализ точности элементов продольного профиля трассы	42
5. Детальная разбивка круговых кривых	44
5.1. Способ прямоугольных координат	44
5.2. Способ продолженных хорд	46
5.3. Способ углов и хорд	47
6. Пояснительная записка курсовой работы	51
Приложение 1	54
Приложение 2	55
Рекомендуемая литература	56

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Составители: **Пушкин** Андрей Александрович
Ковалевский Сергей Владимирович
Сидельник Николай Ярославович

Редактор *О. П. Соломевич*
Компьютерная верстка *О. П. Соломевич*

Подписано в печать 25.05.2010. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 3,4. Уч.-изд. л. 3,5.
Тираж 120 экз. Заказ

Отпечатано в Центре издательско-полиграфических
и информационных технологий учреждения образования
«Белорусский государственный технологический университет».
220006. Минск, Свердлова, 13а.
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
ЛП №02330/0150477 от 16.01.2009.