

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению курсовой работы для бакалавров, обучающихся по направлению
подготовки 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»
(профиль «Геодезия») всех форм обучения*

Воронеж 2022

УДК 528.7
ББК 26.133я7

Составители: канд. техн. наук Т. Б. Харитонов,
ст. преп. И. В. Нестеренко

Инженерные изыскания для строительства: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов направления 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» (профиль «Геодезия») всех форм обучения/ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Т. Б. Харитонов, И. В. Нестеренко. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022.– 33 с.

Приводится последовательность выполнения курсовой работы по всем разделам курса «Инженерные изыскания для строительства»: цель курсовой работы, соответствующие теоретические положения, порядок проведения геодезических работ, способы обработки результатов.

Предназначены для студентов направления 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» (профиль «Геодезия»).

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ИИДС_КР.pdf.

Ил. 11. Табл. 10. Библиогр.: 5 назв.

УДК 528.7
ББК 26.133я7

Рецензент – В. В. Шумейко, канд. техн. наук, ст. преп.
кафедры кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Описание трассы автодороги	5
2. Расчет ведомости прямых и кривых	7
3. Детальная разбивка кривой	19
4. Построение продольного профиля трассы	23
5. Разбивка вертикальных кривых.....	30
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	32

ВВЕДЕНИЕ

По направлению 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» профиль «Геодезия» учебным планом предусматривается изучение дисциплины «Инженерные изыскания для строительства». Цель дисциплины – получение студентами знаний необходимых для практической деятельности в области инженерных изысканий в строительстве, овладение современными методами и способами использования результатов измерений и графических построений при решении задач промышленного, гражданского строительства, научных исследований и т.д. Использование нормативных документов в области инженерных изысканий, действующих на территории РФ. В ходе учебного процесса студент должен прослушать курс лекций по данной дисциплине, подготовить курсовую работу, сдать экзамен. Настоящие методические указания предусмотрены для выполнения курсовой работы по дисциплине «Инженерные изыскания для строительства».

Инженерные изыскания для строительства относятся к виду градостроительной деятельности, осуществляемой с целью изучения природных условий и факторов техногенного воздействия для подготовки данных по обоснованию материалов для архитектурно-строительного проектирования, строительства, эксплуатации, сносов (демонтажа) зданий или сооружений, а также для документов территориального планирования и документации по планировке территории.

Одним из видов инженерных изысканий для строительства является построение продольного профиля трассы автодороги. Трассой называют продольную ось проектируемого линейного сооружения. К линейным сооружениям относятся подъездные, железные и автомобильные дороги, линии электропередачи, связи, водопроводы, канализации, теплосети и т.п., сооружения линейного типа с малой площадью застройки, но значительные по протяженности. Положение такого сооружения на местности определяется основным геометрическим параметром осью трассы (ось проектируемого сооружения).

Основными элементами трассы являются планы прямых и кривых участков разного направления, плавно переходящих друг в друга и продольный профиль (вертикальный разрез по оси трассы), состоящий из прямых участков с разными уклонами. Задать на местности направление оси трассы означает задать положение направления оси данного вида линейного сооружения. При выборе направления положения трассы необходимо руководствоваться соответствующими техническими условиями на ее проектирование. Так, для автомобильных дорог необходимо обеспечить плавность и безопасность движения, а для самотечных трубопроводов – уклоны и глубину заложения, обеспечивающие нормальное их функционирование. Кроме технических условий, в расчет принимают экономические, экологические и другие факторы.

Выполнение такого комплекса работ по выбору оптимального варианта прокладки трассы, отвечающего предъявляемым требованиям и дающего

наибольший экономический эффект, называют трассированием. Трассирование по имеющимся или вновь составленным в процессе изысканий топографическим картам и планам называют камеральным трассированием. Работы по переносу и закреплению запроектированной трассы на местности называют полевым трассированием.

Целью данной курсовой работы является построение наиболее оптимальной трассы автодороги. Для ее достижения необходимо выполнить следующие задачи:

- дать описание двух вариантов трасс автодороги;
- произвести расчет ведомостей прямых и кривых;
- выполнить детальные разбивки кривых;
- построить продольные профили двух вариантов трасс автодороги;
- рассчитать и выполнить разбивку вертикальных кривых;
- определить наиболее оптимальный вариант плана трассы автодороги.

1. Описание трассы автодороги

Основной целью данной курсовой работы является построение наиболее оптимальной трассы автодороги. Для этого должны быть рассмотрены два варианта. Начало и конец трассы задается преподавателем на карте приложение1. Студент выбирает трассу с тремя - четырьмя вершинами углов поворота, и производит построения на карте.

Рассмотрим предложенные нами варианты трассы автодороги. Ситуацию местности, по которой проходит трасса, описываем из данных своего варианта. Необходимо построить пикетажные журналы к обоим вариантам. Для каждого варианта трассы необходимо измерить ее протяженность. Длина трассы №1 составляет ... метров. (измеряется масштабной линейкой в масштабе карты точность измерения 0,1 метра). Начало трассы имеет отметку $H = \dots$ метров, которая вычисляется по известной формуле определения отметки точки, лежащей между двумя горизонталями.

$$H_1 = H_{\min} + \Delta h_1 \quad (1)$$

где $H_{\min}$ - отметка минимальной горизонтали между которыми располагается точка.

$\Delta h_1 = \frac{l_1}{l} \cdot d$ - превышение. l_1 - расстояние в мм от точки до горизонтали с минимальной отметки. l - расстояние в мм между соседними горизонталями. d - сечение рельефа.

$$H_2 = H_{\max} - \Delta h_2 \quad (2)$$

где $H_{\max}$ - отметка максимальной горизонталей между которыми располагается точка.

$\Delta h_2 = \frac{l_2}{l} \cdot d$ - превышение. l_2 - расстояние в мм от точки до горизонтали с максимальной отметкой. l - расстояние в мм между соседними горизонталями. d - сечение рельефа (рис. 1).

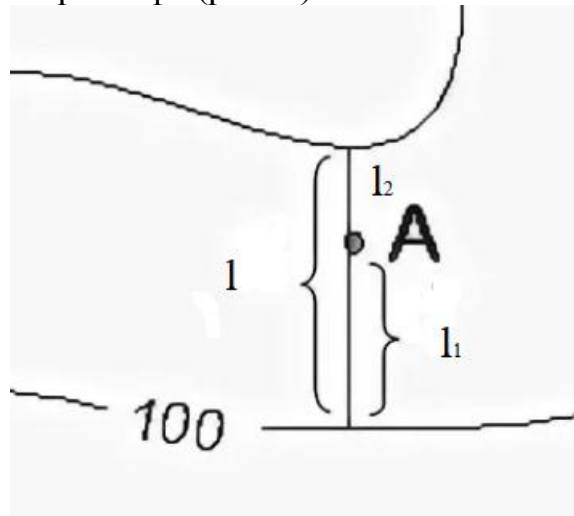


Рис. 1. Определение отметки точки, лежащей между двумя горизонталями

Протяженность трассы №2 составляет ... метров. Начало трассы имеет отметку $H = \dots$ метров. Горизонтальные углы измеряются транспортиром с точностью до одного градуса, радиус выбирается в зависимости от рельефа местности и от длины прямых вставок. На основании полученных данных строится схема трассы автодороги. Дирекционный угол линии начало трассы – ВУ-1 измеряется на карте транспортиром с точностью до 1° (рис.2-3).

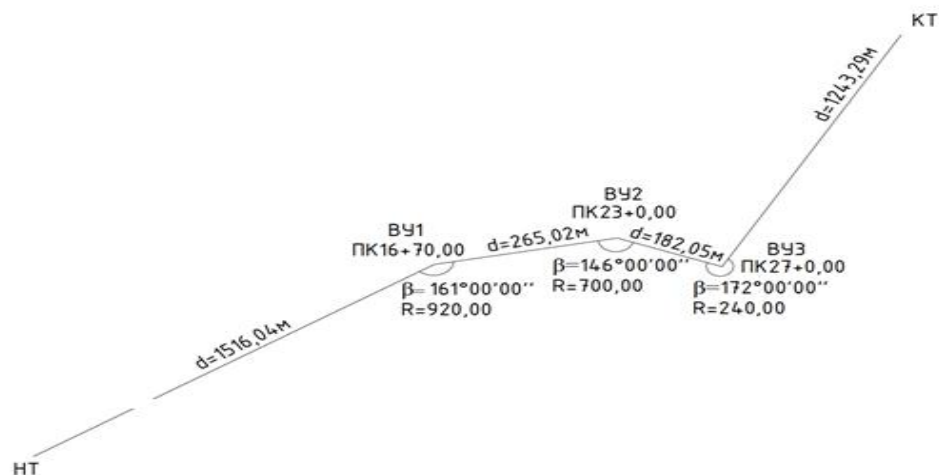


Рис. 2. Схема трассы автодороги

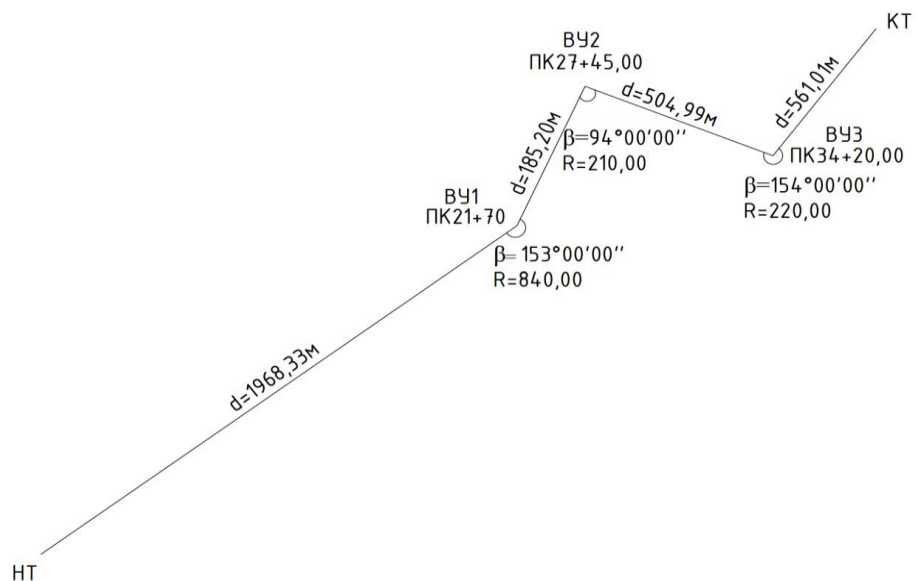


Рис. 3. Схема трассы автодороги 2

2. Расчет ведомости прямых и кривых

Зная направление исходной линии, значения величины горизонтальных углов и радиусы, расстояния между вершинами составляем ведомость прямых и кривых, которая необходима для контроля вычислений, связанных с положением трассы в плане и является основным документом для разбивки трассы на местности.

Трасса №1

В графу «Точки трассы» заносим названия элементов трассы (начало трассы, ВУ1, ВУ2, ВУ3... конец трассы).

В графу «Углы поворота» заносим значения углов поворота, учитывая их направление. Углом поворота называется угол, образованный продолжением предыдущего направления оси трассы с новым ее направлением. В производственных условиях угол поворота трассы вычисляется по горизонтальным углам, измеренным при плановой привязке трассы используя формулы:

$$\varphi_{\text{прав}} = 180^\circ - \beta \quad (3)$$

$$\varphi_{\text{лев}} = \beta - 180^\circ \quad (4)$$

Подробно рассмотрим процесс заполнения графы «Элементы кривых» (рис 4).

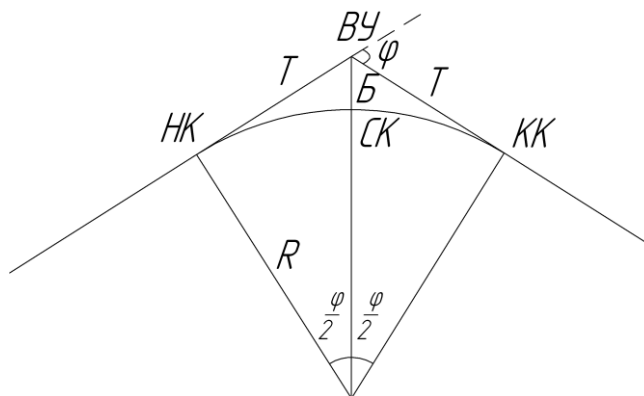


Рис. 4. Элементы круговой кривой

Для начала разберем, что является элементами круговой кривой. Графа «R» – радиус кривой, определяется техническими нормативами, графа «T» – тангенс это расстояние от начала кривой (HK) до вершины угла (BU) или до конца кривой (KK) до вершины угла BU.

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (5)$$

где R – радиус. φ – угол поворота.

Графа «K» – длина кривой; это длина дуги между началом (HK) и концом (KK) кривой.

$$K = \frac{\pi \cdot R \cdot \varphi}{180^\circ} \quad (6)$$

где $\pi = 3,14$. R – радиус. φ – угол поворота.

Графа «B» – биссектриса, расстояние по биссектрисе внутреннего угла от вершины угла поворота (BU) до середины кривой (CK).

$$B = \sqrt{T^2 + R^2} - R \quad (7)$$

где T – тангенс. R – радиус.

Графа «D» – домер, - это разность между двумя тангенсами и длиной кривой.

$$D = 2T - K \quad (8)$$

где T – тангенс. K – кривая.

Все полученные величины округляем до сотых. После вычисления элементов кривых по приведенным формулам, с использованием инженерного калькулятора, данные заносим в соответствующие графы таблицы 1:

Расчет элементов кривых для трассы №1

φ	R	T	K	B	D
19°	920,00	153,96	304,93	12,79	2,99
34°	700,00	214,01	415,18	31,98	12,84
8°	240,00	16,78	33,49	0,59	0,07

Зная величины элементов кривой вычисляем пикетажные значения ВУ и КТ. Начало трассы равно ПК0 + 00,00.

Пикетажные значения ВУ вычисляются по формуле:

$$BY_{пер} = BY_{зад} + S_{пер} - D_{пер} \quad (9)$$

$$BY_1 = S_1$$

$$BY_2 = BY_1 + S_2 - D_1$$

$$BY_3 = BY_2 + S_3 - D_2$$

.....

$$KT = BY_n + S_n - D_{n-1}$$

К главным точкам кривой относятся НК, СК, КК. Значения вычисляются в пикетах (ПК). Пикет – это 100 метровые расстояния между точками.

Пикетажные значения начала (НК) и конца (КК) кривой вычисляются по формулам:

$$НК = ВУ - T \quad (10)$$

$$КК = НК + K = ВУ + T - D \quad (11)$$

где ВУ – пикетажное значение вершины угла поворота.

T – тангенс

K – кривая

D – домер

Расчет пикетажных значений главных точек кривых приведен ниже (рис. 5-6).

$$НК_1 = ВУ_1 - T_1 = 1516,04, \quad КК_1 = НК_1 + K_1 = 1820,97;$$

$$НК_2 = ВУ_2 - T_2 = 2085,99, \quad КК_2 = НК_2 + K_2 = 2501,17;$$

$$НК_3 = ВУ_3 - T_3 = 2683,22, \quad КК_3 = НК_3 + K_3 = 2716,71.$$

Графу «Прямые вставки» заполняем путем вычисления разности между значениями НК последующей минус КК предыдущей.

$$P_{пер} = HK_{пер} - KK_{зад} \quad (12)$$

$$P_1 = HK_1$$

$$P_2 = HK_2 - KK_1$$

$$P_3 = HK_3 - KK_2$$

.....

$$P_n = KT - KK_n$$

Расчет длин прямых вставок приведен ниже:

$$P_1 = HK_1 = 1516,04 ;$$

$$P_2 = HK_2 - KK_1 = 265,02 ;$$

$$P_3 = HK_3 - KK_2 = 182,05 ;$$

$$P_4 = KT - KK_3 = 1243,29 .$$

Графу «Длины между ВУ» заполняем путем измерения расстояния между вершинами с помощью масштабной линейки и измерителя.

Графу «Дирекционный угол» заполняем значениями дирекционных углов. Дирекционные углы вычисляют по следующим формулам:

$$\alpha_{пер} = \alpha_{зад} - \varphi_{лев} , \quad (13)$$

$$\alpha_{пер} = \alpha_{зад} + \varphi_{пр} . \quad (14)$$

После всех вычислений необходимо провести контроль полученных значений. Для этого воспользуемся следующими формулами:

$$KT = \sum K + \sum P , \quad (15)$$

$$KT = \sum S + \sum Д . \quad (16)$$

Трасса №2

Значения трассы 2 рассчитывают аналогично, по выше изложенным формулам, как и для трассы 1. (формулы смотри выше).

В графу «Точки трассы» заносим названия элементов трассы.

Графу «Пикетажные обозначения» заполняем пикетажными значениями элементов трассы. Начало трассы равно $ПК0 + 00,00$. Пикетажное значение конца трассы равно длине всей трассы, разбитой на пикеты. Так как протяженность равна метров, то в графу заносим $ПК$. Пикетажные значения $ВУ1, ВУ2, ВУ3$ равны длине от начала трассы до самой вершины угла, разбитые на пикеты. Соответственно, заносим в графу $ВУ1; ВУ2; ВУ3$.

В графу «Углы поворота» заносим значения углов поворота, учитывая их направление. В производственных условиях угол поворота трассы вычисляют по углам, измеренным при плановой привязке трассы, или вычисляют по координатам вершин углов поворота.

Подробно рассмотрим процесс заполнения графы «Элементы кривых».

Для начала разберемся, что является элементами круговой кривой. Графа « R » – радиус кривизны, графа « T » – тангенс, расстояние от вершины угла поворота ($ВУ$) до начала кривой ($НК$) или до конца кривой ($КК$). Графа « K » – длина кривой, длина дуги между началом и концом кривой. Графа « B » – биссектриса, расстояние по биссектрисе внутреннего угла от вершины угла поворота ($ВУ$) до середины кривой. Графа « D » – домер, линейная разность между суммой двух тангенсов и длиной кривой.

Теперь можно приступить к расчету самих элементов кривой. Значение радиуса определяется техническими нормативами. Остальные элементы круговой кривой являются зависимыми от радиуса и углов поворота и вычисляются по следующим формулам:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad (17)$$

$$K = \frac{\pi \cdot R \cdot \varphi}{180^\circ} \quad (18)$$

$$B = \sqrt{T^2 + R^2} - R \quad (19)$$

$$D = 2T - K \quad (20)$$

После вычисления элементов кривых по приведенным формулам с использованием инженерного калькулятора будем иметь следующие значения
таблица 2:

Расчет элементов кривых для трассы №2

φ	R	T	K	B	D
27°	840,00	201,67	395,64	23,87	7,7
86°	210,00	195,83	315,05	77,14	76,61
26°	220,00	50,79	99,78	5,79	1,8

Графу «Главные точки кривой» заполняем пикетажными значениями начала (HK) и конца (KK) кривых. Пикетажные значения главных точек кривых вычисляются по формулам:

$$HK = BU - T \quad (21)$$

где BU – пикетажное значение вершины угла поворота. T - тангенс.

$$KK = HK + K \quad (22)$$

Для контроля вычислений пикетажное значение конца кривой (KK) находят дополнительно по формуле:

$$KK = BU + T - D \quad (23)$$

где BU – пикетажное значение вершины угла поворота. T - тангенс. D – домер.

Расчет пикетажных значений главных точек кривых приведен ниже:

$$HK_1 = BU_1 - T_1 = 1968,33, \quad KK_1 = HK_1 + K_1 = 2363,97;$$

$$HK_2 = BU_2 - T_2 = 2549,17, \quad KK_2 = HK_2 + K_2 = 2864,22;$$

$$HK_3 = BU_3 - T_3 = 3369,21, \quad KK_3 = HK_3 + K_3 = 3468,99.$$

Графу «Длины прямолинейных участков» заполняем значениями длин прямолинейных участков трассы. Расчет длин прямых вставок приведен ниже:

$$P_1 = HK_1 = 1968,33;$$

$$P_2 = HK_2 - KK_1 = 185,20;$$

$$P_3 = HK_3 - KK_2 = 504,99;$$

$$P_4 = KT - KK_3 = 561,01.$$

Графу «Длины между BU » заполняем значениями длин между вершинами угла поворота. Расчет расстояний между вершинами приведен ниже:

$$S_1 = BU_1 = 2170,00;$$

$$S_2 = BU_2 - BU_1 + D_1 = 582,70;$$

$$S_3 = BU_3 - BU_2 + D_2 = 751,61;$$

$$S_4 = KT - BY_3 + D_3 = 611,80.$$

Графу «Дирекционный угол» заполняем значениями дирекционных углов. Дирекционные углы вычисляют по следующим формулам:

$$\alpha_{пер} = \alpha_{зад} - \varphi_{лев}, \quad (24)$$

$$\alpha_{пер} = \alpha_{зад} + \varphi_{пр}. \quad (25)$$

После всех вычислений необходимо провести контроль полученных значений. Для этого воспользуемся следующими формулами:

$$KT = \sum K + \sum P = 4030,$$

$$KT = \sum S + \sum D = 4030.$$

Расчет данных заносят в таблицы 3 и 4.

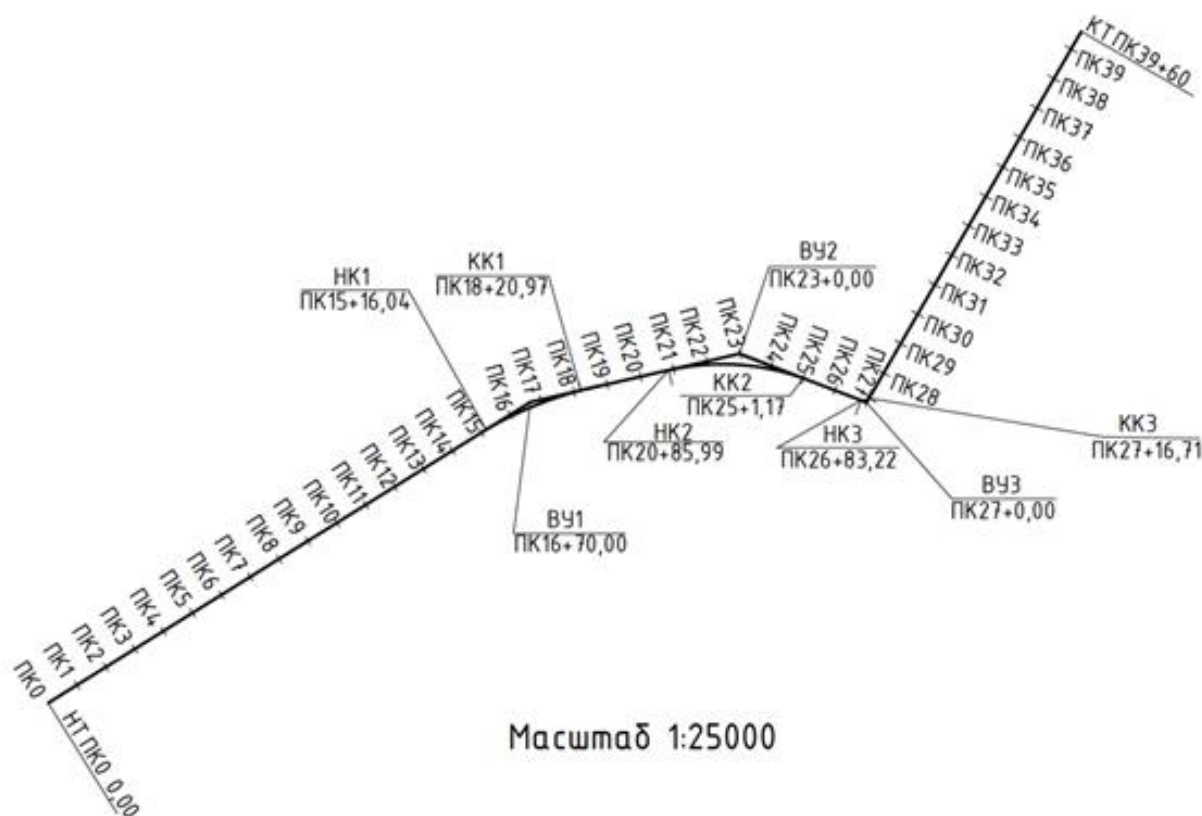


Рис. 5. План трассы автодороги 1

Таблица 3

Ведомость прямых и кривых (1 трасса)

Точки трассы	Пикетажные значения	Углы поворота		Элементы кривых					Главные точки кривой		Длины, м			
		влево	вправо	R	T	K	B	D	начало кривой в пикетах	конец кривой в пикетах	Прямая вставка	Расстояние между ВУ	дирек. угол, α	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
HT	0+00,00													
											1516,04	1670,00	58°00′	
ВУ1	16+70,00		19°00′	920,00	153,96	304,93	12,79	2,99	15+16,04	18+20,97				
											265,02	632,99	77°00′	
ВУ2	23+00,00		34°00′	700,00	214,01	415,18	31,98	12,84	20+85,99	25+1,17				
											182,05	412,84	111°00′	
ВУ3	27+00,00	08°00′		240,00	16,78	33,49	0,59	0,07	26+83,22	27+16,71				
											1243,29	1260,07	103°00′	
КТ	39+60,00													
Σ				1860,0	384,75	753,60	45,36	15,90						

 $\Sigma 3206,40$
 $3975,90$
 $\Sigma K + 753,60$
 $\Sigma D - 15,90$
 $3960,00$
 $3960,00$

<i>Контроль:</i>	-	<i>ВУ1 ... ПК16 + 70,00</i>	+	<i>ВУ1 ... ПК16 + 70,00</i>	-	<i>ВУ2 ... ПК23 + 00,00</i>	+	<i>ВУ2 ... ПК23 + 00,00</i>
		<i>Т1 ... 153,96</i>		<i>Т1 ... 153,96</i>		<i>Т2 ... 214,01</i>		<i>Т2 ... 214,01</i>
		<i>НК1 ... ПК15 + 16,04</i>		<i>ПК18 + 23,96</i>		<i>НК2 ... ПК20 + 85,99</i>	-	<i>ПК25 + 14,01</i>
	+	<i>К1 ... 3 + 04,93</i>		- <i>Д1 ... 2,99</i>		+	<i>К2 ... 4 + 15,18</i>	- <i>Д2 ... 12,84</i>
		<i>КК1 ... ПК18 + 20,97</i>		<i>КК1 ... ПК18 + 20,97</i>		<i>КК2 ... ПК25 + 1,17</i>		<i>КК2 ... ПК25 + 01,17</i>
		<i>ВУ3 ... ПК27 + 00,00</i>	+	<i>ВУ3 ... ПК27 + 00,00</i>				
		<i>Т3 ... 16,78</i>		<i>Т3 ... 16,78</i>				
		<i>НК3 ... ПК26 + 83,22</i>		<i>ПК27 + 16,78</i>				
	+	<i>К3 ... 0 + 33,49</i>		- <i>Д3 ... 0,07</i>				
		<i>КК3 ... ПК27 + 16,71</i>		<i>КК3 ... ПК27 + 16,71</i>				
				<i>ВУ1 ... ПК3 + 50,00</i>				
				<i>Т1 ... 230,20</i>				

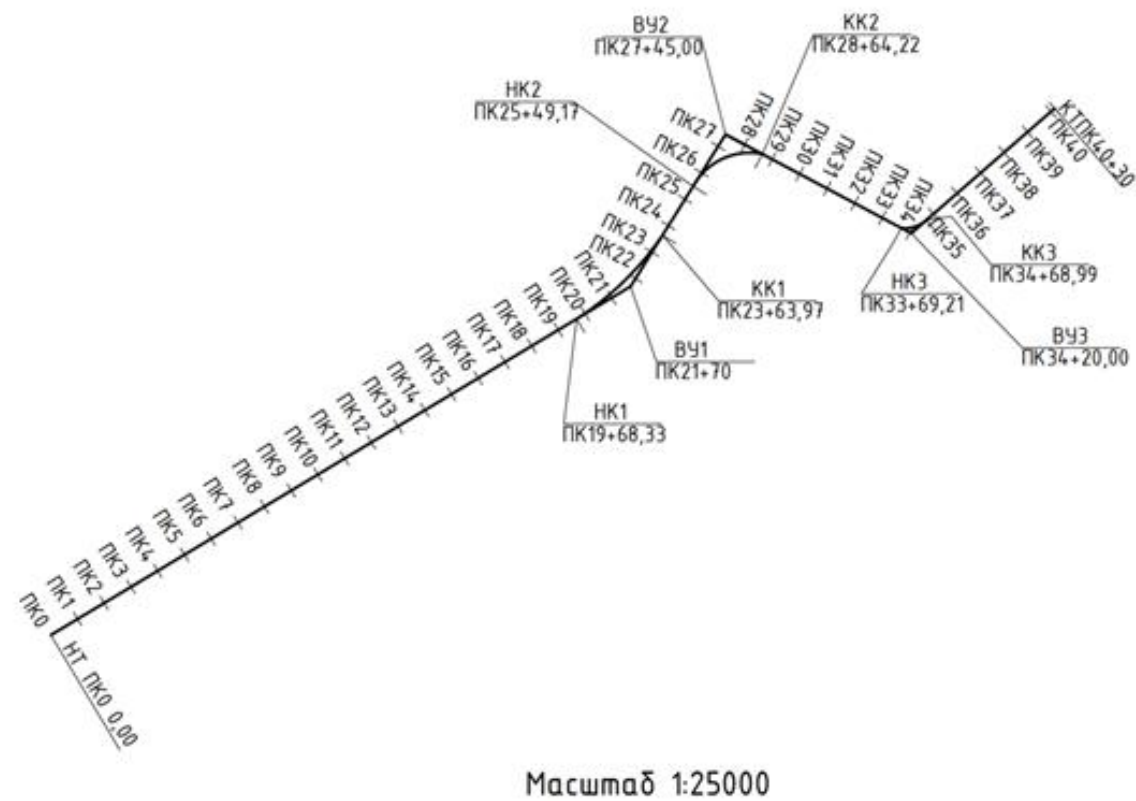


Рис. 6. План трассы автодороги 2

Таблица 4

Ведомость прямых и кривых (2 трасса)

Точки трассы	Пикетажные обозначения	Углы поворота		Элементы кривых					Главные точки кривой		Длины, м		Направления прямол. участков	
		влево	вправо	R	T	K	B	D	начало кривой в пикетах	конец кривой в пикетах	прямол. участков	между BV	дирек. угол, α	румб, r
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
HT	0+00,00													
											1968,33	2170,00	59°00′	$CB:$ 59°00′
$BV1$	21+70,00	27°00′		840,00	201,67	395,64	23,87	7,70	19+68,33	23+63,97				
											185,20	582,70	32°00′	$CB:$ 32°00′
$BV2$	27+45,00		86°00′	210,00	195,83	315,05	77,14	76,61	25+49,17	28+64,22				
											504,99	751,61	118°00′	$ЮВ:$ 62°00′
$BV3$	34+20,00	26°00′		220,00	50,79	99,78	5,79	1,80	33+69,21	34+68,99				
											561,01	611,80	92°00′	$ЮВ:$ 88°00′
KT	40+30,00													
Σ				1270,0	448,29	810,47	106,80	86,11						

$\Sigma 3219,53$ 4116,11

$\Sigma K + 810,47$ $\Sigma D - 86,11$

4030,00 4030,00

Контроль:	$\begin{array}{r} \text{BY1} \dots \text{ПК21} + 70,00 \\ - \text{T1} \dots 201,67 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{BY1} \dots \text{ПК21} + 70,00 \\ + \text{T1} \dots 201,67 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{BY2} \dots \text{ПК27} + 45,00 \\ - \text{T2} \dots 195,83 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{BY2} \dots \text{ПК27} + 45,00 \\ + \text{T2} \dots 195,83 \\ \hline \end{array}$	
	$\begin{array}{r} \text{HK1} \dots \text{ПК19} + 68,33 \\ + \text{K1} \dots 3 + 95,64 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{ПК23} + 71,67 \\ - \text{Д1} \dots 7,7 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{HK2} \dots \text{ПК25} + 49,77 \\ + \text{K2} \dots 3 + 15,05 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{ПК29} + 40,83 \\ - \text{Д2} \dots 76,61 \\ \hline \end{array}$	
	$\text{KK1} \dots \text{ПК23} + 63,97$		$\text{KK1} \dots \text{ПК23} + 63,97$		$\text{KK2} \dots \text{ПК28} + 64,22$		$\text{KK2} \dots \text{ПК28} + 64,22$	
	$\begin{array}{r} \text{BY3} \dots \text{ПК34} + 20,00 \\ - \text{T3} \dots 50,79 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{BY3} \dots \text{ПК34} + 20,00 \\ + \text{T3} \dots 50,79 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{HK3} \dots \text{ПК33} + 69,21 \\ + \text{K3} \dots 0 + 99,78 \\ \hline \end{array}$		$\begin{array}{r} \text{ПК34} + 68,99 \\ - \text{Д3} \dots 1,8 \\ \hline \end{array}$	
	$\text{KK3} \dots \text{ПК34} + 68,99$		$\text{KK3} \dots \text{ПК34} + 68,99$					
			$\text{BY1} \dots \text{ПК3} + 50,00$					
			$\text{T1} \dots 230,20$					

3. Детальная разбивка кривой

При разбивке пикетажа возникает необходимость выноса пикетов на кривые.

После выноса в натуру главных точек кривой осуществляется ее детальная разбивка – закрепление на местности точек кривой через некоторые интервалы. Такой способ разбивки кривой называется способом прямоугольных координат.

Детальная разбивка кривой осуществляется следующим образом. Начало координат условно располагают в точках *НК* или *КК*, за оси абсцисс (*x*) принимают направление тангенсов, а за оси ординат (*y*) – перпендикуляр к оси абсцисс от точек *НК* или *КК* к середине кривой.

Координаты находят по формулам:

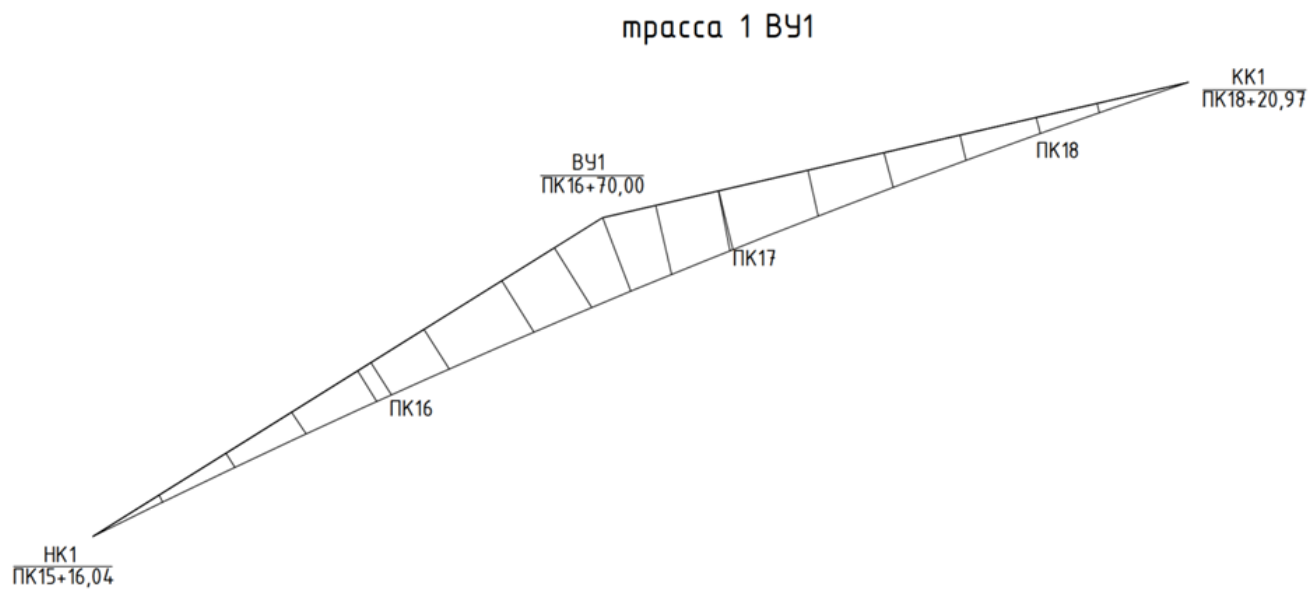
$$x = R \sin \varphi; \quad (26)$$

$$y = 2R \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \quad (27)$$

где φ – центральный угол, стягивающий дугу l (в нашем случае $l = 20$ м), вычисляемый как:

$$\varphi = \frac{180^\circ}{\pi \cdot R} l. \quad (28)$$

Для детальной разбивки кривой выбирают из каждого варианта по две кривых с наибольшей величиной тангенса. (рис. 7-10).

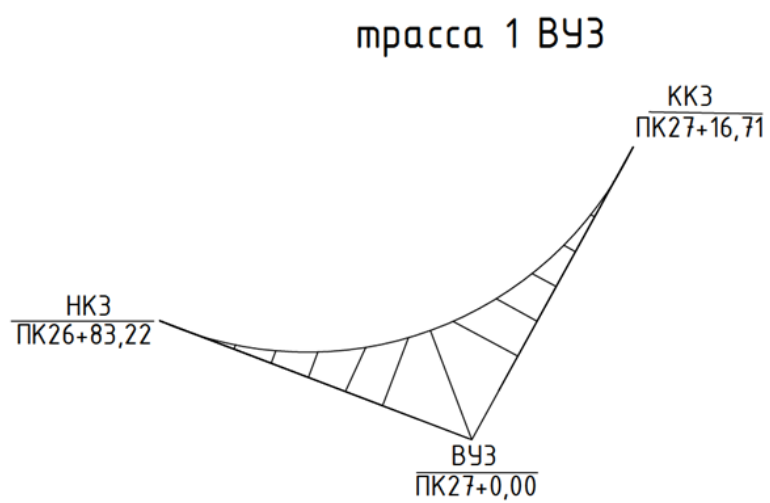


$R=920$

x_1	20.07	y_1	0.44
x_2	40.13	y_2	1.75
x_3	59.90	y_3	3.90
x_4	79.92	y_4	6.94
x_5	99.89	y_5	10.52
x_6	123.53	y_6	15.60
x_7	139.42	y_7	21.13
x_8	153.43	y_8	25.59

Масштаб 1:2000

Рис. 7. Определение Детальная разбивка горизонтальной кривой 1 трасса 1



$R=240$

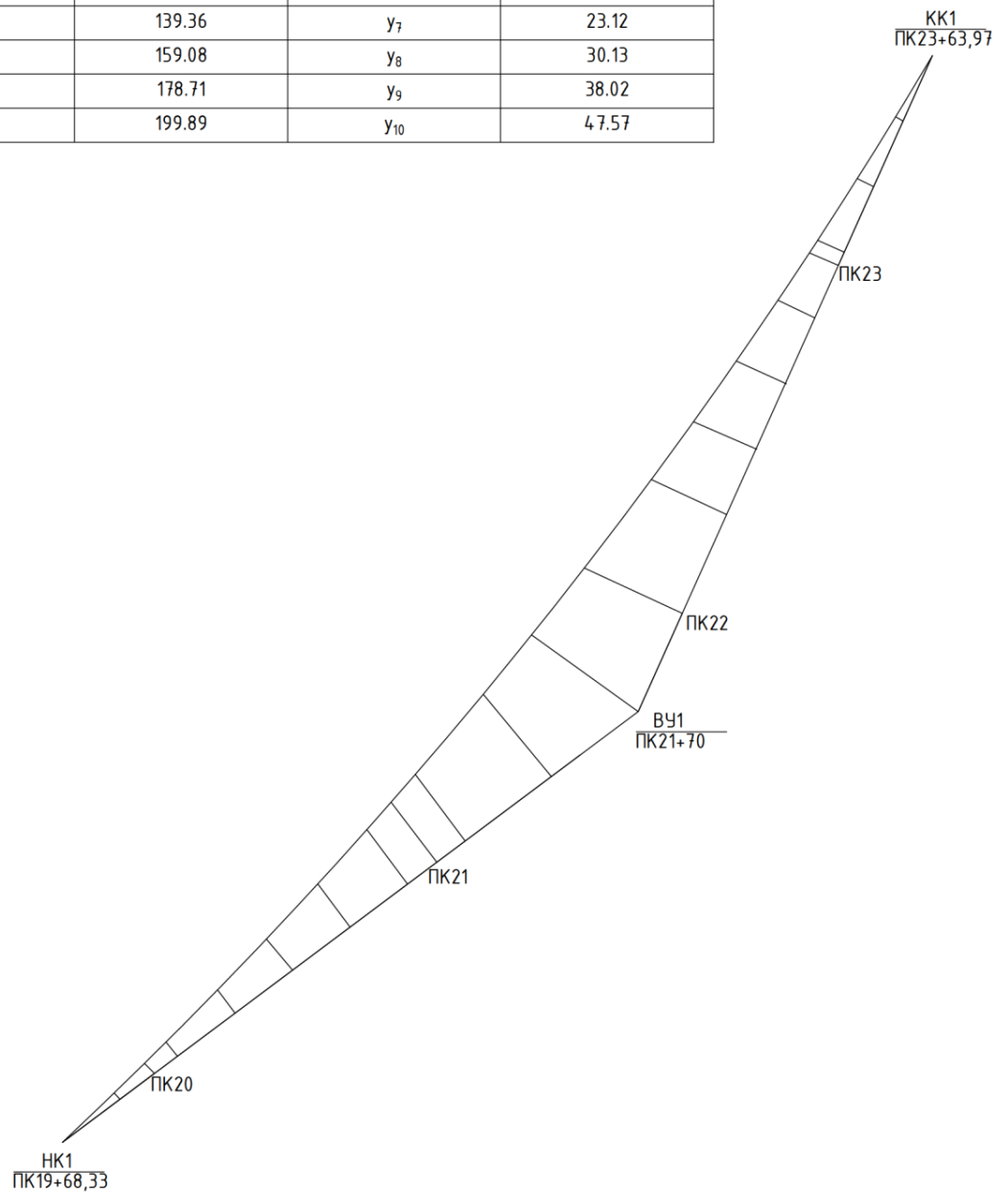
x_1	2.02	y_1	0.02
x_2	3.98	y_2	0.07
x_3	6.00	y_3	0.15
x_4	8.03	y_4	0.27
x_5	9.98	y_5	0.42
x_6	12.00	y_6	0.60
x_7	14.02	y_7	0.82
x_8	16.74	y_8	1.17

Масштаб 1:500

Рис. 8. Определение Детальная разбивка горизонтальной кривой 3 трасса 1

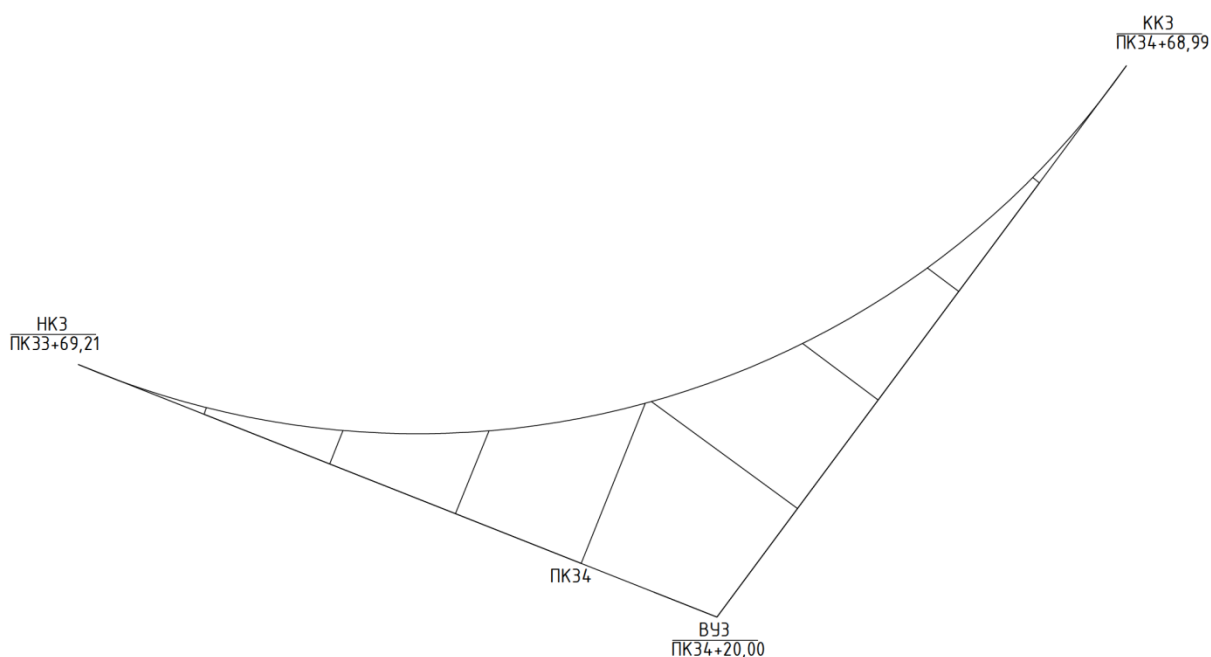
R=840

x ₁	20.03	y ₁	0.48
x ₂	40.06	y ₂	3.82
x ₃	60.06	y ₃	4.29
x ₄	80.62	y ₄	7.62
x ₅	99.70	y ₅	11.83
x ₆	119.57	y ₆	17.02
x ₇	139.36	y ₇	23.12
x ₈	159.08	y ₈	30.13
x ₉	178.71	y ₉	38.02
x ₁₀	199.89	y ₁₀	47.57



Масштаб 1:2000

Рис. 9. Определение Детальная разбивка горизонтальной кривой 1 трасса 2



$R=220$

x_1	9.98	y_1	0.45
x_2	20.00	y_2	1.82
x_3	29.92	y_3	4.07
x_4	39.78	y_4	7.19
x_5	49.61	y_5	11.19

Масштаб 1:500 . .

Рис. 10. Определение Детальная разбивка горизонтальной кривой 3
трасса 2

4. Построение продольного профиля трассы

Исходными данными для построения продольного профиля трассы являются топографическая карта и ведомость прямых и кривых. Продольный профиль строится на миллиметровой бумаге. Горизонтальный масштаб продольного профиля – 1:5000, вертикальный – 1:500.

Построение начинают с вычерчивания сетки профиля. Необходимо проследить, чтобы первая вертикальная линия профиля была проведена на

сантиметровом делении миллиметровой бумаги. Заполнение граф сетки выполняют в следующей последовательности.

Заполняем графу «Расстояние». Для этого в масштабе 1:5000 откладываются отрезки, соответствующие расстояниям между пикетами. В нашем случае, так как расстояния между пикетами – 100 м, то откладываются отрезки по 2 см. Они отмечаются вертикальными линиями, названия пикетов подписываются в графе «Пикеты» ниже строки «Расстояния». С помощью циркуля-измерителя измеряют расстояние между смежными горизонталями. Полученные значения в миллиметрах переводят по масштабу в метры и заносят в графу «Расстояния». Каждое значение отделяется вертикальной чертой.

Заполняют графу «Отметки» в «Фактических данных». Для этого по топографической карте, зная сечение горизонталей, определяют высотное положение каждой точки трассы.

Заполняют графу «План трассы». Горизонтальная линия, проходящая посередине графы, соответствует спрямленной трассе. На трассе стрелками вправо и влево показывают вершины углов поворота. Вершины углов поворота располагают по пикетажному значению середины соответствующих кривых. Стрелки указывают изменение направления трассы (поворот вправо или влево). Подписываются названия вершин углов поворота.

Для построения самого профиля трассы выбирают основание профиля или линию условного горизонта. От самой низкой точки профиля отнимают 50 метров и округляют в меньшую сторону кратную 10. Таким образом самая низкая точка продольного профиля располагается над линией условного горизонта не ближе 4 см от верхней линии плана трассы. Для построения профиля, соответствующему положению каждого пикета и отметки, в этих точках восстанавливают перпендикуляры от линии условного горизонта. Соединив верхние точки, отложенных отрезков прямыми линиями, получают фактический профиль трассы.

Теперь необходимо построить проектные линии. *Проектная линия* – это линия на профиле местности, соединяющая точки, расположенные в местах, соответствующих плановому и высотному положению характерных точек сооружения (точки изменения проектного уклона). Построение проектной линии выполняют с учетом технических и экономических требований. Значения проектных отметок записывают в графу «Отметки» в «Проектных данных» сетки продольного профиля. Соединяют проектные отметки и получают проектную линию.

По проектным отметкам рассчитывают уклоны по формуле:

$$i = \frac{H_{\text{зад}} - H_{\text{пер}}}{d}, \quad (27)$$

где i – проектный уклон; $H_{пер}$ – проектная отметка начала участка проектной линии; $H_{зад}$ – проектная отметка конца участка проектной линии; d – горизонтальное проложение участка проектной линии табл. 5,6.

Таблица 5

Расчет проектных уклонов для трассы №1

$H_{перед}, м$	$H_{зад}, м$	Проложение $d, м$	Проектный уклон i
112,50	116,88	500	0,0088
116,88	122,14	1300	0,004
122,14	109,42	800	-0,0159
109,42	107,50	1360	-0,0014

Таблица 6

Расчет проектных уклонов для трассы №2

$H_{перед}, м$	$H_{зад}, м$	Проложение $d, м$	Проектный уклон i
112,50	117,14	400	0,0116
117,14	126,25	1500	0,0061
126,25	125,50	900	-0,0008
125,50	109,34	700	-0,0231
109,34	107,50	530	-0,0035

Результаты расчета проектных уклонов и горизонтальные проложения заносим в графу «Уклоны» в «Проектные данные» продольного профиля следующим образом:

- в местах, соответствующих плановому положению характерных точек проектной линии прочерчивают вертикальные линии;
- между вертикальными линиями по диагонали проводятся прямые линии, наклон которых соответствует направлению проектного уклона на данном участке проектной линии, если уклон равен 0, то проводится горизонтальная линия;
- над линиями подписывают значения вычисленных проектных уклонов в тысячных долях без учета знака.
- под линиями подписывают расстояния между начальной и конечной отметками заданного уклона.

Теперь рассчитывают проектные отметки всех точек продольного профиля по формуле:

$$H_{пер} = H_{зад} + i \cdot d, \quad (28)$$

где $H_{пер}$ – проектная отметка искомой точки; $H_{зад}$ – проектная отметка начальной точки участка проектной линии с проектным уклоном; i –

проектный уклон между начальной и конечной точкой; d – горизонтальное проложение от начальной точки участка до конечной точки.

Вычисленные проектные отметки всех точек продольного профиля записывают в графу «Отметки» в «Проектные данные».

Теперь необходимо вычислить рабочие отметки. *Рабочая отметка* – это разность между проектной отметкой H_{np} и фактической отметкой $H_{ф}$, показывающая глубину выемки или высоту насыпи таблицы 7,8.

$$h_{раб} = H_{np} - H_{ф}. \quad (29)$$

Таблица 7

Расчет рабочих отметок трассы № 1

$H_0, м$	Уклон i	Проложение d	$H_{проектная}$	$H_{фактическая}$	Раб. отметка h , $м$
1	2	3	4	5	6
112,50	0,0088	0	112,50	112,50	0,00
112,50	0,0088	100	113,38	122,11	1,27
112,50	0,0088	200	114,26	111,63	2,63
112,50	0,0088	300	115,14	114,04	1,10
112,50	0,0088	400	116,02	115,00	1,02
116,88	0,004	500	116,88	166,88	0,00
116,88	0,004	100	117,28	199,58	-2,30
116,88	0,004	300	117,68	121,43	-3,75
116,88	0,004	400	118,08	123,13	-5,05
116,88	0,004	500	118,48	124,29	-5,81
116,88	0,004	600	118,88	125,08	-6,20
116,88	0,004	700	119,28	124,58	-5,30
116,88	0,004	800	119,68	125,00	-5,32
116,88	0,004	900	120,08	125,00	-4,92
116,88	0,004	1000	120,48	124,38	-3,90
116,88	0,004	1100	120,88	123,75	-2,87
116,88	0,004	1200	121,28	122,14	-0,86
116,88	0,004	1300	121,68	121,50	0,18
122,14	-0,0159	0	122,14	122,14	0,00
122,14	-0,0159	100	120,55	120,63	0,08
122,14	-0,0159	200	118,96	121,50	-2,54

Н ₀ , м	Уклон i	Проложение d	Н _{проектная}	Н _{фактическая}	Раб. отметка h, м
1	2	3	4	5	6
122,14	-0,0159	300	117,37	121,67	-4,30
122,14	-0,0159	400	115,78	121,39	-5,61
122,14	-0,0159	500	114,19	120,04	-5,85
122,14	-0,0159	600	112,60	116,25	-3,65
122,14	-0,0159	700	111,01	111,25	0,24
122,14	-0,0159	800	109,42	109,42	0,00
109,42	-0,0014	100	109,28	108,57	0,71
109,42	-0,0014	200	109,14	108,29	0,85
109,42	-0,0014	300	109,00	108,08	0,92
109,42	-0,0014	400	108,86	108,63	0,23
109,42	-0,0014	500	108,72	108,85	-0,13
109,42	-0,0014	600	108,58	108,25	0,33
109,42	-0,0014	700	108,44	108,27	0,17
109,42	-0,0014	800	108,30	108,68	-0,38
109,42	-0,0014	900	108,16	108,70	-0,54
109,42	-0,0014	1000	108,02	108,82	-0,80
109,42	-0,0014	1100	107,88	108,47	-0,59
109,42	-0,0014	1200	107,74	108,33	-0,59
109,42	-0,0014	1300	107,60	108,23	-0,63
109,42	-0,0014	1360	107,50	107,50	0,00

Расчет рабочих отметок трассы № 2

Н ₀ , м	Уклон i	Проложение d	Н _{проектная}	Н _{фактическая}	Раб. отметка h, м
1	2	3	4	5	6
112,50	0,0116	0	112,50	112,50	0,00
112,50	0,0116	100	113,66	111,86	1,80
112,50	0,0116	200	114,82	112,25	2,57
112,50	0,0116	300	115,98	112,38	3,60
112,50	0,0116	400	117,14	117,14	0,00
117,14	0,0061	100	117,75	117,86	-0,11
117,14	0,0061	200	118,36	121,25	-2,89
117,14	0,0061	300	118,97	123,13	-4,16
117,14	0,0061	400	119,58	123,50	-3,92
117,14	0,0061	500	120,19	125,84	-5,65
117,14	0,0061	600	120,80	126,88	-6,08
117,14	0,0061	700	121,41	127,81	-6,40
117,14	0,0061	800	122,02	129,00	-6,98
117,14	0,0061	900	122,63	129,08	-6,45
117,14	0,0061	1000	123,24	129,00	-5,76
117,14	0,0061	1100	123,85	127,50	-3,65
117,14	0,0061	1200	124,46	127,00	-2,54
117,14	0,0061	1300	125,07	126,85	-1,78
117,14	0,0061	1400	125,68	127,00	-1,32
117,14	0,0061	1500	126,25	126,25	0,00
126,25	-0,0008	100	126,17	128,75	-2,58
126,25	-0,0008	200	126,09	130,10	-4,01
126,25	-0,0008	300	126,01	130,00	-,99
126,25	-0,0008	400	125,93	130,75	-4,82
126,25	-0,0008	500	125,85	130,71	-4,86
126,25	-0,0008	600	125,77	132,50	-6,73
126,25	-0,0008	700	125,69	132,19	-6,50
126,25	-0,0008	800	125,61	130,94	-5,33

Окончание табл. 8

$H_0, \text{м}$	Уклон i	Проложение d	$H_{\text{проектная}}$	$H_{\text{фактическая}}$	Раб. отметка $h, \text{м}$
1	2	3	4	5	6
126,25	-0,0008	900	125,50	125,50	0,00
125,50	-0,0231	100	123,19	121,88	1,31
125,50	-0,0231	200	120,88	119,50	1,38
125,50	-0,0231	300	118,57	116,56	2,01
125,50	-0,0231	400	116,26	113,06	3,20
125,50	-0,0231	500	113,95	110,00	3,95
125,50	-0,0231	600	111,64	109,58	2,06
125,50	-0,0231	700	109,34	109,34	0,00
109,34	-0,0035	100	108,99	109,07	-0,08
109,34	-0,0035	200	108,64	109,03	-0,39
109,34	-0,0035	300	108,29	108,28	0,01
109,34	-0,0035	400	107,94	108,57	0,63
109,34	-0,0035	500	107,59	108,13	0,54
109,34	-0,0035	530	107,50	107,50	0,00

Положительные рабочие отметки подписывают над линией продольного профиля. Отрицательные рабочие отметки подписывают под линией продольного профиля. Также есть так называемые точки нулевых работ – это точки пересечения проектного профиля с фактическим профилем. Такие точки подписываются над линией продольного профиля.

Пользуясь ведомостью прямых и кривых, заполняем графу «План прямых и кривых». Точки начала и конца кривой располагаются в соответствии с их пикетажными значениями. Кривая обозначается дугой вверх, если трасса поворачивает вправо, дугой вниз, если – влево. Для каждой кривой выписываются ее элементы, угол поворота, радиус, тангенс, длина кривой, домер и биссектриса. Из точек начала и конца кривых восстанавливают перпендикуляры до графы «Пикеты». Слева и справа на полученных линиях записывают их плюсовое значение (расстояние от предыдущего пикета). Значения дирекционных углов и длин прямых вставок берутся из ведомости прямых и кривых и записывают соответственно над линией трассы и под линией.

5. Разбивка вертикальных кривых

При проектировании трассы переломы продольного профиля сопрягают вертикальными круговыми кривыми. Это необходимо для того, чтобы обеспечить видимость для встречных автомобилей.

На трассах автомобильных дорог проектируемый радиус зависит от категории дороги и от характера сопрягаемых уклонов. Но по данному техническому заданию главными условиями являются – кратность радиуса 100 м и значение тангенса T не менее 20 м.

По техническому заданию трасса автодороги должна содержать как минимум 2 вертикальных кривых.

Для разбивки вертикальной кривой необходимо рассчитать следующие элементы:

- Радиус кривизны. Он берется в соответствии с техническим заданием;
- Тангенс вертикальной кривой T . Тангенс вертикальной кривой рассчитывается по формуле:

$$T = R \cdot \frac{i_1 - i_2}{2}; \quad (30)$$

где i_1 – проектный уклон одной проектной линии; i_2 – проектный уклон другой проектной линии. От вершины вертикальной кривой откладываем тангенсы, таким образом, мы получаем начало кривой ($НК$) и коней кривой ($КК$). R – радиус вертикальной кривой.

- K - длина вертикальной кривой рассчитывают по формуле:

$$K = R \cdot (i_1 - i_2); \quad (31)$$

где i_1 – проектный уклон одной проектной линии; i_2 – проектный уклон другой проектной линии. R – радиус вертикальной кривой.

- B - биссектриса вертикальной кривой рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{T^2}{2R}; \quad (32)$$

где T – тангенс вертикальной кривой. B - биссектриса вертикальной кривой.

После вычисления элементов вертикальных кривых по приведенным формулам, с использованием инженерного калькулятора, будем иметь следующие значения таблицы 9,10:

Таблица 9

Расчет вертикальных кривых для трассы №1

R	T	K	B
10000	24	48	0,03
5000	36,25	72,50	0,13

Таблица 10

Расчет вертикальных кривых для трассы №2

R	T	K	B
8000	22	44	0,03
2000	22,3	44,6	0,12

После расчета всех элементов вертикальной кривой, выносим их на продольный профиль (рис. 11). Перпендикулярными линиями отмечаем начало (НК) и конец (КК) вертикальных кривых, подписываем их пикетажное значение. Значение радиуса, тангенса, кривой и биссектрисы записываем над вершиной вертикальной кривой.

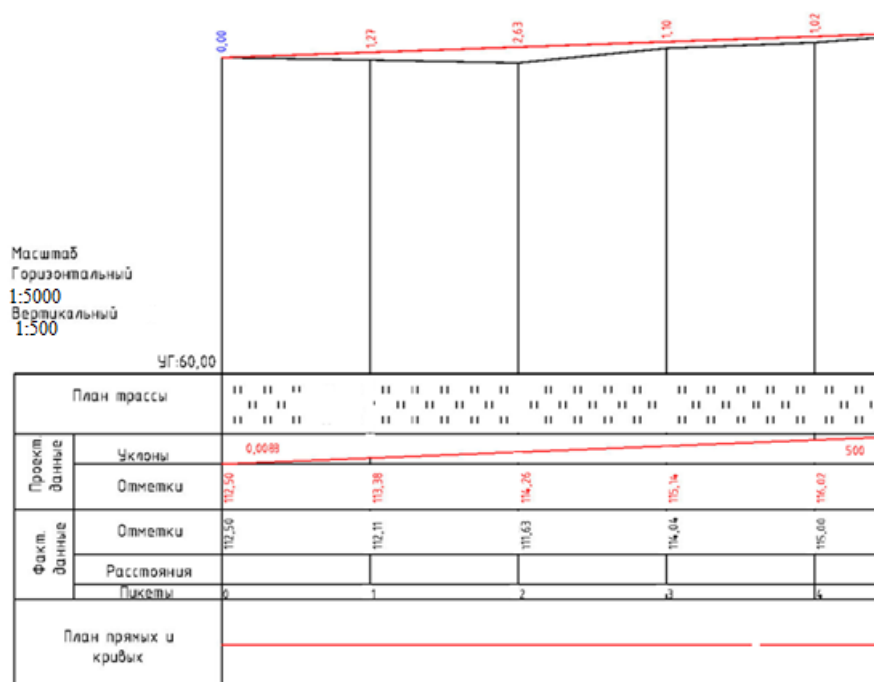


Рис. 11. Продольный профиль трассы автодороги

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986-56с.
2. ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд». – М.: Транспорт. 2000-157с.
3. Проектирование и разбивка вертикальных кривых на автомобильных дорогах. Антонов Н. М., Боровков Н. А., Бычков Н. Н., Фриц Ю. Н. М.: Транспорт, 1986.
4. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. Бабков В. Ф. М.: Транспорт, 1980.
5. Проектирование автомобильных дорог. Бабков В. Ф., Андреев О. В. М.: Транспорт, 1980.

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к выполнению курсовой работы для бакалавров, обучающихся по
направлению подготовки 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»
(профиль «Геодезия») всех форм обучения*

Составители:

Харитоновна Тамара Борисовна

Нестеренко Ирина Васильевна

Отпечатано в авторской редакции

Подписано к изданию 06.06.2022.

Уч.-изд. л. 1,7

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84