Министерство образования и науки Российской Федерации

Московский государственный университет
геодезии и картографии

В.В. Калугин, Е.Ю. Маркелова

КАМЕРАЛЬНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ по курсу «Технология строительства»

Москва
2018

Рецензенты:
кандидат техн. наук **В.Д. Фельдман** (ООО «ТЕКТОПЛАН»);
доцент, кандидат техн. наук **В.Н. Найденко** (МИИГАиК)

В.В. Калугин, Е.Ю. Маркелова.
Камеральное трассирование и проектирование автомобильной дороги: методические указания к выполнению контрольной работы по курсу «Технология строительства» — М.: МИИГАиК, 2018. — 58 с.

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам очного и заочного отделений специальностей «прикладная геодезия», выполняющим расчетно-графическую работу по камеральному трассированию и проектированию автодороги, и содержат все необходимые исходные данные и нормативные требования для успешного ее выполнения.

Состоят из трех разделов, в первом из которых приведены общие сведения об автомобильных дорогах, требования и технические условия их проектирования. Приводимая информация позволяет ознакомить студентов с принципами и методами изыскательских и проектных работ при подготовке к строительству трасс линейных транспортных сооружений. Второй раздел содержит описание последовательности выполнения лабораторной работы, рекомендации по оформлению и представлению проектных документов. Приведен перечень нормативной и специальной технической литературы, изучение которой может быть полезно при выполнении данной рассчетно-графической работы.

Представленная информация и полученные студентами навыки проектирования являются необходимыми для выполнения второй части работы, связанной с разработкой проектов линейных сооружений с использованием программных комплексов автоматизированного проектирования.

Для студентов 3 курса специальности 21.05.01 – Прикладная геодезия.

Электронная версия методических указаний размещена на сайте библиотеки МИИГАиК http://library.miigaik.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ 6
   1.1. Общие положения 6
   1.2. Характеристика района 7
   1.3. Классификация автомобильных дорог 8
   1.4. Основные элементы трассы и проекта автомобильной дороги 9
   1.5. Принципы проектирования 16

2. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТА АВТОДОРОГИ 20
   2.1. Исходные данные и состав задания 20
   2.2. Физико-географические условия района 21
   2.3. Выбор положения трассы 22
   2.4. Расчет элементов кривых 22
   2.5. Разбивка пикетажа 28
   2.6. Условия проектирования продольного профиля 30
   2.7. Последовательность проектирования продольного профиля 32
   2.8. Проектирование кюветов 40

3. ОЦЕНКА ВАРИАНТА ПРОЕКТА ТРАССЫ 42
   3.1. Основные показатели трассы 42
   3.2. Расчет объемов земляных работ 43
   3.3. Полевое трассирование 48
   3.4. Обеспечение требований охраны окружающей среды при проектировании 48
   3.5. Основы автоматизированного проектирования автодорог 50
   3.6. Краткое описание автоматизированной системы проектирования CREDO 51
   3.7. Проектирование земляного полотна 55
   3.8. Проектирование продольного и поперечного профилей 55

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 57

ВВЕДЕНИЕ

Линейные сооружения (железные и автомобильные дороги, каналы, трубопроводы и кабельные сети, линии электропередач, связи и пр.) являются объектами массового строительства, все этапы создания которых (изыскания, проектирование и возведение) сопровождаются и обеспечиваются комплексом инженерно-геодезических работ. Существенной является роль геодезических измерений при реконструкции транспортных коммуникаций, при проведении геотехнического мониторинга самих сооружений, вспомогательных обслуживающих их объектов инфраструктуры и эксплуатируемой территории.

Инженерно-геодезические изыскания и последующее строительное проектирование трасс выполняется по утвержденным в ОИС (Обоснование инвестиций в строительство) направлениям в две или одну стадии в зависимости от типа линейного сооружения [10]:

- ***на стадии проекта (рабочего проекта)*** проводится камеральное трассирование вариантов трассы с последующим полевым обследованием намеченных вариантов и, при необходимости, с полевым трассированием; в ходе этих работ из нескольких конкурирующих вариантов выбирается оптимальное положение трассы, устанавливаются технические параметры основных сооружений и стоимость строительства;
- ***на стадии рабочей документации*** проводится уточнение всех конструктивных решений и технических параметров, выполняется полевое трассирование с разбивкой и закреплением на местности всех элементов трассы и съемка полосы вдоль трассы для установления ее окончательного положения.

Одна их этих задач и решается в настоящей рассчетно-графической работе. Студенту предлагается выполнить камеральное

трассирование и проектирование автомобильной дороги установленной категории между заданными пунктами начала и конца трассы по карте М 1 : 25 000.

В связи с тем, что на этой стадии проектирования осуществляется выбор одного из вариантов, критерии оптимальности которого чаще всего представляются в виде минимума затрат на строительство и эксплуатацию, в работе приведена также методика оценки проектов дорог по различным группам показателей, включая объемно-строительные.

Пояснительная и расчетно-графическая часть проекта должны быть выполнены на листах формата А4, а основная проектная документация – в соответствии с требованиями настоящих Указаний. Представляется полезным рекомендовать студентам перед выполнением данной лабораторной работы ознакомиться с порядком и методами геодезического обеспечения изысканий и проектирования линейных сооружений [1, 2, 6, 9, 12].

1. УСЛОВИЯ И ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

1.1. Общие положения

Положение геометрической оси дороги на местности или ее изображение на карте называется *трассой*, а процесс трассирования может быть определен как комплекс изыскательских работ по выбору оптимального положения оси линейного сооружения, отвечающего требованиям технических условий. При выполнении этой задачи на топографических картах, инженерных цифровых моделях рельефа или аэрофотоматериалах трассирование носит название камерального, при инструментальной укладке оси сооружения и ее закреплении на местности – *полевого*.

Основной целью камерального трассирования является поиск различных вариантов трассы для их сравнительной оценки по основным показателям.

На положение трассы влияет целый ряд факторов экономического и социального характера, а также природные условия района строительства (рельеф, гидрография, геологические и гидрогеологические особенности, климат, наличие местных строительных материалов).

Основным ориентирным направлением для выбора варианта трассы является прямая, соединяющая *опорные пункты* трассы (населенные пункты, пассажирские и грузовые терминалы и др.), прохождение дороги через которые устанавливается техническим заданием. Кроме этого, в ходе сбора и анализа топографической и другой информации о районе могут быть установлены *фиксированные точки*, определяющие целесообразное положение трассы по условиям: пересечения или обхода различных препятствий (седла на водоразделах, оси мостовых переходов, населенные пункты, озера и заболоченные участки и др.), рельефа или геологии местности. Выбор различных фиксированных точек дает возможность разработать несколько вариантов трассы (рис. 1.1).

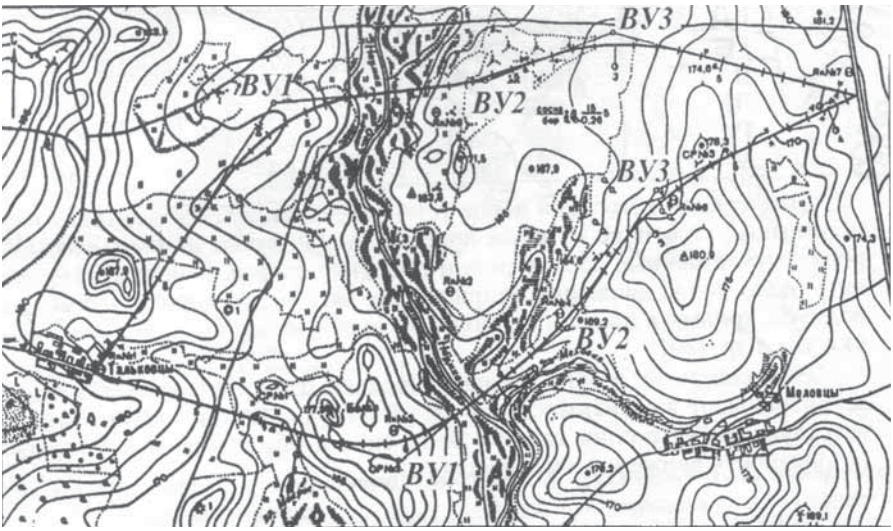


Рис. 1.1. Варианты проложения трассы дороги в плане

1.2. Характеристика района

Природные условия района строительства во многом определяют объем и назначение инженерных изысканий и характеризуются комплексом природно-климатических факторов с учетом деления территории России и стран СНГ на дорожно-климатические зоны.

Особенности инженерно-геологических условий, от которых зависят трудоемкость строительства, устойчивость и долговечность земляного полотна и искусственных сооружений на дорогах, определяются типом местности по условиям увлажнения верхней толщи грунтов и характеру поверхностного стока, свойствам и условиям залегания грунтов. Детальный анализ природных условий как в подготовительный период, так и при производстве изысканий, в значительной степени повышает качество проектных решений и способствует уменьшению стоимости строительства.

1.3. Классификация автомобильных дорог

Сеть автомобильных дорог является одним из основных факторов, определяющих степень развития данной территории, и обеспечивает административные, хозяйственные и культурные связи между регионами, экономическими районами и отдельными населенными пунктами и предприятиями. В зависимости от хозяйственного и административного значения все автомобильные дороги делятся на пять категорий, опорным показателем которых является *расчетная интенсивность движения* – количество транспортных средств, проходящих по дороге за сутки (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Категория дороги	Интенсивность: приведенных ед. ед./сутки	Расчетные скорости, км/ч	
		основная	на трудных участках
I А	Более 14000	150	120
I Б	Более 14000	120	100
I В	Более 14000	100	80
II	Более 6000	120	100
III	2000–6000	100	80
IV	200–2000	80	60
V	До 200	60	40

Для каждой категории дорог установлены определенные технические нормативы, на основе которых проектируют и строят автомобильные дороги, искусственные сооружения и объекты сервиса. К нормативам относят: число полос движения, ширину проезжей части дороги, наименьшие радиусы кривых в плане и продольном профиле, наибольшие продольные уклоны и др. [9].

Все элементы дороги в плане, продольном и поперечном профилях устанавливают в зависимости от расчетной скорости движения для соответствующей категории трассы. Этим самым обеспечивается удобство и безопасность движения автотранспорта.

1.4. Основные элементы трассы и проекта автомобильной дороги

Поскольку трасса при обходе препятствий, на подъемах на холмы и спусках в понижения местности меняет свое направление в плане и по высоте, она проектируется как пространственная плавная линия с взаимной увязкой элементов плана, продольного и поперечного профилей и окружающего ландшафта (рис. 1.2, *а*).

План трассы автомобильной дороги (рис. 1.2, *б*), особенно для I и II категорий, проектируют с минимальной протяженностью прямых вставок как сочетание дуг окружности с радиоидальными спиралями – клотоидами (клотоидная трасса) или как кривые с непрерывно изменяющейся кривизной, аппроксимируемые кубическими полиномами-сплайнами [2].

На местных автодорогах трасса формируется прямыми участками и дугами окружности между ними. Каждое изменение направления трассы определяется *углом поворота*, который измеряют между продолжением предыдущего прямого участка трассы и новым ее направлением. Углы поворота последовательно нумеруют вдоль дороги – по ходу трассы.

Различают следующие геометрические элементы углов поворота (рис. 1.3): угол θ, радиус R, тангенс Т, кривую К, домер Д и биссектрису Б, которые могут быть найдены по специальным таблицам кривых [7] или вычислены по формулам:

$$\text{Т}=R\operatorname{tg}\frac{\theta}{2};\ \ \text{К}=\frac{\pi R\theta}{180^{\circ}};\ \ \text{Д}=2\text{Т}-\text{К};\ \ \text{Б}=R\left(\sec\frac{\theta}{2}-1\right). \qquad (1.1)$$

Назначение основного параметра круговой кривой – ее радиуса – определяется расчетной скоростью транспорта, т.е. категорией дороги, и наряду с другими параметрами плана и продольного профиля нормируются (табл. 1.2).

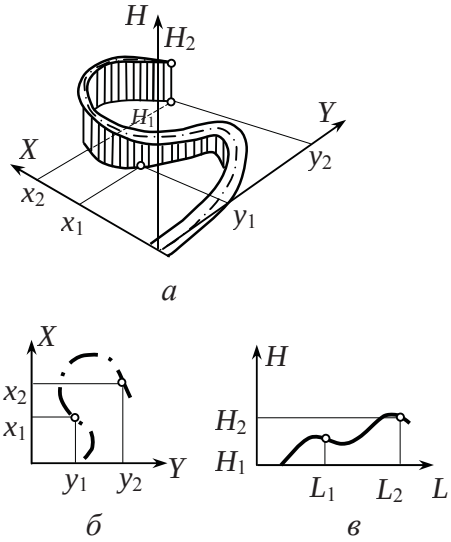


Рис. 1.2. Ось дороги как пространственная кривая:
а – вид полотна дороги в аксонометрии; *б* – план дороги; *в* – продольный профиль

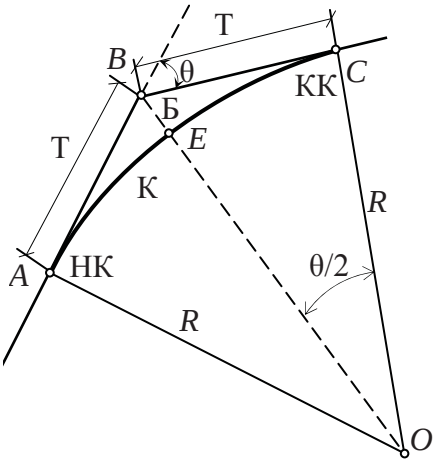


Рис. 1.3. Элементы угла поворота:
θ – угол; *B* – вершина угла; *A* – точка начала круговой кривой (НК); *C* – точка конца кривой (КК); *E* - середина кривой; Б – биссектриса; *R* – радиус; К – кривая; Т – тангенс

Таблица 1.2

Параметры	Расчетная скорость, км/ч							
	150	120	100	80	60	50	40	30
Наименьшие радиусы кривых, м:								
– в плане (основные)	1200	800	600	300	150	100	60	30
– в горной местности	1000	600	400	250	125	100	60	30
– в профиле (выпуклых)	30000	15000	10000	5000	2500	1500	1000	600
– в профиле (вогнутых)	8000	5000	3000	2000	2000	1200	1000	600
Наибольшие продольные уклоны, ‰	30	40	50	60	70	80	90	100
Ширина земляного полотна, м	28-43	28-43	15	12	10	8	-	-
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,5	3	3	4,5*	4,5*	-
Поперечный уклон, ‰	15-25	В зависимости от дорожно-климатической зоны						

*ширина проезжей части

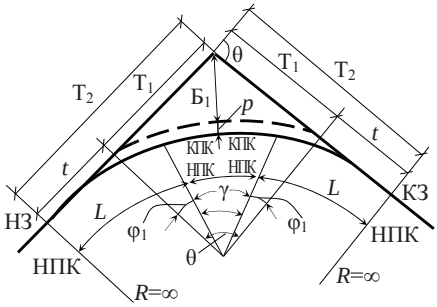


Рис. 1.4. Схема закругления с переходными кривыми и круговой вставкой

С уменьшением радиуса круговой кривой в плане возрастает воздействие на автомобиль центробежной силы. В целях безопасности движения на кривых и обеспечения постепенного нарастания центробежного ускорения на въезде на криволинейный участок устраивают переходную кривую, которая представляет собой кривую переменного радиуса, в пределах которой кривизна оси дороги плавно изменяется от нуля на прямом участке до $1/R$ в начальной точке круговой кривой (рис. 1.4).

Длина переходной кривой при принятом значении центробежного ускорения $J = 0{,}8$ м/с^{3}определяется по формуле:

$$l_{\text{ПК}} = \frac{V^3}{47RJ}, \qquad (1.2)$$

где V – расчетная скорость движения, км/ч; R – радиус круговой кривой.

Переходные кривые устраивают на дорогах всех категорий на кривых с радиусами менее 2000 м. Рекомендуется длины переходных кривых назначать по табл. 1.3 в соответствии с указаниями СП [9].

Таблица 1.3

Радиус круговой кривой, м	30	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	600–1000	1000–2000
Длина переходной кривой, м	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120	100

При вставке переходной кривой круговая кривая К укорачивается с каждого из концов на половину длины переходной кривой и угол поворота θ уменьшается на величину $2\varphi_l$. Кроме того, оставшаяся часть круговой кривой смещается к центру на вели-

чину p, называемую сдвижкой. Указанные параметры переходной кривой рассчитываются по формулам:

$$\varphi_l = \frac{l}{2R}\rho; \quad p = \frac{l^2}{24R}. \tag{1.3}$$

Так как переходные кривые уменьшают угол поворота трассы на величину $2\varphi_l$, устройство переходных кривых возможно только при условии, что $\theta > 2\varphi_l$, или К $\geq l$ (на практике это требование устанавливается в виде: К $\geq 1 + 10$ м).

Расстояние t между началом переходной кривой и началом несдвинутой круговой кривой, называемой дополнением к тангенсу, находят из выражения:

$$t = \frac{l}{2}\left(1 - \frac{l^2}{30l^2} + \ldots\right) \approx \frac{l}{2}. \tag{1.4}$$

После вставки переходной кривой параметры круговой кривой – центральный угол γ и сокращенная круговая кривая $К_0$ определяется так:

$$\gamma = \theta - 2\varphi_l; \quad К_0 = \frac{\pi R\gamma}{180^\circ}. \tag{1.5}$$

Следует заметить, что поворот трассы по круговой кривой со вставками из сглаживающих переходных кривых носит название закругления.

Необходимые вычисления элементов закругления, используемые при дальнейшем проектировании трассы, определяют по формулам:

полная длина тангенса: $Т_П = Т + t$;

полная длина закругления: $К_П = К_0 + 2l$;

домер закругления: $Д_П = 2Т_П - К_П$;

полная длина биссектрисы: $Б_П = Б_0 + p$.

В пределах переходных кривых на автодорогах осуществляется *отгон виража* – преобразование двускатного поперечного профиля в односкатный.

Вся трасса в плане координируется в единой системе по величине отстояния от начала – производится ее пикетаж, т.е. разбивка на отрезки, кратные 100 м.

Продольный профиль дороги (см. рис. 1.2, *в*) представляет собой развернутую в плоскости чертежа проекцию оси дороги на вертикальную плоскость. Продольный профиль характеризует крутизну отдельных участков дороги, измеряемую продольным уклоном, и расположение ее проезжей части относительно поверхности земли. Продольный уклон является важнейшей характеристикой транспортных качеств автомобильной дороги и устанавливается в зависимости от ее категории (см. табл. 1.2).

С целью обеспечения заданных продольных уклонов полотна дороги в пересеченной местности устраиваются выемки и насыпи. При высоте насыпей менее 1 м принято считать, что дорога проходит в «нулевых» отметках. Из-за устройства насыпей и выемок отметки дороги не совпадают с отметками поверхности земли. Пример продольного профиля участка дороги, пересекающего тальвег, показан на рис. 1.5, где участок *I* выполнен в «нулевых» отметках, *II* – в насыпи, *III* – в выемке. Соответствующие цифровые показа-

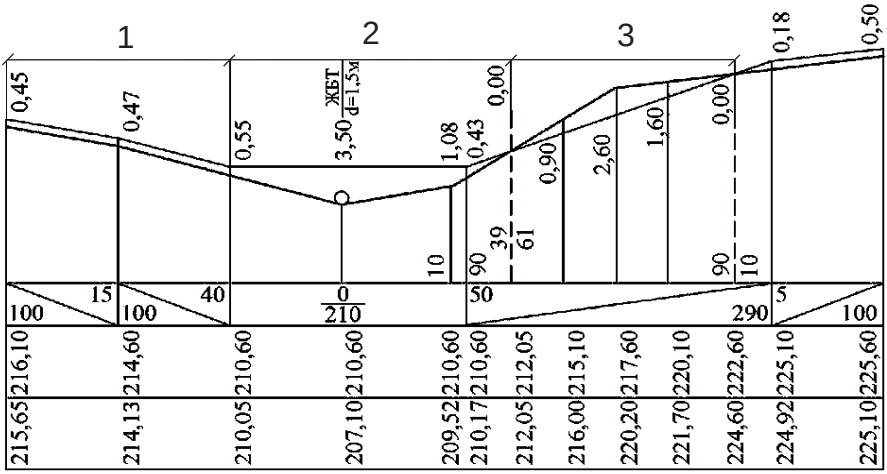


Рис. 1.5. Расположение дороги в продольном профиле:
I – дорога в «нулевых» отметках; *II* – в насыпи; *III* – в выемке

тели отрезков и точек перелома профиля дороги (уклоны и длины отрезков, отметки поверхности земли и проектные отметки полотна дороги) приводятся под профилем в форме специальной таблицы – *профильной сетки*.

Для обеспечения видимости на переломах продольного профиля в выпуклых местах дороги и уменьшения динамических нагрузок на вогнутых переломах участки продольного профиля сопрягаются вертикальными кривыми, рекомендуемые радиусы которых для обоих видов перелома профиля были приведены ранее в табл. 1.2. Сопряжения кривизны производятся при алгебраической разнице уклонов смежных участков 5‰ и более на дорогах I и II категорий, 10‰ и более на дорогах III категории и 20‰ и более на дорогах IV и V категорий.

Графическое изображение продольного профиля является одним из основных проектных документов, по которому ведется оценка варианта, вычисление объемов земляных работ и стоимости, а на стадии рабочей документации – строительство дороги.

Поперечным профилем называется изображение сечения дороги вертикальной плоскостью, проведенной перпендикулярно к оси автомобильной дороги (рис. 1.6). Составными частями поперечного профиля является конструкция земляного полотна совместно с системой водоотвода и дорожная одежда. Участок местности, выделенный для расположения на нем дороги, разработки грунта, предназначенного для отсыпки насыпей, размещения искусственных сооружений, средств оформления, защитных насаждений, называют *полосой отвода.*

Поперечный профиль дороги может быть двускатным и односкатным. Поперечные уклоны проезжей части (кроме участков кривых в плане, на которых предусматривается устройство виражей) назначают в зависимости от числа полос движения и климатических условий в пределах от 15 до 25‰. Поперечные уклоны на виражах зависят от радиусов кривых в плане и достигают 60‰.

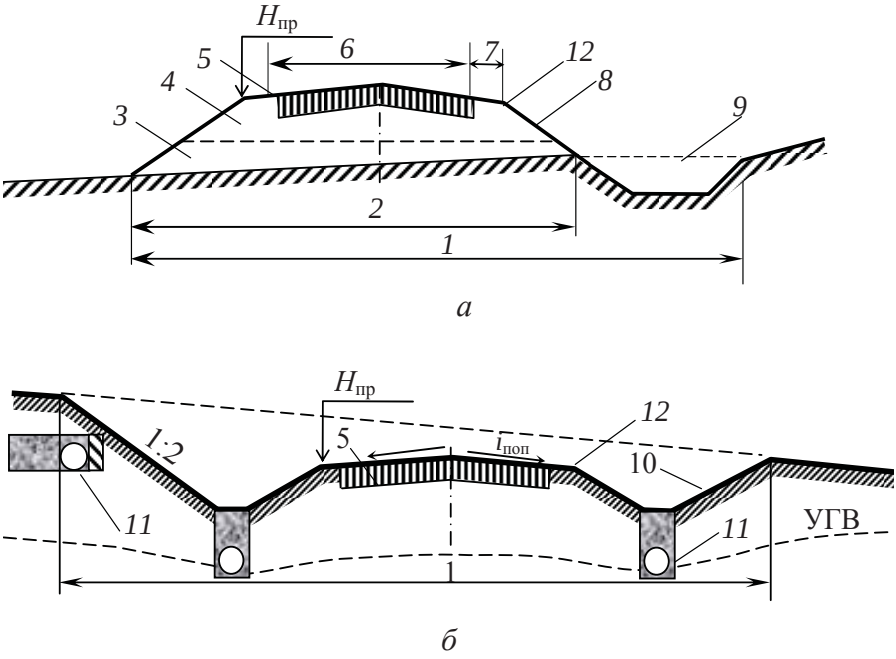


Рис. 1.6. Основные элементы трассы:

а – в насыпи; *б* – в выемке; *1* – земляное полотно; *2* – основание насыпи; *3* – тело насыпи; *4* – верхняя часть земляного полотна (рабочий слой); *5* – дорожная одежда; *6* – проезжая часть; *7* – обочина; *8* – откосная часть насыпи; *9* – боковая водоотводная канава (нагорный кювет); *10* – откосная часть выемки; *11*– дренаж; *12* – бровка земляного полотна

Для расположения проезжей части на необходимом уровне от поверхности грунта сооружают земляное полотно с боковыми водоотводными канавами (кюветами), предназначенными для осушения дороги и отвода от нее воды. Линия сопряжения поверхностей обочины и откоса насыпи или внутреннего откоса канавы (позиция 12 на рис. 1.6) образует *бровку земляного полотна*. В высотном отношении все проектирование дороги выполняется по отношению к бровке земляного полотна. Разница между отметкой бровки дороги и отметкой поверхности земли по оси дороги, определяющая высоту насыпи или глубину выемки, называется *рабочей отметкой*

(рис. 1.7). Последняя подписывается на профиле выше или ниже изображения трассы в зависимости от знака рабочей отметки.

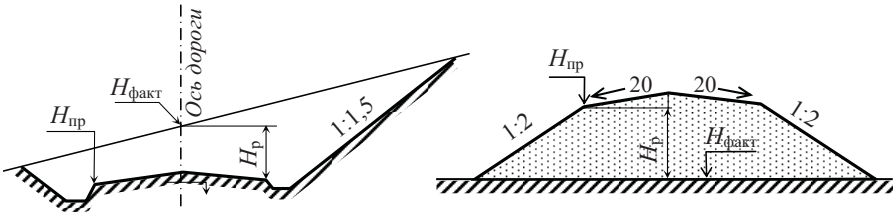


Рис. 1.7. Рабочая отметка земляного полотна:
а – в выемке; *б* – в насыпи

Геометрические характеристики элементов поперечного профиля (уклоны проезжей части, обочины, кавальеров, банкетов и крутизна откосов) устанавливаются в зависимости от условий эксплуатации дороги и используемых при строительстве грунтов.

1.5. Принципы проектирования

Отклонение оси дороги от так называемой *воздушной линии* – прямой, соединяющей точки начала и конца трассы, определяется расположением фиксированных плановых точек, а между ними – естественными уклонами местности $i_{\text{мест}}$ на отдельных участках. Сопоставление этих уклонов с допустимым (руководящим) уклоном $i_{\text{доп}}$ трассы приводит к различным условиям трассирования. По этому показателю различают участки *вольного и напряженного ходов.*

На участках вольных ходов, на которых соблюдается условие:

$$i_{\text{мест}_{(\text{ср})}} < i_{\text{доп}} - i_{(\text{К})}, \qquad (1.7)$$

где $i_{(\text{К})}$ – нормативное значение смягчения допустимого уклона автодороги на участках плановых кривых.

Трассу намечают по кратчайшему пути между фиксированными точками, обходя лишь инженерные сооружения, контурные препятствия, пересечение которых воспрещено, и места с неблагоприятными физико-геологическими условиями (болота, оползни и др.).

Для получения минимального развития трассы (т.е. ее удлинения), следует трассировать линию к ближайшей фиксированной точке с возможно меньшими углами отклонения в плане. Относительное удлинение Δl в % при угле поворота θ может быть определено по формуле:

$$\Delta l = \frac{1-\cos\theta}{\cos\theta} 100\%. \qquad (1.8)$$

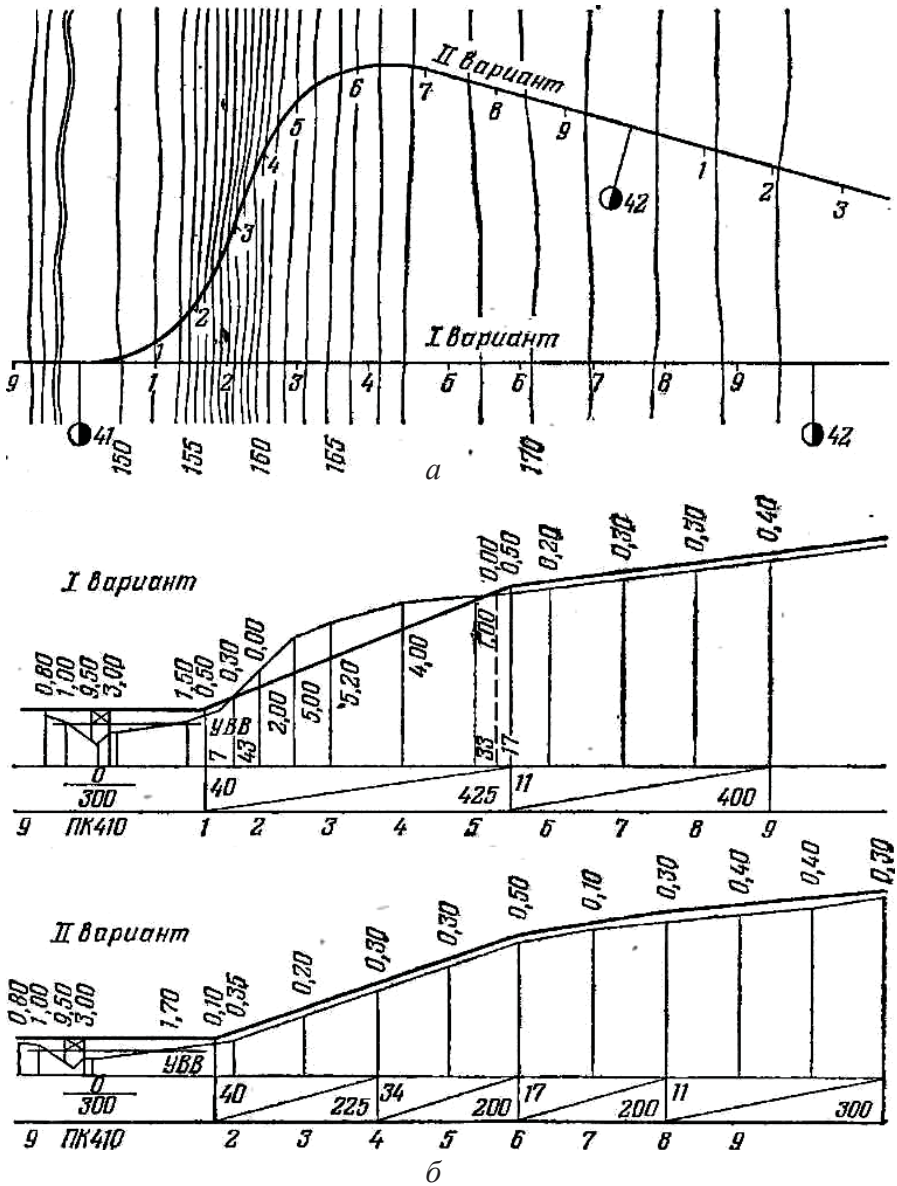
Это удлинение составляет для углов 5° – 0,4%, 10° – 1,5%, 20° – 6,5%, 30° – 15%, 60° – 100%, откуда следует, что обход любого препятствия должен начинаться возможно дальше от него. Углы поворота следует располагать так, чтобы препятствие оказалось внутри угла.

На участках напряженного хода, $i_{\text{мест}} > i_{\text{доп}}$, всякое уменьшение уклона трассы приведет к удлинению проектируемой линии или к увеличению глубины выемок на водоразделах и увеличению высоты насыпей в долинах. Искусственное развитие трассы в этом случае может осуществляться с большими углами отклонения от воздушной линии (рис. 1.8).

На этих участках, чтобы выдержать заданный уклон трассирования при проектировании на картах, линию трассы намечают при помощи циркуля. Получаемая таким образом линия называется *линией нулевых работ*, вдоль которой средний уклон местности равен заданному уклону трассирования. Детальное описание методики нахождения линии нулевых работ на участках напряженного хода будет приведено во втором разделе.

Намеченная таким образом линия будущей дороги должна быть спрямлена участками более длинных прямых, позволяющих вписать закругления и выдержать другие нормы проектирования. Проектирование по приведенной схеме носит название полигонального метода оформления плана трассы и используется для дорог IV – V категорий.

Хотя этот метод и рекомендуется студентам для выполнения настоящей лабораторной работы, следует иметь в виду его суще-



а

б

Рис. 1.8. Варианты проложения трассы по косогору:
а – план; *б* – продольные профили

ственный недостаток, особенно для высокоскоростных трасс – магистральный ход определяет положение дороги с учетом рельефа, но не обеспечивает пространственной плавности и зрительного восприятия дороги водителем. Такая трасса характеризуется длинными прямыми участками и короткими круговыми кривыми.

При пересечении трассой рек или оврагов необходимо установить проектную высоту полотна дороги по отношению к урезу воды или отметке водопропускных сооружений и трассу провести через точки с соответствующими одноименными отметками на противоположных берегах. На спрямленной трассе с включенными в нее переходами, подписывают вершины углов ВУ1, ВУ2, ВУ3... и приступают к проектированию кривых и продольного профиля.

Спрямление и сопряжение участков напряженного и вольного ходов, осей переходов может привести к некоторым отклонениям трассы от линии нулевых работ.

Для автодорог местного значения, как в нашем случае, основными препятствиями являются постоянные и периодически действующие водотоки. Мосты и трубы на дорогах следует располагать таким образом, чтобы при обеспечении беспрепятственного пропуска высоких вод и соблюдении требований экономичности не нарушать плавность трассы. Современные условия проектирования не ставят никаких ограничений для малых и средних мостов и труб под насыпями, подчиняя их расположение требованиям плавности трассы и допуская их устройство при любых сочетаниях плана и профиля.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТА АВТОДОРОГИ

2.1. Исходные данные и состав задания

Техническим заданием на изыскание трассы, устанавливается ее категория и дополнительно наибольший продольный уклон $i_{доп}$ (так как этот показатель для местных автодорог может отличаться от установленного СП для соответствующей категории), наименьшие радиусы кривых в плане и продольном профиле – $R_{гор}$, $R_{верт1}$, $R_{верт2}$ (для выпуклых и вогнутых вертикальных кривых), указываются опорные пункты – начало и конец трассы, и фиксированные точки.

Трассирование автодороги и последующую разработку проектных документов выполняют по карте масштаба 1 : 25 000 с сечением рельефа горизонталями через 5 м[1].

Полный объем работы включает в себя.

1. Камеральное трассирование по карте.

1.1. Нахождение по карте линии заданного уклона.

1.2. Спрямление линии и выбор местоположения углов поворота.

1.3. Определение величин углов поворота, подбор радиусов горизонтальных кривых и расчет их элементов.

1.4. Разбивка пикетажа на плане трассы.

2. Проектирование трассы.

2.1. Составление ведомости отметок земли по оси трассы.

2.2. Составление продольного профиля ($М_{гор}$ 1:10 000).

2.3. Разработка проектного продольного профиля трассы.

2.4. Расчет элементов вертикальных кривых.

2.5. Проектирование водоотвода и кюветов.

2.6. Определение основных показателей трассы и оценка варианта по объемно-строительным показателям.

[1] С целью более широкого ознакомления с общими принципами проектирования лмнейных сооружений и учетом влияния физико-геологических, ттопографических и антропогенных факторов территории на стадии «проект» используется карта масштаба 1:25000 с высотой сечения 5 м. При реальном проектировании могут использоваться топографические карты и инженерно-топографические планы более крупных масштабов [10].

Выполнению технической части проекта трассы должно предшествовать описание физико-географических условий района предполагаемого строительства, определение степени освоенности территории, ее топографо-геодезической изученности и сложности проектно-изыскательских работ.

Пояснительная записка, включающая в себя описание, необходимые расчеты и табличные материалы, выполняются на листах формата А4. Камеральное трассирование, составление плана трассы и разбивка пикетажа проводятся непосредственно на топокарте. Составление продольного профиля и проектирование земляного полотна и кюветов выполняются на бумажном носителе. Чертеж профиля и профильная сетка выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 21.1701-97 [3], проектная линия дороги может быть выделена красным цветом. Вдоль линии трассы на профиле указываются все пересечения и параметры инженерных сооружений в соответствии с рекомендациями настоящих Указаний.

Материалы расчетно-графической работы в дальнейшем используются студентами для выполнения практических заданий по курсам «Автоматизация комплекса инженерно-геодезических работ» и «Прикладная геодезия».

2.2. Физико-географические условия района

Необходимо дать краткую характеристику района с точки зрения климатических условий, рельефа и состава грунтов. Следует определить, к какой дорожно-климатической зоне относится район работ согласно показателям дорожно-климатического районирования. Климатические условия характеризуются температурами воздуха, количеством осадков, скоростью и направлением ветра, высотой снежного покрова, глубиной промерзания и т.д. Все эти данные выбираются по климатологическим справочникам или энциклопедиям, а также возможно использование Интернета.

Рельеф описывают непосредственно по карте. Необходимо отметить степень пересеченности, указать максимальные и минимальные отметки, наличие вершин и глубоких оврагов, крутизну склонов или уклоны. Здесь же следует дать характеристику гидрографии – наличие, направление течения рек и ручьев, их скорости, характер и распространение заболоченных участков. Указать расположение лесов и посадок, вид преобладающей растительности.

Кроме того, необходимо выполнить социально-экономическую характеристику района проектирования, указав расположение населенных пунктов, их планировку, состав промышленности и дорожно-транспортной сети. Привести показатели пассажиро- и грузопотока. Здесь же приводятся основные параметры технического задания на изыскания, указывается начало и конец проектируемой дороги, назначений дороги и ее проектные параметры в соответствии с установленной категорией.

2.3. Выбор положения трассы

При определении планового положения трассы, как это указывалось в п.п. 1.1 и 1.4., необходимо учитывать топографические, геологические, климатические и другие условия, а также руководствоваться следующими соображениями по геометрии трассы:

- ось трассы должна располагаться по возможности ближе к воздушной линии для обеспечения минимального значения коэффициента развития;
- сумма углов поворота должна быть минимальной. Следует избегать углов поворота $\theta > 45°$;
- сумма абсолютных значений превышений по трассе или по участкам, имеющим варианты проложения в плане, должна быть минимальной;
- на участках напряженного хода проектировать трассу с предельно допустимыми значениями продольных уклонов.

Из анализа перечисленных требований видно, что некоторые из них являются взаимозависимыми и дополняющими друг друга, а часть – взаимоисключающими, что и предопределяет сложность проектирования трассы как линии оптимально увязывающей условия плана и профиля дороги.

Существует ряд ограничений на положение трассы, вызванных необходимостью обхода крупных форм рельефа, населенных пунктов, лесов, зон развития физико-геологических процессов. «Неблагоприятные» участки пересекаются в наиболее узких местах или в зонах наименьшего проявления сложных для проложения дороги факторов. Таким образом, первой задачей трассирования является определение фиксированных точек, которые совместно с пунктами, установленными ТЗ, определяют исходный план трассы.

Учитывая, что проектируемая трасса представляет собой сочетание участков вольного и напряженного ходов, на карте должна быть зафиксирована линия проектных уклонов или линия нулевых работ. Рассмотрим более подробно порядок нахождения этой линии между точками А (начало участка) и Б (конец участка) (рис. 2.1).

Определим на карте масштаба 1 : М горизонтальное заложение d между смежными горизонталями, при котором местность будет повышаться или понижаться заданным для дороги уклоном $i_{доп}$:

$$d = \frac{h}{i_{доп} \mathrm{M}}. \qquad (2.1)$$

Например, при высоте сечения h = 5,0 м, масштабе используемой карты 1 : 25 000 и заданном в ТЗ уклоне дороги $i_{доп}$ = 30‰, получим d = 6,7 мм. После этого в начале участка напряженного хода, придерживаясь направления воздушной линии, раствором измерителя, равным d, засекаем соседнюю горизонталь, затем последующую и т.д. (рис. 2.1). На участках, где расстояние l_i между горизонталями больше расчетного значения, положение линии

устанавливается свободно. Этот же принцип реализуется и при пересечении ходом одноименной горизонтали (участок а-б, рис. 2.1). При пересечении речных долин и тальвегов линия трассы соединяет точки с одинаковыми отметками на противоположных берегах (участок в-г).

Пересечения и примыкания дорог в одном уровне независимо от схемы пересечений рекомендуется выполнять под прямым или близким к нему углом (при слиянии дорог пересечения могут выполняться под любым углом с учетом обеспечения видимости).

Наименьший радиус кривых при сопряжении дорог следует принимать по категории дороги, с которой происходит съезд (в нашем случае – с проектируемой дороги), независимо от угла пересечения и примыкания.

Участки мостовых переходов также должны располагаться перпендикулярно направлению течения и преимущественно на прямых, хотя на автомобильных дорогах положение искусственных сооружений в плане и профиле имеет значительно меньше ограничений, чем на железных дорогах, и в основном подчиняется требованиям плавности трассы с учетом местных условий.

Обычно возможно построение на каждом участке нескольких вариантов линии нулевых работ (например, участок г-Б протрассирован по двум примерно равнозначным вариантам).

Выбрав оптимальный вариант, трассу спрямляют (рис. 2.2), руководствуясь требованиям предельных длин прямых в плане, которые, исходя из условий ландшафтного проектирования[1], не должны превышать значений табл. 2.1.

Таблица 2.1

Категория дороги	Предельная длина прямой в плане на местности, м	
	равнинная	пересеченная
I	3500 – 5000	2000 – 3000
II	2000 – 3500	1500 – 2000
IV, V	1500 – 2000	1500

[1] Другие требования ландшафтного проектирования здесь не рассматриваются.

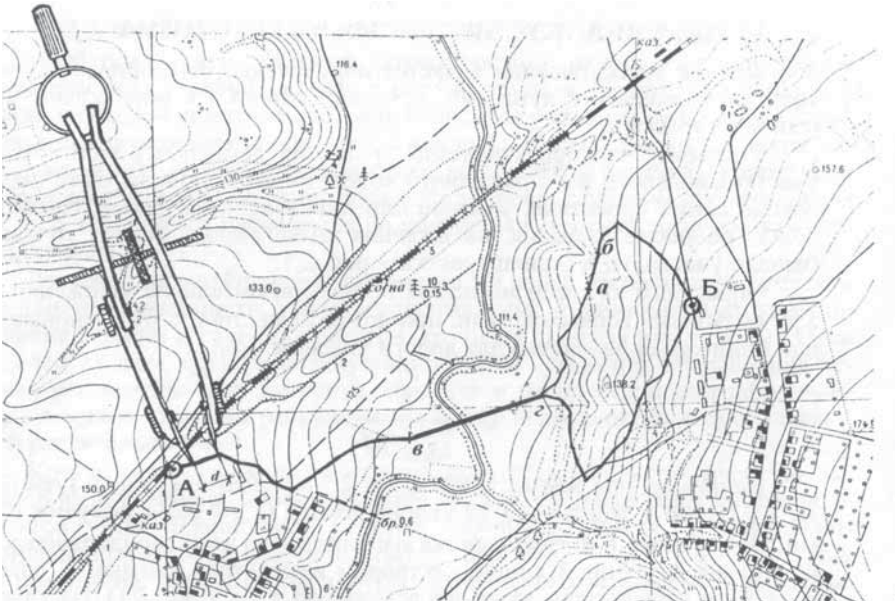


Рис. 2.1. Нахождение линии «нулевых работ»

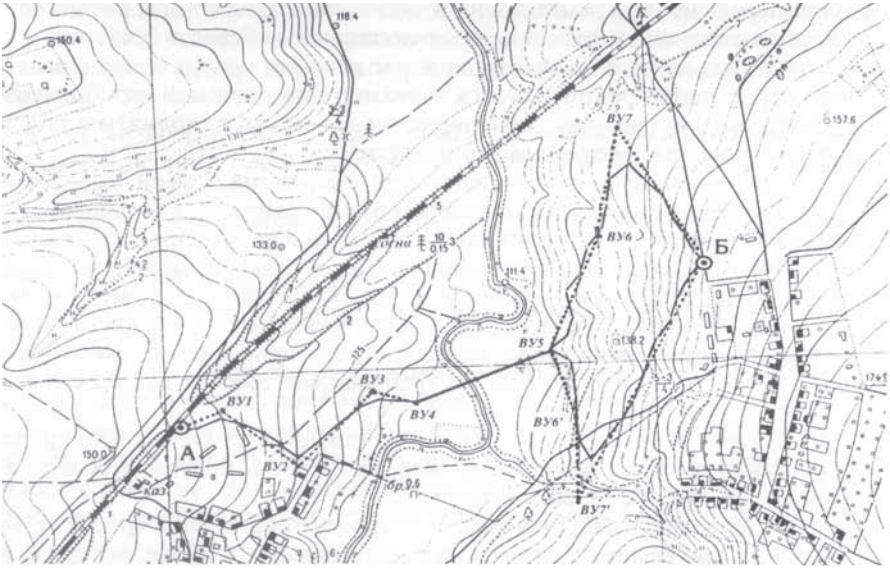


Рис. 2.2. План трассы с назначенными вершинами углов поворота (показан точками)

Намечают положение вершин углов поворота (ВУ) и приступают к расчету элементов кривых. Положение вершин углов поворота выбирается с учетом будущего закругления, оставляя, как правило, контурные препятствия внутри угла поворота. При больших углах поворота (40–60°) возможны варианты расположения вершины угла на препятствии. На участках напряженного хода вершина угла поворота осредненной линии трассы может быть отнесена на внешнюю сторону трассы по отношению к точке поворота линии нулевых работ так, чтобы при последующем вписывании закругления кривая приблизительно совпадала с линией нулевых работ (ВУ7 и ВУ7′, см. рис. 2.2).

При малых углах поворота дороги в плане рекомендуется назначать радиусы кривых по табл. 2.2.

Таблица 2.2

Угол поворота, градусы	1	2	3	4	5	6	7–8
Радиус круговой кривой, м	30000	20000	10000	6000	5000	3000	2500

2.4. Расчет элементов кривых

Измерив углы поворота запроектированной трассы по карте транспортиром с точностью до 0,5°, приступают к назначению радиусов кривых на закруглениях, исходя из требований, изложенных в п. 1.3, и следующих условий:

- наименьшая величина радиуса кривых устанавливается по табл. 1.2;
- при благоприятных условиях и отсутствии контурных и других препятствий радиус кривых следует принимать в 2–3 раза больше минимального;
- при выборе радиуса следует избегать наложения кривых, вписываемых в смежные углы поворота. Невыполнение этого условия может потребовать после вычисления эле-

ментов смежных кривых, некоторого изменения плана трассы и переноса углов поворота с целью увеличения расстояния между ними;

– при радиусах кривых в плане 2000 м и менее предусматривается вставка переходных кривых.

Результаты расчетов элементов круговых и переходных кривых, производимых по формулам (1.1)–(1.5), и полных параметров закруглений трассы $Т_{n_i}$, $К_{n_i}$, $Б_{n_i}$, $Д_{n_i}$ (1.6), выполняемых, например, для угла № 3 при $\theta = 38°$ и $R = 600$ м, рекомендуется представить в виде табл. 2.3 и 2.4.

Таблица 2.3

Расчет круговых кривых

Номер вершины угла (ВУ)	R, м	θ°	Элементы круговых кривых, м			
			Т	К	Д	Б
№3	600	38°	206,60	397,94	15,26	34,57

Таблица 2.4

Расчет закруглений

ВУ №3	Элементы переходных кривых, м							Параметры закругления, м			
	V, км/ час	l[1]	φ_l	P	t	γ	К	$Т_п$	$К_п$	$Д_п$	$Б_п$
	100	44,33 (50,00)[1]	2,1°	0,14	22,16	33,8°	353,95	228,76	442,61	14,91	34,71

После вычисления параметров закруглений проверяется выполнение условия по величине расстояния L между углами поворота:

$$L_{i-i+1} \geq Т_i + Т_{i+1}, \qquad (2.2)$$

и, при необходимости, назначаются новые значения радиусов круговых кривых. В этом случае приближенное значение радиуса может быть вычислено по формуле (1.1) решением обратной задачи по известному значению $Т_к = L/2$.

[1] Длина переходной кривой может быть назначена, исходя из норм проектирования (см. табл. 1.3).

Следует иметь в виду, что при примыкании к существующей трассе за ВУ №1 на проектируемой трассе принимается точка пересечения с существующей автодорогой (в проекте – точка начала или конца трассы).

Составленный проект плана трассы и выполненные вычисления параметров закруглений позволяют перейти к разбивке пикетажа по трассе.

2.5. Разбивка пикетажа

Пикетаж применяется как система координирования протяженных объектов (дорог, трубопроводов, линий электропередач) путем их разметки на участки длиной 100 м. За точку, имеющую пикет 0, принимают начало круговой кривой или начало закругления в пункте начала трассы (рис. 2.3). В обоих случаях, показанных на рисунке, расчет можно вести от любой точки примыкания, например, от левой.

Укладка пикетажа ведется по прямым. Так как расстояние от точки начала закругления (НЗ) или начала круговой кривой (НКК) до точки начала трассы (НТ) известно (это расстояние равно полному тангенсу закругления $T_п$ или тангенсу кривой $T_к$), то можно вычислить пикетажное наименование точки начала трассы. На-

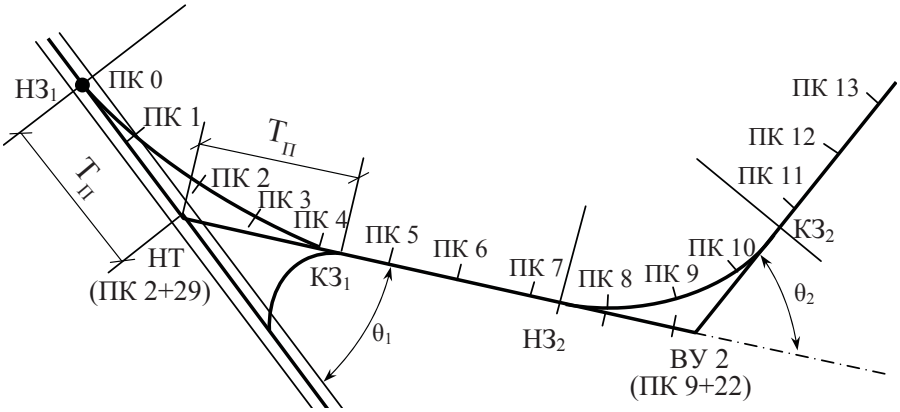


Рис. 2.3. Разбивка пикетажа на плане трассы

пример, при использовании данных табл. 2.4, пикетаж точки НТ будет:

$$ПК\ (НТ) = ПК\ 0 + 228{,}76 = ПК\ 2 + 28{,}76.$$

Пикет точки КЗ можно вычислить с использованием величины $Т_п$, однако из-за того, что расстояние между точками НЗ и КЗ по кривой меньше расстояния между этими же точками по ломаной, то при вычислении пикетажа учитывают значение $Д_п$

$$ПК\ (КЗ) = ПК\ (НТ) + Т_п - Д_п. \qquad (2.3)$$

Вычисление пикетажа точки КЗ должно быть проконтролировано по формуле:

$$ПК\ (КЗ) = ПК\ 0 + К_п \qquad (2.4)$$

и оформлено следующим образом:

НЗ	ПК 0
$+ Т_п$	228,76
НТ	ПК 2 + 28,76
$+ Т_п$	228,76
$-Д_п$	14,91
КЗ	ПК 4+ 42,61

Контроль:

НЗ	ПК 0
+К	442,61
КЗ	ПК4 + 42,61

После этого выполняют проектирование пикетажа по трассе, путем отложения раствором измерителя отрезков, равных в масштабе карты 100 м, и отмечают пикеты трассы[1].

На закруглениях для определения положения точек НЗ и КЗ (или НКК и ККК) откладывают значения $Т_п$ или $Т_к$, а пикетаж после поворота восстанавливают путем отложения от точки КЗ расстояний до целого пикета (в нашем случае откладывают 57,4 м до ПК 5 (см. рис. 2.3) и размечают трассу до ВУ 2. Пикетажное наименование ВУ 2 определяют от ближайшего пикета и вычисляют с контролем пикетажные наименования элементов закругления по форме, приведенной в примере (табл. 2.5). Разбивку пикетажа выполняют до точки конца трассы.

[1] Для уменьшения нагрузки на плане и профиле в выполняемой работе рекомендуется выполнить разбивку только четных пикетов, т.е. через 200 м.

Таблица 2.5

Расчет пикетажа на кривых

ПК(ВУ 2)	ПК9 + 22,0	ПК (ВУ 2)	ПК9 + 22,0
–Т	190,46	+Т	190,46
НЗ	ПК 7+ 31,54		ПК 11 + 12,46
+К	351,38	–Д	29,54
КЗ	ПК 10+82,92	КЗ	ПК 10+ 82,92

При выполнении этой части задания на плане должны быть нанесены все четные пикеты, подписаны пикетажные наименования точек начала трассы, вершин углов поворота, начала и конца закруглений (круговых кривых)[1].

Кроме того, следует отметить и определить пикетажные значения характерных точек рельефа, не совпадающих с целыми пикетами (плюсовые почки), мест пересечения дорог, урезов воды, воздушных коммуникаций, границ территорий и др.

Для подготовки исходных данных для проектирования продольного профиля по карте определяются отметки всех пикетов и плюсовых точек, которые заносятся в «Ведомость фактических отметок земли по трассе» (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Ведомость фактических отметок земли по трассе

Описание точки	Пикетаж	Отметка земли, м
Пересечение автодороги	ПК 2 + 79	136,7
	……..	
	ПК 26	154,1
	ПК 28	159,4
	……	
Урез воды р. Андога	ПК 36+ 12	114,9

2.6. Условия проектирования продольного профиля

Одним из наиболее сложных и ответственных этапов разработки проекта автомобильной дороги является нанесение проектной линии продольного профиля. При проектировании следует иметь в виду, что основным условием обеспечения безопасности

[1] Изображение закругления на плане может быть нанесено с помощью шаблона кривых или с использованием точки середины кривой, получаемой отложением значения биссектрисы от вершины угла поворота.

движения является плавность сочетания кривых плана и продольного профиля, которая зависит от соотношения длин и радиусов кривых, а также от смещения основных элементов кривых в плане и продольном профиле по отношению друг к другу.

Учитывая, что плановое положение трассы в ходе камерального трассирования установлено дополнительно к общим положениям, изложенных в п. 1.3, сформулируем ряд требований и условий, которые должны быть учтены при разработке продольного профиля.

1. В высотном отношении положение трассы определяется:
- отметками точек земли в местах примыкания (начало и конец дороги) с учетом существующих на этих участках насыпей и выемок;
- продольным профилем поверхности земли по оси дороги;
- рекомендуемыми отметками высоты насыпей и выемок;
- *контрольными отметками* H_{K_i}, устанавливающими фиксированное высотное положение ряда точек, через которые должна пройти проектная линия дороги.

2. Пересечения автомобильной дороги с железными дорогами надлежит проектировать на прямых участках. Угол между пересекающимися дорогами не должен быть менее 60°.

3. Наибольшие продольные уклоны на участках кривых в плане малых радиусов следует уменьшать по сравнению с требованиями табл. 1.2 на величину, приведенную в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Радиус кривой в плане, м	50	45	40	35	30
Уменьшение наибольших продольных уклонов, ‰, не менее	10	15	20	25	30

4. Кривые в плане и продольном профиле, как правило, следует совмещать. При этом кривые в плане должны быть на 100–150 м длиннее кривых в продольном профиле.

Следует избегать сопряжений концов кривых в плане с началом кривых в продольном профиле. Расстояние между ними должно быть не менее 150 м.

5. Линию трассы при пересечении и примыкании с другими автодорогами следует располагать на прямых участках профиля с предельным уклоном, не превышающим 40‰.

Выполняя при проектировании профиля вышеприведенные требования, следует стремиться к обеспечению минимальных объемов земляных работ, а на отдельных участках их производства – к балансу объемов насыпей и выемок.

2.7. Последовательность проектирования продольного профиля

В качестве исходных данных для проектирования профиля трассы используются:

– ведомости фактических отметок земли по трассе;

– отметки опорных точек трассы и контрольные отметки;

– наибольшие продольные уклоны проектной линии – $i_{доп}$;

– наименьшие радиусы кривых в плане и продольном профиле.

Проектирование профиля выполняется на бумажном носителе в масштабе 1:10 000. Вертикальный масштаб чертежа устанавливают в зависимости от величин превышений по трассе (обычно 1:500 или 1: 1000). Геологические колонки по грунтам трассы при наличии материалов инженерно-геологических изысканий, составляют в масштабе 1 : 100 или 1 : 50. Образец оформления профиля показан на рис. 2.4.

Таблица, используемая для записи исходных данных и проектных показателей (*профильная сетка*), состоит для вновь проектируемых дорог из 14 граф определенной стандартной ширины (для реконструируемых дорог – из 22 граф). При проектировании дорог по материалам камерального трассирования некоторые графы могут быть исключены из профильной сетки, однако для ознакомления с полным составом проектных документов ниже приводится и их содержание.

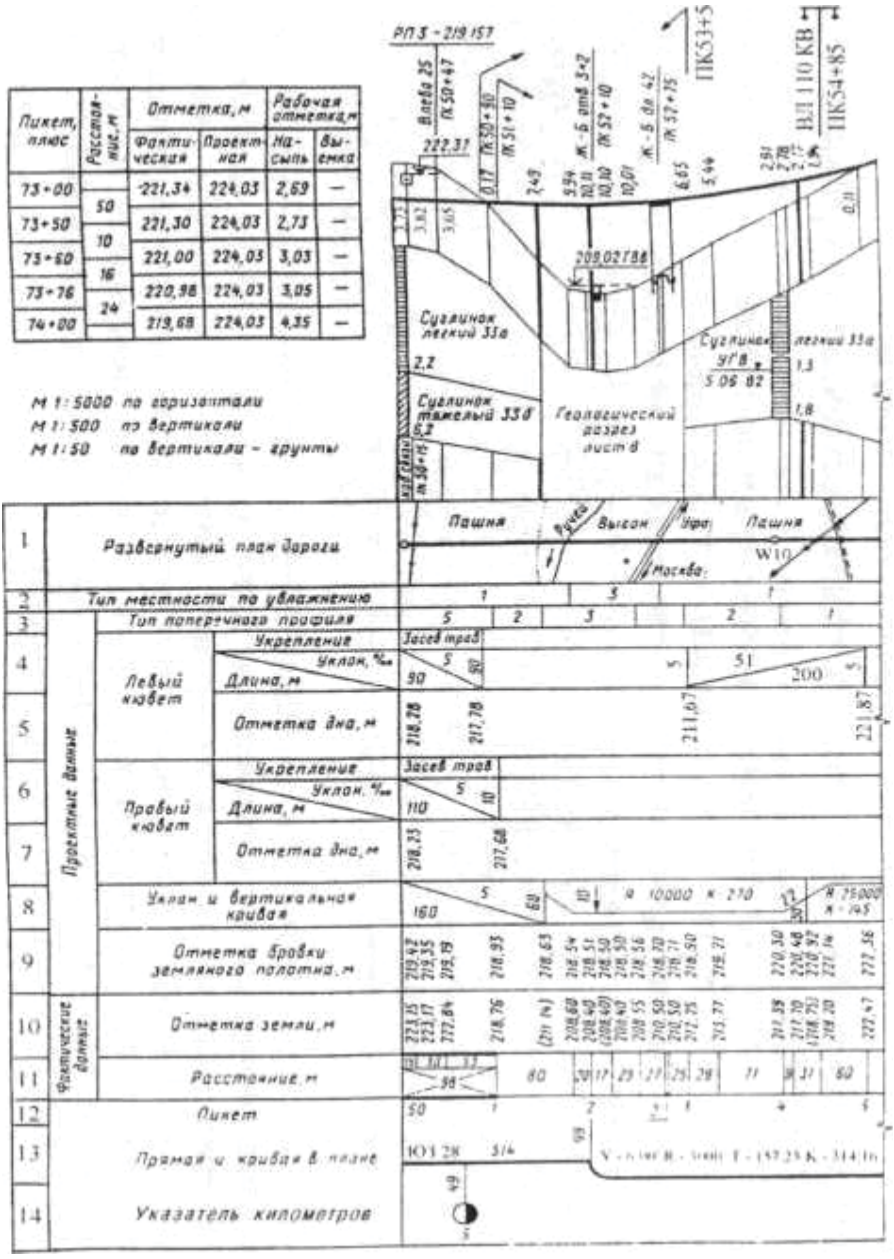


Рис. 2.4. Образец оформления продольного профиля

В графе ***«Развернутый план дороги»*** наносят ось дороги с указанием вершин углов поворота и показывают существующую ситуацию местности в ‘полосе вдоль дороги шириной 200 м (границы угодий, населенные пункты, водотоки, пересекаемые инженерные сооружения, в том числе и подземные). Графа 2 заполняется по материалам гидрогеологических исследований.

Линию фактической поверхности земли по оси дороги строят по данным граф 10. 11 и 12, составленным на основании «Ведомости фактических отметок земли» (см. табл. 2.6).

В графе 13 указывают прямые и кривые по оси дороги, исходя из результатов вычислений пикетажа их основных точек (см. табл. 2.5) и выписывают из табл. 2.3 или 2.4 числовые значения элементов закругления: углов поворота, радиусов, тангенсов, длин кривых и биссектрис. На прямых участках указывают их длины и румб или дирекциолнный угол.

Определение контрольных отметок H_{k_i} ***по трассе.*** Отметки таких контрольных точек трассы как планировочные отметки улиц населенных пунктов, через которые проходит трасса, головок рельсов железных и бровок автомобильных дорог, пересекаемых в одном уровне, определяют по карте.

Другие контрольные отметки, к которым относятся минимальная отметка бровки земляного полотна над водопропускными сооружениями (трубами), отметка проезжей части мостового или транспортного перехода определяются расчетом в ходе изыскательских работ, а в настоящей работе устанавливаются в техническом задании (высоты насыпей над лотками труб 1,5 – 3 м, высота мостов 3-6 м)[1].

Контрольные отметки указываются в графе 9 проектной части профильной сетки и соответствующие им точки отмечаются на построенном профиле поверхности земли в принятых условных обозначениях (рис. 2.5). Как правило, контрольные отметки фиксиру-

[1] В настоящей работе высоты насыпей и глубины выемок не регламентируются, хотя при реальном проектировании эти показатели должны быть учтены с целью защиты дорог от подтопления, снегозанесения и др., обеспечения экономичности строительства [9].

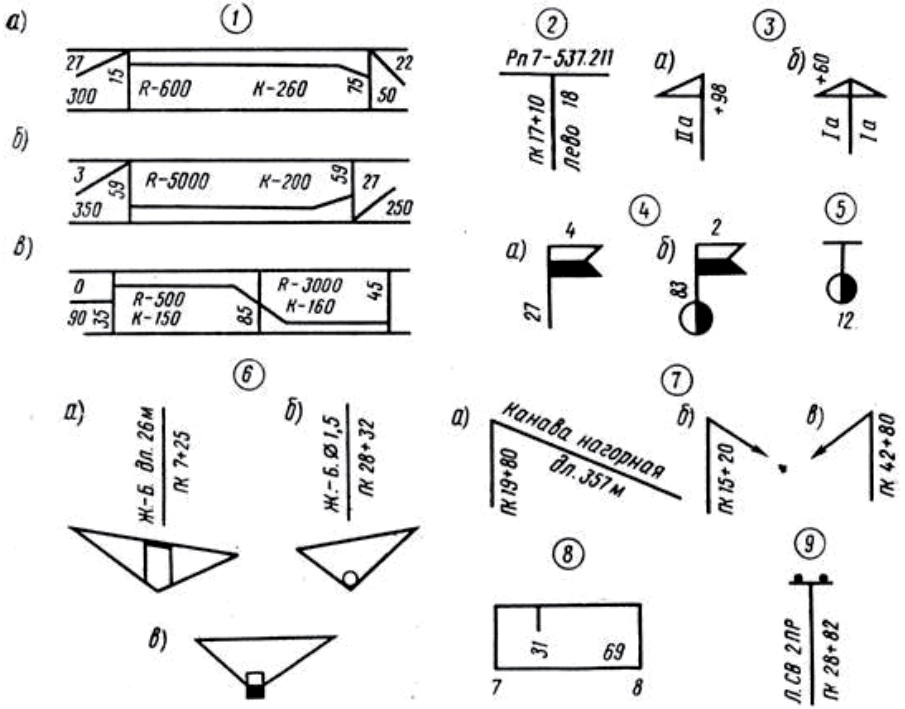


Рис. 2.5. Основные условные обозначения на продольных профилях

1 – вертикальные кривые (*а* – выпуклая кривая с нисходящей ветвью; *б* – вогнутая кривая с восходящей ветвью; *в* – переход нисходящей ветви выпуклой кривой в восходящую ветвь вогнутой кривой); *2* – репер 7 с отметкой 537,211; *3* – съезды с дороги: (*а* – влево, по типовому проекту IIа в 98 м от начала пикета; *б* – пересечение с другой дорогой в 60 м от начала пикета); *4* – железнодорожные переезды (*а* – неохраняемый, в 27 м от начала пикета; *б* – охраняемый переезд; цифры над флажками указывают категорию переезда); *5* – километровый знак; *6* – мосты и грубы *(а* – железнодорожный мост или путепровод; *б* – круглая труба диаметром 1,5 м; *в* – прямоугольная труба); *7* – водоотводные канавы (*а* – нагорная канава; *б* – сброс воды вправо; *в* – то же влево); *8* – обозначение плюсовых точек; *9* – двухпроводная линия связи; *10* – пересекаемые подземные коммуникации (с указанием отметки или глубины заложения)

ются на плюсовых точках плана трассы. После этого приступают к нанесению проектной линии и обеспечению водоотвода.

Проектная линия – линия, изображающая проектное положение оси дороги, состоит из прямых участков и вертикальных кривых, вписанных в переломы проектной линии.

Проектную линию наносят от начала трассы с нулевого пикета, отметку которого определяют, как отметку существующей дороги, к которой примыкает вновь проектируемая. Проектную отметку записывают в графу «Отметка бровки земляного полотна» вертикально над нулевым пикетом. Далее проектную линию намечают между контрольными точками с заданными отметками с максимальным ее приближением к линии фактической поверхности земли.

Для каждого намеченного прямого участка продольного профиля определяют с точностью до 5 м длину линии, по шкале высот отметку точки перелома и вычисляют уклон, который сравнивается с допустимым его значением. В случае превышения допустимого уклона положение участка корректируется путем введения дополнительных точек перегиба профиля или изменением отметок на уже намеченных точках перегиба. Величина изменения отметок может быть рассчитана по известной длине участка и значению разности запроектированного и допустимого уклонов на участке.

При достижении допустимого уклона по проектной линии заполняются графы 8 и 9 профильной сетки, причем отметки земляного полотна дороги вычисляются по всем пикетам по значению окончательно принятого уклона участка i_1 по формуле: $H_{ПК1} = H_{ПК0} \pm 200i_1$ для 2, 4, 6 и т.д. пикетов, а также плюсовых точек.

При выборе точек перегиба необходимо визуально по площадям между линиями проекта трассы и фактической поверхности земли в зонах насыпей и выемок следить за соблюдением требований по балансу земляных масс. Однако нужно иметь в виду, что при равных рабочих отметках объемы выемок больше объемов насыпей за счет дополнительного объема, связанного с устройством в выемке двухсторонних кюветов (рис. 2.6). На дорогах IV–V категорий при ширине земляного полотна 8–10 м это отличие может достигать 20%.

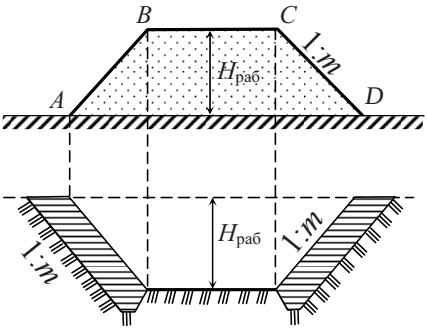


Рис. 2.6. Различие в объемах насыпей и выемок при одинаковых рабочих отметках

После определения отметок трассы по проектной линии вычисляются предварительные рабочие отметки (без учета вертикальных кривых) для всех пикетных и плюсовых точек, которые записываются на профиле в принятой форме: в насыпях – над проектной линией; в выемках – под линией.

Следует обратить внимание, что проектирование может выполняться в несколько попыток с частичной или полной переделкой уже готовых участков. В связи с этим всю проектную нагрузку на профиле до полного завершения проекта рекомендуется выполнять в карандаше.

Проектирование вертикальных кривых. Переломы проектной линии продольного профиля автодороги следует сопрягать кривыми не менее установленных в табл. 1.2 радиусов:

- на дорогах I и II категорий при алгебраической разности уклонов 5‰ и более;
- на дорогах III категории при алгебраической разности уклонов 10‰ и более;
- на дорогах IV и V категорий при алгебраической разности уклонов 20‰ и более.

Значения радиуса круговых вставок на профиле определяют, исходя из условия обеспечения расчетной видимости поверхности дороги. Элементы вертикальных кривых рассчитываются по выбранным радиусам $R_{В}$ и разности уклонов смежных участков проектной линии $(i_1 - i_2)$ по следующим формулам:

$$К_{В} = R_{В}(i_1 - i_2); \quad Т_{В} = R_{В}\frac{(i_1 - i_2)}{2}; \quad Б_{В} = \frac{T_{В}^2}{2R_{В}} \qquad (2.5)$$

и записываются в табл. 2.8 установленной формы. В формулах (2.5) используется алгебраическая разность $(i_1 - i_2)$, которая определяется схемой перелома проектной линии и учитывает направление уклонов смежных участков (рис. 2.7).

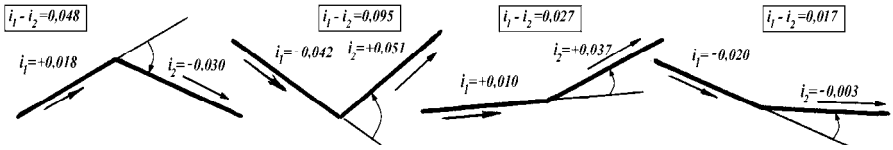


Рис. 2.7. Схемы переломов проектной линии

Таблица 2.8

Расчет элементов вертикальных кривых

ПК	R, м	$(i_1 - i_2)$, ‰	Элементы вертикальных кривых, м		
			$К_в$	$Т_в$	$Б_в$
ПК 8 +64	5000	25	125,0	62,5	0,39
ПК 12 + 27	1500	90	135,0	67,5	1,52

На продольном профиле в отметки земляного полотна в точках перегиба профиля вносятся соответствующие изменения на величину биссектрисы вертикальной кривой. Зная пикетажное положение точки перегиба, определяют пикеты начала кривой $ПК_{НВК} = ПК_{ВК} - Т_В$ и конца кривой $ПК_{КВК} = ПК_{НВК} + К_В$ графе 8 «Уклон и вертикальная кривая» профильной сетки указывают начало и конец вертикальных кривых с привязкой их к пикетам, а также выписывают значения $R_В$ и $К_В$. На графике продольного профиля точки начала и конца отмечают вертикальными утолщенными линиями.

При необходимости проектную отметку любой точки на участке с вертикальной кривой можно вычислить, используя формулу вида:

$$\Delta h_i = \frac{l_i^2}{2R_В},$$

где Δh_i – превышение определяемой точки над точкой начала или конца кривой; l_i – расстояние от начала (конца) кривой до определяемой точки.

Образец оформления вертикальных кривых в профильной сетке приведен ранее на рис. 2.5. Не рекомендуется устраивать вогнутые кривые в выемках.

Проектную линию можно также выполнить с помощью шаблонов вертикальных кривых, применяя шаблоны различных радиусов.

Достаточно ответственным даже на стадии вариантного проектирования является нанесение проектной линии у малых мостов и виадуков, так как при последующей оценке и выборе варианта характеристики инженерных сооружений на дороге могут иметь определяющее значение.

В отличие от проектирования железных дорог на автодорогах ограничения по расположению вертикальных кривых минимальны. При пересечении глубоких, но не широких долин, малые мосты проектируют на вертикальных вогнутых кривых или выносят вертикальную кривую на насыпь подходов (рис. 2.8, *а*). Обычно такое проектирование выполняется на минимально допустимых радиусах вогнутых кривых.

Расположение мостового перехода на широкой пойменной части позволяет смещать мост к одному из берегов долины (рис. 2.8, *б*). Мост может быть расположен на вертикальной кривой или на прямом участке с уклоном.

Часто встречается случай, когда проектная линия выполнена в виде горизонтального участка, длина которого больше длины моста (рис. 2.8, *в*). Здесь две вертикальные вогнутые полуветви обеспечивают плавность продольного профиля.

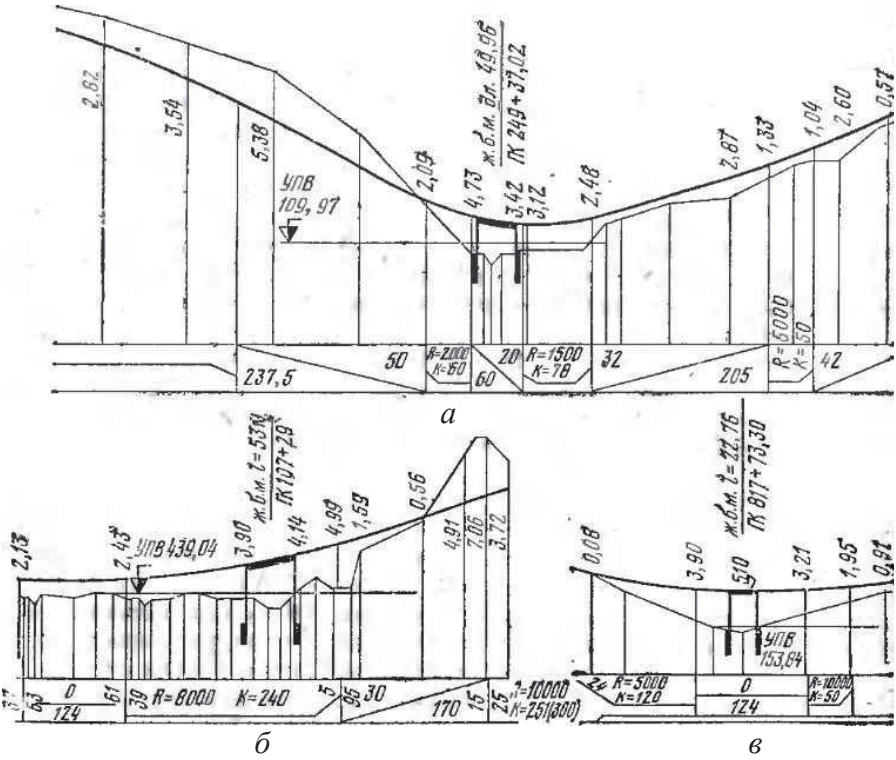


Рис. 2.8. Примеры нанесения проектной линии у малых мостов

2.8. Проектирование кюветов

Организация водоотвода и устройство кюветов как элементов инженерного обустройства автомобильных дорог, обеспечивающих отвод поверхностных, а в выемках – и грунтовых вод, является важной задачей проектирования транспортных сооружений. Правильный выбор основных параметров кюветов обеспечивает сохранение оптимального гидрогеологического режима основания земляного полотна дороги, ее долговечность как инженерного сооружения.

Двухсторонние кюветы обычно проектируют при прохождении дороги в выемках. В зависимости от характера рельефа на участках трассы, выполняемой в насыпи, могут устраиваться с нагорной стороны односторонние кюветы (см. рис. 1.6).

При проектировании кюветов следует соблюдать следующие правила.

1. Нормальная глубина кювета принимается равной 0,6 м. На горизонтальных участках трассы глубина кювета в середине участка или в точке начала кювета может быть уменьшена до 0,2 м.

2. В выемках уклоны кюветов назначаются равными уклонам дорожного полотна по оси дороги.

3. Минимальные продольные уклоны по дну кюветов для обеспечения стока воды устанавливаются в 5‰ (в исключительных случаях допускается снижение уклона до 3‰).

4. Проектирование кюветов начинают с возвышенных участков проектной линии. На всем протяжении каждого участка – от водораздела до выхода к искусственному сооружению или до места сброса воды из канавы – необходимо, чтобы уклон кювета был направлен в одну сторону.

5. В насыпях на косогорах следует предусматривать устройство водопропускных отверстий через земляное полотно для отвода вниз по склону воды, собираемой нагорными кюветами. В любом случае необходимо использовать каждую возможность отвода воды из канав в пониженные места рельефа в сторону от дороги.

6. На участках насыпей высотное положение дна кюветов определяется относительно фактического рельефа, что устанавливает уклон этого водоотводного элемента равным уклону фактической поверхности по линии основания насыпи. Следует обратить внимание, что при значительных поперечных уклонах положение точек начала и конца левого и правого кюветов может отличаться по пикетажу.

Отметки дна начала и конца каждого участка двухстороннего или одностороннего кюветов выписываются в соответствующие графы профильной сетки с указанием пикетажа этих точек.

Точки конца кюветов фиксируются вертикальными линиями над профилем с указанием их пикетажа и направления отвода воды от полотна дороги (см. рис. 2.4, 2.5).

3. ОЦЕНКА ВАРИАНТА ПРОЕКТА ТРАССЫ

3.1. Основные показатели трассы

В зависимости от стадии проектирования материалы трассирования могут оформляться как промежуточные, либо как окончательные проектные. На стадии проекта основной целью является разработка альтернативных вариантов трассы и выбор оптимального из них, исходя из технико-экономических показателей. Для этого по каждому из вариантов трассы определяется ряд показателей, анализ которых, во-первых, позволяет судить о качестве проектирования и, во-вторых, выбрать рабочий вариант трассы с минимальной строительной стоимостью.

Основными документами для оценки проекта трассы являются ее план и продольный профиль, полученные в ходе камерального или полевого трассирования. Определяются следующие показатели:

трассы – длина варианта L, км; длина воздушной линии L_B (на протяженных трассах – длина геодезической линии), км; протяженность вольных и напряженных ходов, км и % от общей длины; коэффициент развития трассы (отношение длины варианта к длине воздушной линии);

плана – длины прямых и кривых, км и %; минимальные и средние радиусы кривых, м; сумма углов поворота;

профиля – руководящий уклон, ‰; протяженность наклонных и горизонтальных участков, км и % (в том числе с руководящим уклоном); сумма преодолеваемых высот по направлениям, м;

объемно-строительные – объем земляных работ, м^3 (в том числе насыпей и выемок); число малых искусственных сооружений; число средних и больших мостов; число и характеристики других сооружений в количественных и объемных показателях (например, объем бетонных работ и т.п.).

По этим четырем группам показателей оценивают качество вариантов и одновременно самого трассирования. Например, при большом коэффициенте развития трассы ($L/L_B > 1{,}2$) процент использования руководящего уклона мал – менее 50%, что указывает на возможность поиска другого варианта с лучшим уложением трассы в плане.

Основные геометрические показатели проекта определяются после завершения разработки плана и профиля трассы и записываются в форме табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные показатели трассы

<table>
<tr><td rowspan="3">Показатели трассы</td><td rowspan="3">L</td><td rowspan="3">L_B</td><td colspan="3">Уклоны, км</td><td rowspan="3">$K_р$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$i < i_{пр}$</td><td>$i = i_{пр}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">(%)</td><td>(%)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Показатели плана</td><td colspan="2">Длина, км</td><td colspan="2">Радиусы кривых, м</td><td rowspan="2">Σθ</td></tr>
<tr><td>прямых</td><td>кривых</td><td>min</td><td>средние</td></tr>
<tr><td>(%)</td><td>(%)</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">Показатели профиля</td><td colspan="2" rowspan="3">$i_{пр}$ = ‰</td><td colspan="4">Протяженность, км</td></tr>
<tr><td colspan="3">уклонов</td><td>площадок</td></tr>
<tr><td colspan="3">(%)</td><td>(%)</td></tr>
</table>

Выполняя сравнение вариантов по приведенным выше группам показателей, следует оговориться, что автомобильные дороги относятся к числу инженерных сооружений, характеризуемых, как правило, не только единовременными капитальными затратами на строительство, но и значительными текущими ежегодными затратами на обслуживание и ремонт дороги. Таки образом, правильный выбор варианта может быть обеспечен только при учете как строительной, так и эксплуатационной стоимости дороги.

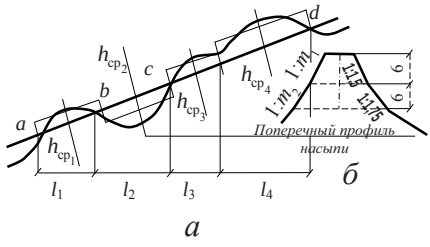
3.2. Расчет объемов земляных работ

Полная оценка по основным показателям, т.е. подсчет строительной стоимости варианта, включающий в себя затраты по сооружению земляного полотна автодороги, искусственных соору-

жений на трассе и др., является достаточно сложной комплексной экономической задачей и в рамках данной расчетно-графической работы не выполняется. Следует отметить, что в сравнительной оценке вариантов важнейшей составляющей частью расчетов является определение объемов и стоимости земляных работ, так как в линейных сооружениях эти показатели в значительной степени (на 40–60%) определяют общую стоимость работ.

При разработанном профиле трассы объемы земляных работ наиболее просто и достаточно точно рассчитывают по *методу средних рабочих отметок* выемок и насыпей, при котором каждый участок выемки или насыпи неправильной формы заменяется прямоугольником, высота которого равна средней рабочей отметке участка (рис. 3.1, *а*). В насыпях и выемках большой протяженности (участок *c-d*) рабочие отметки могут значительно изменяться по длинам участков l_i, в связи с чем такие участки рекомендуется разбивать на части с приблизительно одинаковыми рабочими отметками. Объем земляных работ может быть получен по специальным таблицам, составленным для типовых поперечных профилей или аналитически. При подсчете следует обратить внимание, что ширина выемок включает в себя кюветы, ширина и глубина которых на горизонтальных участках изменяются. Для высоких насыпей откосы возводят ступенями, уменьшают их крутизну через каждые шесть метров в соответствии с требованиями СП (рис. 3.1, *б*).

При необходимости повышения точности объемы насыпей и выемок могут быть вычислены по отдельным элементарным фигурам, представляющим собой трапецеидальный призматоид, ограниченный поперечными сечениями, проходящими через пикеты и плюсовые точки, по формуле Винклера (рис. 3.2):



а

Рис. 3.1. Схема подсчета объемов методом средних рабочих отметок

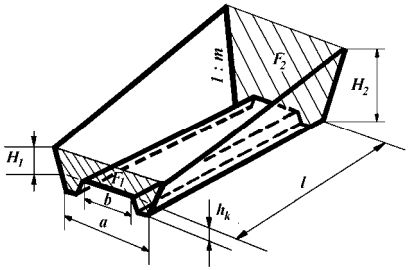


Рис. 3.2 Определение объемов земляных работ

$$V_{1-2}=\left[\frac{F_1+F_2}{2}-\frac{m(H_1-H_2)^2}{6}\right]l_{1-2}, \quad (3.1)$$

где F_1 и F_2 – площади поперечного сечения в соответствующих пунктах продольного профиля, определяемые как

$$F_i=a_iH_i+mH_i^2; \quad (3.2)$$

H_i – рабочая отметка в точке поперечника; m – коэффициент откоса.

Объем земляных работ рассчитывается, исходя из условий задания и нижеприведенных параметров типового поперечного профиля:

- ширина земляного полотна (расстояние между бровками) принимается равной 8–10 м;
- общая ширина выемки a по дну рассчитывается с учетом ширины кюветов d, вычисляемой по формуле:

$$d=2h_km_k+c,$$

в которой для типового профиля принимается:

глубина кювета h_k = 0,6 м;

ширина кювета по низу c = 0,4 м;

коэффициент откоса 1 : m_k = 1 : 1,5.

Следует обратить внимание, что на горизонтальных участках в выемках параметры кюветов - ширина и глубина вдоль профиля трассы – изменяются и должны быть учтены при вычислении ширины выемки:

- при расположении трассы на местности, имеющей нулевой уклон, необходимо земляное полотно поднять на 1 м;
- для высоких насыпей, возводимых ступенями, крутизна откосов устанавливается в соответствии с рис. 3.1, *б*;
- при пересечении трассой водотоков и необходимости сооружения мостового перехода насыпи устраивают в плане

до отметки +3 м над урезом воды, с учетом чего и определяется их фактическая протяженность;

– объем земляных работ при устройстве кюветов вычисляется для кюветов переменного сечения на участках с $i_{\text{трассы}} < 0{,}003$:

$$V_k = (f_1 + f_2)\frac{S}{2};$$

– для типового профиля кювета при $i_{\text{трассы}} > 0{,}003$

$$V_k = f_k S,$$

где f_i – площадь расчетного сечения кювета, S – длина участка в выемке.

Вычисленные объемы насыпей и выемок составляют *профильный объем* земляных работ, дополнительно к которому должны быть учтены объемы по снятию растительного грунта и устройству проезжей части. Также должны быть учтены разрывы, образованные мостами длиной более 4 м, для чего необходимо методом интерполяции определить рабочие отметки в точках начала и конца моста (НМ и КМ). Подсчет объемов земляных работ но трассе выполняют в ведомостях с попикетной разбивкой и указанием плюсовых точек в табл. 3.1.

Основная итоговая характеристика – *километровый объем* земляных работ, вычисляемый из соотношения:

$$q = \sum |V| / L,$$

где $q = \sum |V|$ – суммарный объем земляных работ по трассе, характеризующий категорию трудности строительства транспортного сооружения; L – длина варианта трассы.

Важной характеристикой является значение дисбаланса земляных масс, характеризующего качество проекта и стоимость будущего строительства, и определяемое по формуле:

$$D = \frac{\sum V^+ - \sum V^-}{q = \sum |V|}.$$

Дополнительно обратим внимание на следующее. Так как все необходимые геометрические параметры (расстояние по трассе,

Таблица 3.1

Подсчет объемов земляных работ

Пикетаж поперечников	Рабочая отметка, H_i	Ширина кюветов, м Объем, м^3	Общая ширина выемки a, м	F_i, м^2	Объемы, тыс.м^3	
					насыпь	выемка
ПК						
ПК						
ПК						
ПК						
ПК						
Общий объем:	По кюветам $\Sigma V_к =$				$\Sigma V^+ =$	$\Sigma V^- =$
	$q_{км} =$ $D =$				$\Sigma \lvert V \rvert =$	

рабочие отметки) получают с ошибками, зависящими от точности используемых при проектировании топографических материалов (инженерно-топографический план, ЦМР) и вычисления отметок точек по трассе, то при подсчете объемов земляных работ на их точность влияют смещение оси пути в плане из-за ошибок в углах поворота трасы, смещение оси пути в профиле из-за ошибок определения фактических отметок земли и ошибки определения поперечного уклона местности. Установив допустимую точность определения объемов земли и вычислив необходимую точность определения геометрических параметров земляных сооружений по трассе, можно составить требование к точности соответствующих топографических материалов и видов геодезических работ [1, 10].

Поперечный уклон менее 100‰ мало влияет на объем работ и обычно при оценке вариантов по материалам камерального трассирования не учитывается.

Впоследствии при составлении рабочей документации на постройку дороги к объемам, вычисляемым по формулам, необходимо будет вводить поправки, учитывающие: дополнительные работы по удалению растительного грунта, различие в степени уплотнения грунтов в условиях естественного залегания и в насыпях; просадки насыпей на слабых основаниях и др.

3.3. Полевое трассирование

В результате камерального трассирования (по картам, аэрофотоснимкам или ЦКМ) и расчета объемных и экономических показателей по конкурирующим вариантам выбирают линии для полевого обследования, в процессе которого устанавливают окончательное положение трассы.

Выбранный вариант трассы выносится на местность и закрепляется (определяют в натуре положение углов поворота и выполняют трассировочные работы: вешение линий, измерение углов и сторон хода, разбивку пикетажа и поперечников, нивелирование, закрепление трассы, съемку полосы местности вдоль трассы или съемку текущих изменений при наличии планов), а также крупномасштабную съемку переходов, пересечений, примыканий, мест со сложным рельефом и т.д. К пикетажу привязывают все геологические выработки, точки геофизической разведки и гидрометрических измерений.

Ширина полосы съемки вдоль трассы составляет на незастроенных территориях в зависимости от рельефа 100–200 м и позволяет скорректировать положение оси трассы, точек перелома профиля, размещение элементов обустройства дороги для принятия окончательного решения на строительство.

3.4. Обеспечение требований охраны окружающей среды при проектировании

При выборе направления трассы необходимо учитывать требования защиты окружающей среды. Постройка дороги вносит большие изменения в экологическое равновесие природы и хозяйственную жизнь района ее проложения. Процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) обязательны при экономическом обосновании развития дорог [7]. Результаты ОВОС служат основой при проектировании экологических мероприятий при разработке собственно строительных объектов.

Изъятие земель под постройку дороги и изменение границ угодий может нарушить рациональную систему севооборотов и принести большой экономический ущерб сельскому хозяйству, вызывает необходимость перепланировки земельных угодий. Проложение дороги по ценным плодородным землям, кроме того, значительно удорожает будущую дорогу за счет стоимости отводимых земель.

Необходимо при выборе положения трассы учитывать не только загрязнение придорожной полосы, но и водотоков, вызванное сбросом поверхностных вод с загрязненных дорогой территорий.

При невозможности обхода лесных массивов положение трассы устанавливается по пути их кратчайшего пересечения с учетом направления преобладающих ветров для аэрации территории.

Трасса должна обходить заповедники и заказники, зоны, отнесенные к памятникам природы и культуры. По возможности желательно вдоль рек, озер и других водоемов прокладывать дороги за пределами водоохранных зон.

Подрезка склонов и перегрузка их насыпями может вызвать активизацию оползневых и других физико-геологических процессов. При прокладке дорог вдоль косогора дорожные канавы, перехватывая стекающую поверхностную воду, вызывает изменение гидрогеологических условий с низовой стороны склона, что приводит, например, к засыханию деревьев.

На пересечениях болот насыпи, уплотняя торф, прерывают просачивание грунтовой воды, вызывают развитие заболачивания.

При проходе дороги вблизи от населенных пунктов и особенно при использовании улиц автомобильное движение является источником загрязнения воздуха отработанными газами двигателей, шума и вибрации, которые распространяются до прилегающих к дорогам строений, отражаются на здоровье и работоспособности населения. Колебания зданий при движении транспорта может вызвать их дополнительные деформации, особенно на сла-

бых грунтах и вследствие возможных изменений гидрогеологического режима территории.

Наиболее значительный фактор экологического вреда – интенсивность транспортного шума может быть уменьшен приложением дороги на гаком расстоянии от застройки, при котором он не превышает допустимых норм. При невозможности этого автомобильные магистрали с интенсивным движением располагают в выемках и тоннелях, устанавливают вдоль дороги звукопоглощающие ограждения.

Учет требований охраны природы при проектировании дорог не должен ограничиваться только мерами но ее защите. Продуманная постройка дороги может существенно улучшить местность осушением болот, созданием водохранилищ, закреплением песков, повышением устойчивости склонов, предохранением почв от эрозии и др.

Как видно из описания задач охраны окружающей среды, большая часть из них может быть успешно решена при камеральном трассировании путем изменения плана прохождения трассы и ее профиля. Особенно внимательно и грамотно должны быть использованы при формировании профиля трассы, организации водоотвода формы естественного рельефа и гидрографические объекты в полосе трассы.

Учет требований охраны окружающей среды неизбежно осложняет дорожное строительство. Однако в районах с высокой плотностью населения эти затраты являются необходимыми и вполне оправданными.

3.5. Основы автоматизированного проектирования автодорог

Для решения задач проектирования автодорог компьютерная программа должна представлять собой совокупность геодезических, математических и картографических методов и средств, позволяющих создавать цифровые модели местности, выдавать в

печатном виде топографические карты и планы, накапливать топографо-геодезическую информацию и решать различные инженерно-геодезические задачи.

Для этого необходима интегрированная информационная среда, соединяющая в себе модули для решения геодезических задач, модули по работе с графикой, систему управления базой данных (СУБД) и модули для автоматизированного проектирования. Такая идеология подразумевает полный спектр согласованных информационно-технологических решений, которые получаются на основе взаимодействия всех модулей на разных этапах создания проекта.

На данный момент на российском рынке представлено несколько систем, позволяющих реализовать ряд инженерно-геодезических задач по проектированию и строительству автомобильных дорог. Самыми распространенными являются: CADdy – производство компании ZIEGLER – Informatics GmbH (Германия), CREDO – производство фирмы CREDO-DIALOG (Белоруссия), технологическая линия Softdesk, автоматизированная система проектирования GIP и др.

3.6. Краткое описание автоматизированной системы проектирования CREDO

Программный комплекс CREDO предназначен для обработки инженерных изысканий, проектирования генпланов и автодорог. Комплекс состоит из отдельных модулей, которые работают с единым набором данных в общей оболочке, обеспечивая непрерывность процесса обработки изысканий и проектирования и внедрение современных эффективных технологий [13].

Функции модулей CREDO предоставляют следующие возможности.

1. Собирать и обрабатывать топогеодезическую информацию различными методами – электронными геодезическими прибора-

ми различных типов, традиционными методами линейных и площадных изысканий, сканированием существующих картматериалов, использованием материалов, созданных в других системах.

2. Формировать ЦММ инженерного значения и предоставлять их для дальнейшего использования в «бумажном» (планшеты и листы) и электронном виде.

3. Создавать объемную геологическую модель местности на основе методики, позволяющей одновременно строить и корректировать несколько вертикальных инженерно-геологических разрезов произвольной топологии.

4. Проектировать и «вести» с использованием ЦММ генпланы детальной планировки, коммуникаций, красных линий, разбивочные и т.д.

5. Проектировать геометрию транспортных объектов любой сложности (трассы, транспортные развязки, перекрестки, путепроводы).

6. Экспортировать данные по запроектированным на плане (в ЦММ) линейным сооружениям в другие CAD-системы для детального проектирования дорог (CAD-CREDO), газопроводов (GAZNET), водопроводов и канализаций (КАСКАД).

7. Выполнять полный комплекс проектно-изыскательских работ для проектирования автомобильных дорог.

Комплекс обеспечивает связь с другими системами с помощью файлов текстового и 2,3D DXF форматов, что позволяет эффективно вписывать модули CREDO в уже сложившиеся технологические цепочки.

Каждый модуль CREDO участвует в едином технологическом процессе, являясь в то же время самостоятельной программой, и может эксплуатироваться отдельно.

Комплекс состоит из пяти отдельных частей:

CREDO_DAT – система, обеспечивающая сбор и обработку топографической информации.

CREDO_TER – система создания и представления цифровой модели местности.

CREDO_PRO – система пространственного геометрического проекти-рования объектов транспортного строительства.

CREDO_GEO – система формирования математической пространствен-ной модели геологического строения площадки или полосы изысканий.

CAD_CREDO – система обработки линейных изысканий, проектирования нового строительства и реконструкции автомобильных дорог.

Для выполнения данной работы будут необходимы системы CREDO_DAT, CREDO_TER и CAD_CREDO.

Все задачи системы CREDO_DAT имеют общую базу данных по объекту. Количество объектов, находящихся одновременно в обработке, т.е. на жестком диске в одном рабочем каталоге, ограничено только объемом жесткого диска.

Проектирование автодороги в системе CREDO осуществляется по следующей технологической цепочке: подгрузка растровой подложки BMP и цифровой модели рельефа (ЦМР); создание трассы по ЦМР (несколько вариантов); экспорт трассы в CAD_CREDO; введение параметров проектирования трассы в CAD_CREDO; проектирование продольного профиля; получение выходных документов по оптимальному варианту трассы.

Подгрузка растровой подложки BMP и цифровой модели рельефа (ЦМР). Автомобильная дорога проектируется по уже созданной цифровой модели местности в CREDO_TER.

Цифровая модель рельефа в CREDO_TER – это множество треугольных граней, построенных на точках (вершинах граней) с координатами *X*, *Y*, *Z*. На основе ЦМР системами CREDO решаются задачи проектирования инженерных объектов, и при этом рельеф поверхности отображается на экране и в твердых копиях так же, как и на топографических картах и планах: горизонталями, условными знаками обрывов и откосов и т.д.

Функции модуля CAD_CREDO. Система автоматизированного проектирования CAD_CREDO предназначена для проектирования, строительства и реконструкции автомобильных дорог II-V технической категории.

Функции CAD_CREDO обеспечивают:

увязку элементов закруглений плана трассы;

проектирование продольного профиля методом сплайн-интерполяции опорных точек или методом динамической оптимизации;

корректировку профиля в интерактивном режиме, сохранение и сравнение вариантов;

проектирование поперечных профилей с привязкой к конкретным условиям местности и с учетом ранее принятых проектных решений;

расчет осадки насыпи на слабом основании на определенном пикете;

расчет устойчивости откосов земляного полотна (без подтопления и с подтоплением);

проектирование выравнивания продольного и поперечного профилей при реконструкции полотна дороги, расчет объемов выравнивающих слоев и срезки существующего покрытия;

конструирование и прочностной расчет дорожной одежды нежесткого типа;

расчет объемов земляных, укрепительных и планировочных работ с использованием цифровой модели местности и математической модели проектного решения;

моделирование движения одиночных автомобилей и транспортных потоков в существующих и проектируемых дорожных условиях;

транспортно-эксплуатационную и экологическую оценку проекта: стоимость перевозок, скорость движения, расход топлива, безопасность, объемы токсичных выбросов;

проектирование экологических мероприятий;

визуальную и аналитическую оценку перспективных изображений участков дороги;

создание чертежей (типа DXF и PLT), таблиц и ведомостей.

3.7. Проектирование земляного полотна

При проектировании земляного полотна можно найти несколько вариантов продольного профиля, получить в табличной форме результаты проектирования, сделать расчет и корректировку продольного водоотвода, просмотреть на экране продольный и поперечные профили, создать файлы обменного формата с результатами проектных решений для дальнейшей работы в системе CREDO_TER, выполнить расчет осадки насыпи на слабом основа-нии, проверку устойчивости откосов на отдельно взятом пикете, а также рассчитать объемы работ.

3.8. Проектирование продольного и поперечного профилей

В функции «проектирование продольного профиля» при проектировании линия продольного профиля представляется в виде последовательности гладко сопрягаемых кубических и квадратных парабол с возможным включе-нием отрезков прямых.

Существует три способа проектирования.

Автоматизированный, при котором осуществляется программный кон-троль соблюдения требований проектировщика по минимально допустимым радиусам, максимальным уклоном и контрольным отметкам.

Сплайн-интерполяция опорных точек, при которой проектирование продольного профиля осуществляется без оптимизации проектной линии вводом необходимых узловых точек, через которые пройдет проектная линия. При выборе этого способа расчета необходимо контролировать полученные радиусы и уклоны.

Конструирование проектной линии по опорным точкам и элементам в режиме просмотра, который возможен при отсутствии проектного профиля. При выборе этого способа также необходим контроль полученных радиусов и уклонов.

В системе используются два метода проектирования продольного профиля, которые в дальнейшем условно определены как:

автоматизированное проектирование в режиме оптимизации;

конструирование проектной линии по опорным точкам и элементам.

Результатом проектирования является проектная линия профиля, представленная в виде последовательности гладко сопрягаемых криволинейных или прямолинейных элементов.

Метод автоматизированного проектирования предусматривает программный контроль соблюдения требований проектировщика по минимально допустимым радиусам, максимальным уклонам и контрольным отметкам. Если в пределах требований проектировщика теоретически возможно решение, то соблюдение требуемых ограничений по радиусам и уклонам гарантировано.

При конструировании проектной линии по опорным точкам и элементам контроль соблюдения требований по минимально допустимым радиусам и максимально допустимым уклонам возлагается на проектировщика.

Программная реализация обоих методов предусматривает их независимое использование и полную совместимость результатов их работы в последующих расчетах, при уточнениях или перепроектировании проектной линии продольного профиля.

Задача проектирования поперечного профиля позволяет изменить параметры откосов насыпи, выемки, кюветов, запроектировать продольный водоотвод, просмотреть проектные поперечные профили, а также сделать расчет осадки насыпи и устойчивости откосов на отдельном пикете.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авакян В.В., Степанова Ю.А.* Прикладная геодезия: инженерно-геодезические изыскания и топографические съемки. М.: Амалданик, 2017.
2. *Бабков В.Ф., Андреев О.В.* Проектирование автомобильных дорог. М.: Книга по требованию. 2013.
3. *ГОСТ Р. 21.1701-97 СПДС.* Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог.
4. *ГОСТ Р 52398-2005.* Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования.
5. *ГОСТ Р 52766-2007.* Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. М.: 2008.
6. *Климов О.Д., Калугин В.В., Писаренко В.К.* Практикум по прикладной геодезии. Изыскание, проектирование и возведение инженерных сооружений. М.: Альянс, 2015.
7. *Мельников А.А.* Безопасность жизнедеятельности. Топографо-геодезические и землеустроительные работы. М.: Академический проект, Трикста, 2012.
8. *Митин Н.А.* Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах. М.: Недра, 1978.
9. *СП 34.13330.2012.* Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*. М.: 2012.
10. *СП 47 13330.2012.* Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11.02.96.
11. *Строительство* и реконструкция автомобильных дорог /Под ред. Васильева А.П. Информавтодор. М.: 2005.
12. *Федотов Г.А., Поспелов П.И.* Изыскания и проектирование автомобильных дорог. М.: Высшая школа, 2009.
13. www.credo-dialog.com.

Внутривузовское издание

Подписано в печать 01.09.2018 г. Гарнитура Таймс
Формат 60×90/16 Бумага офсетная
Объем 4 усл. печ. л
Тираж 25 экз. Заказ № 110

Отпечатано в Типографии МИИГАиК