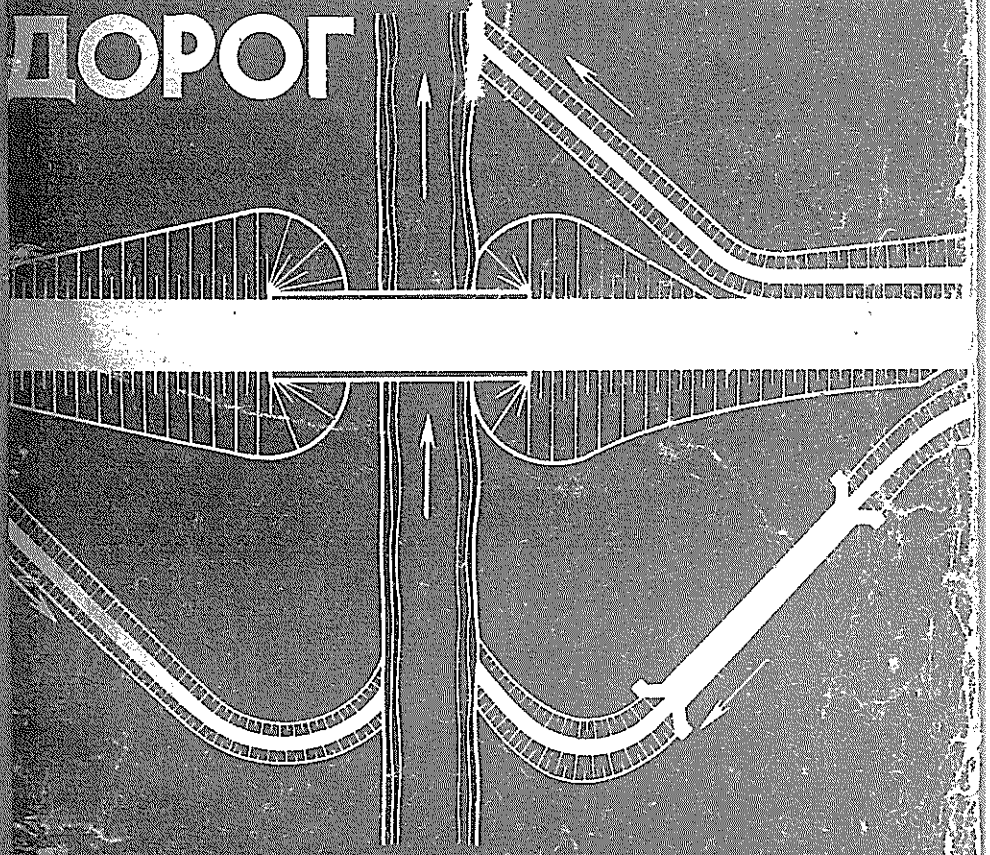
Цена 45 к.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ТРАНСПОРТ

И.М. КРАСИЛЬЩИКОВ
Л.В. ЕЛИЗАРОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ



29/XII-90г.
№ 3005
25/IV
5916 об
до 11.06.93

625
К92

И.М.КРАСИЛЬЩИКОВ
Л.В.ЕЛИЗАРОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Долущено Управлением учебных заведений Министерства автомобильных дорог РСФСР в качестве учебного пособия для автомобильно-дорожных техникумов

Москва ·Транспорт· 1986

УДК 625.72(075.8)

Красильщиков И. М., Елизаров Л. В. Проектирование автомобильных дорог: Учебное пособие для техникумов. — М.: Транспорт, 1986. — 215 с.

Рассматривается проектирование трассы в плане и продольном профиле, земляного полотна, системы водоотвода, дорожной одежды, оборудования и благоустройства дороги; излагаются методы определения отверстий водопропускных сооружений на малых водотоках, объемов работ по строительству автомобильной дороги, экономические обоснования выбора варианта дорожной одежды. Особое внимание уделено обеспечению безопасности движения, охране окружающей среды, оформлению проектов. Приводятся сведения об автоматизированном проектировании дорог. Рассмотрен пример проектирования участка дороги и даны методические указания по выполнению курсового проекта.

Пособие предназначено для учащихся автомобильно-дорожных техникумов, обучающихся по специальности 1216 «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог».

Ил. 79, табл. 89, библиогр. 26 назв.

Книгу написали: гл. 2—7 и 11 — И. М. Красильщиков, предисловие, гл. 1, 8—10, 12 и 13 — Л. В. Елизаров.

Рецензенты: канд. техн. наук В. С. Порожняков и Н. П. Ляшенко.

Заведующий редакцией В. В. Мартыненко.

Редактор Л. Н. Пустовалова.

Республиканская научно-техническая БИБЛИОТЕКА Госплана Азерб. ССР

К $\frac{3602030000-091}{049(01)-86}$ 158-86

© Издательство «Транспорт», 1986

353536

ПРЕДИСЛОВИЕ

Возрастающая автомобилизация народного хозяйства страны предопределяет дальнейшее постоянное развитие и совершенствование сети автомобильных дорог.

В выполнении задач дорожного строительства большая роль принадлежит дорожникам-проектировщикам, которые должны предусматривать в проектах все новое и прогрессивное, достигнутое в области проектирования современных автомобильных дорог.

Практические навыки основ проектирования и составления проектной документации будущие техники-дорожники получают при выполнении практических работ и курсового проекта, предусмотренных программой курса «Изыскания и проектирование автомобильных дорог».

В пособии кратко излагаются основы проектирования автомобильных дорог, приводятся необходимые нормы проектирования дорог и справочный материал, дается подробный сквозной пример проектирования участка автомобильной дороги с оформлением материалов проекта в соответствии с требованиями ЕСКД и СПДС.

Состав курсового проекта охватывает основные части реального рабочего проекта. Пособие может быть использовано и при выполнении дипломных проектов на темы: «Проект участка автомобильной дороги» и «Проект реконструкции участка автомобильной дороги».

При разработке пособия использовались работы МАДИ, Союздорпроекта, Гипродорнии и других организаций, занимающихся проектированием автомобильных дорог.

Авторы надеются, что настоящее пособие поможет учащимся преодолеть трудности, возникающие при выполнении курсового и дипломного проектов.

I. ОБЩИЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

К исходным данным для проектирования автомобильных дорог относятся: установленный состав проекта; экономическая характеристика района проложения трассы; природные условия; технические условия проектирования дороги.

1.1. СОСТАВ ПРОЕКТА НА СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Проектирование предприятий, зданий и сооружений, в том числе и автомобильных дорог, осуществляется [7]:

в одну стадию — рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости — для дорог, строительство которых будет осуществляться по типовым и повторно-применяемым проектам, а также для дорог в несложных условиях;

в две стадии — проект со сводным сметным расчетом стоимости и рабочая документация со сметами — для других автомобильных дорог.

Стадийность разработки проектно-сметной документации устанавливается заказчиком в задании на проектирование.

Разделы проекта (рабочего проекта) должны излагаться в четкой и лаконичной форме, характеризовать и обосновывать основные проектные решения с учетом результатов вариантных проработок, а приводимые показатели и итоговые данные расчетов и обоснований — оформляться в основном в табличной форме.

Текстовые и графические материалы, разрабатываемые в составе проектной документации, необходимо оформлять в соответствии с требованиями государственных стандартов СПДС.

В зависимости от стадийности состав проекта несколько меняется. Состав проекта при двухстадийном проектировании:

Часть 1. Общая.
1.1. Пояснительная записка.
1.2. План трассы дроги.
Часть 2. Строительные решения.
2.1. Подготовка территории строительства.
2.2. Земляное полотно и дорожная одежда.

2.3. Искусственные сооружения.
2.4. Пересечения и примыкания.
2.5. Дорожные устройства и обстановка дороги.
2.6. Дорожная и автотранспортная служба.
Часть 3. Строительные материалы.
Часть 4. Отвод и рекультивация земель.
Часть 5. Организация строительства.
Часть 6. Сметная документация.
6.1. Сводный сметный расчет.
6.2. Объективные и локальные сметные расчеты.
6.3. Построечный каталог индивидуальных единичных расценок.

При учебном проектировании состав курсового проекта приближен к составу рабочего проекта на строительство автомобильной дороги, что является достаточным для решения задач и достижения целей курсового проектирования. Состав курсового проекта представлен в бланке задания на проектирование в гл. 13.

Проект дороги в реальных условиях составляется на основе материалов изысканий, а при учебном проектировании — на основе задания. Исходные данные для проектирования конструктивных элементов автомобильной дороги приводятся в соответствующих главах пособия.

1.2. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ПРОЛОЖЕНИЯ ТРАССЫ

Экономическая характеристика района проложения трассы включает в себя: краткую характеристику развития народного хозяйства района тяготения; развитие транспорта и дорожной сети на рассматриваемой территории; обоснование роли проектируемого участка автомобильной дороги в общей работе сети дорог района; установление категории дороги.

Указанные сведения при реальном проектировании собираются в процессе изысканий дороги, а при выполнении учебных проектов принимаются по энциклопедиям.

1.3. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ПРОЛОЖЕНИЯ ТРАССЫ

Природные условия существенно влияют на выбор направления дороги и конструкцию отдельных ее элементов. Природные условия определяют число, размеры и конструкцию дорожных сооружений, влияют на объемы дорожно-транспортных работ и общую стоимость дороги. К местным природным (геофизическим) условиям, оказывающим влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию автомобильных дорог, относятся: климат, рельеф, растительность и почвы, инженерно-геологические, грунтовые, гидрологические и гидрогеологические условия.

Климатические условия оказывают значительное влияние на количество и режим поверхностных вод, высоту стояния подземных вод, количество, интенсивность и форму атмосферных осадков, водно-тепловой режим земляного полотна, продолжительность строительного сезона. Особенно большое влияние климатические условия оказывают на условия эксплуатации дорог.

Климатические условия характеризуются температурами воздуха, количеством осадков, скоростью и направлением ветра, высотой снежного покрова, глубиной промерзания, числом дней в году с метелями, гололедом, оттепелями, туманами и т. д. Все перечисленные данные принимаются по климатическим справочникам, энциклопедиям и СНиП 2.0101-82 «Строительная климатология и геофизика». По климатическим условиям территория СССР делится на пять дорожно-климатических зон (рис. 1.1).

Рельеф местности определяет величину применяемых при выборе трассы продольных уклонов, обусловливает необходимость обхода возвышенных или пониженных мест, развитие линии по склону. От рельефа зависит количество воды, поступающей к трубам и малым мостам. От экспозиции выбранного для трассы склона зависит водно-тепловой режим земляного полотна. Особенности рельефа сказываются на выборе способов производства земляных работ и месторасположении вариантов трассы. В процессе эксплуатации дороги условия рельефа отражаются на стоимости автомобильных перевозок.

При изысканиях автомобильных дорог условия рельефа местности оцениваются по картам или непосредственно в поле, при курсовом проектировании — по топографической карте.

Почвенно-грунтовые условия также учитываются при выборе направления трассы. Почва или растительный слой грунта оценивается с точки зрения использования его для укрепления откосов земляного полотна и восстановления (рекультивации) нарушенных в процессе строительства земель. Заболоченные и засоленные участки местности, участки с сыпучими песками обычно обходятся, если это не вызывает значительного удлинения трассы.

От вида грунта зависят величина возвышения бровки земляного полотна и глубина водоотводных канав. При проектировании конструкции дорожной одежды учитывается модуль упругости грунта. От вида грунта зависят трудность его разработки в процессе строительства, условия пучинообразования и размыва водой откосов земляного полотна и водоотводных сооружений. Грунты являются материалом для постройки земляного полотна и влияют на установление формы и размеров земляного полотна.

Растительность. Отдельные виды растительности встречаются только при определенных сочетаниях местных условий, что используется при проектировании дорог, например при дешифрировании аэрофотоснимков. В курсовом проекте почвенные, грунтовые условия и растительность устанавливаются по заданию, литературным источникам и топографической карте.

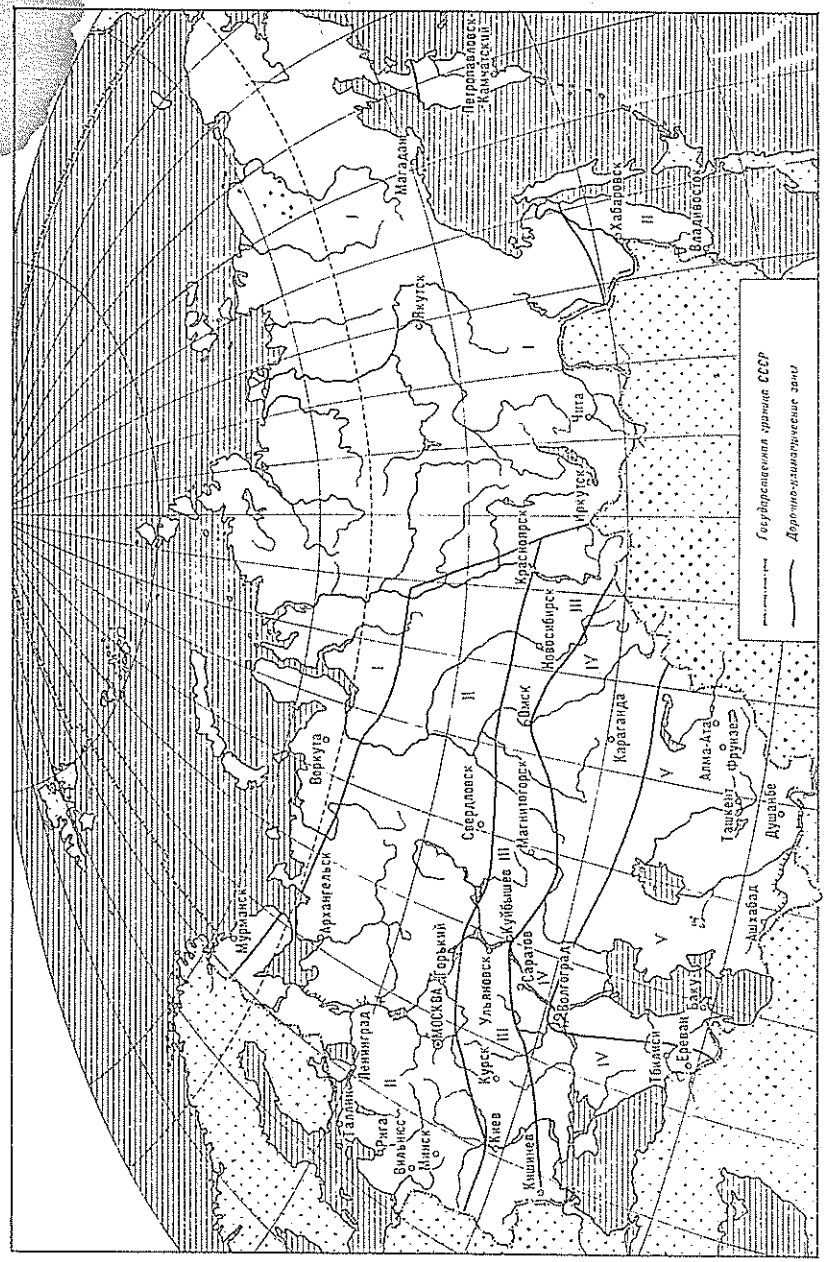


Рис. 1.1. Дорожно-климатические зоны СССР

Древесно-кустарниковая растительность, встречающаяся в районе проложения трассы, оценивается прежде всего с точки зрения пригодности для строительных целей, а также применения для снегозащитного и декоративного озеленения.

Инженерно-геологические условия района проложения трассы обусловливают геологическое строение местности, степень устойчивости горных пород в основании и вблизи земляного полотна, образование угрожающих полотну оползней, осыпей, обвалов, степень трудности разработки грунтов для постройки дороги, наличие или отсутствие местных дорожно-строительных материалов (камня, песка, гравия), которым следует отдавать предпочтение перед привозными материалами. Инженерно-геологические условия определяются в процессе изысканий автомобильной дороги, а в курсовом проекте — по литературным источникам и заданию.

Гидрологические и гидрогеологические условия характеризуются количеством выпадающих осадков, условиями стока и испарения воды, толщиной снегового покрова и интенсивностью весеннего таяния, глубиной залегания грунтовых вод и особенностями их режима, режимов рек и ручьев.

Гидрологические условия (условия увлажнения поверхностными водами) определяют количество и величину водопропускных сооружений, систему и конструкцию водоотводных сооружений, влияют на форму и размеры земляного полотна.

Гидрогеологические условия (условия увлажнения грунтовыми водами) определяют количество и размеры дренажных сооружений.

1.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Технические условия проектирования — это действующие утвержденные нормативно-инструктивные документы, соблюдение которых обязательно при составлении проектов. К нормативно-инструктивным документам относятся СНиПы, ГОСТы, ВСН, СН, указания и инструкции на проектирование отдельных конструктивных элементов автомобильных дорог.

Основным техническим документом на проектирование новых и реконструируемых автомобильных дорог являются Строительные нормы и правила, часть II, раздел Д, глава 5 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» (СНиП 2.05.02-85). Эти нормы устанавливают: классификацию автомобильных дорог по народнохозяйственному значению в общей транспортной системе СССР и величины расчетной интенсивности движения или расчетной годовой грузонапряженности; требования по обеспечению безопасности и организации движения; технические нормативы и транспортно-эксплуатационные показатели; требования к пересечениям и примыканиям; требования к проектированию земляного полотна, проезжей части и дорожных одежд; общие требования к элементам плана, продоль-

Таблица 1.1. Сводная таблица основных норм проектирования автомобильных дорог по СНиП 2.05.02-85

№ п/п	Показатели	Категория дороги								Примечания
		Ia	Iб	II	III	IV	V			
1	2	3	4	5	6	7	8			9
1	Расчетная интенсивность движения, авт./сут	Более 7000 / 14 000	Более 7000 / 14 000	3000—7000 / 6000—14 000	2000—3000 / 2000—6000	200—1000 / 400—2000	≥200 / ≥400			В числителе — количество транспортных единиц, в знаменателе — количество транспортных средств, приведенных к легковому автомобилю
2	Расчетные скорости, км/ч	150 / 120—100	120 / 100—80	120 / 100—80	100 / 80—60	80 / 60—40	60 / 40—30			В числителе — основные скорости, в знаменателе — допускаемые на трудных участках пересеченной и горной местности
3	Нормативная расчетная подвижная нагрузка на одиночную ось двухосного автомобиля, кН	100	100	100	100	60	60			Для расчета прочности дорожных одежд, инженерных устройств, проверки устойчивости земляного полотна
4	Число полос движения, шт.	4; 6; 8	4; 6	2	2	2	1			
5	Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3	—			
6	Ширина проезжей части, м	15; 22,5; 30	15; 22,5	7,5	7,0	6,0	4,5			
7	Ширина обочин, м	3,75	3,75	3.75	2,5	2,0	1,75			
8	Наименьшая ширина укрепленной полосы обочины, м	0,75	0,75	0,5	0,5	—	—			
9	Наименьшая ширина разделительной полосы, м	6	5	—	—	—	—			

Продолжение табл. 1.1

№ п/п	Показатели	Категория дороги						Примечания
		Ia	Iб	II	III	IV	V	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Наименьшая ширина укрепленной полосы на разделительной полосе, м	1	1	—	—	—	—	
11	Ширина земляного полотна, м	28,5; 36; 43,5	27,5; 35	15	12	10	8	
12	Наименьшие радиусы кривых в плане, м	1200	800	800	600	300	150	
13	Наибольшие продольные уклоны в продольном профиле, ‰	30	40	40	50	60	70	
14	Наименьшие радиусы кривых в продольном профиле, м:							
	выпуклых	27 000	15 000	15 000	10 000	5000	2500	В числителе — основные значения, в знаменателе — допустимые в исключительных случаях
	вогнутых	8000 4000	5000 2500	5000 2500	3000 1500	2000 1000	1500 600	
15	Расчетные расстояния видимости, м:							
	поверхности дороги	300	225	225	175	125	85	
	встречного автомобиля	—	—	450	350	250	170	
16	Габариты мостов, м	Г-(13,25+С+13,25) 2(Г-15,25)	Г-(9,5+С+9,5) 2(Г-11,5)	Г-11,5	Г-9,5	Г-8	Г-7	В числителе — габариты мостов с общими пролетными строениями для двух направлений движения, в знаменателе — при раздельных мостах

ного и поперечного профилей искусственных сооружений; классификацию и требования к дорожным устройствам, обстановке и озеленению дорог; общие требования по организации и проектированию дорожной и автотранспортной служб. Основные нормы проектирования автомобильных дорог по СНиП 2.05.02-85 приведены в табл. 1.1.

Пример исходных данных для проектирования дороги

Экономическая характеристика района проложения трассы. Проектируемый участок дороги расположен в Новгородской обл. в Окуловском районе. В районе тяготения дороги в основном представлены лесозаготовка, лесопиление и деревообработка, целлюлозно-бумажная и лесохимическая промышленность. В сельском хозяйстве выделяются мясомолочное животноводство и льноводство.

Основные виды транспорта на территории: железнодорожный, автомобильный и водный. Длина железнодорожных линий в области 1149 км. По территории области проходит железнодорожная магистраль Москва—Ленинград, а также линии Бологое—Псков, Ленинград—Дно, Луга—Новгород. Длина водных путей около 700 км.

Общее протяжение автомобильных дорог в области около 6 тыс. км. Районные центры области связаны с Новгородом автомобильными дорогами с твердым покрытием. Главная задача одиннадцатой пятилетки — связать центральные усадьбы колхозов и совхозов с райцентрами.

Строительство участка автомобильной дороги Тальковцы—Окуловка—Боровичи (15 км) явится частью решения этой задачи.

Начальный пункт участка дороги—рабочий пос. Тальковцы. В поселке имеются мебельная фабрика, предприятия легкой и пищевой промышленности.

По данным экономических изысканий, перспективная на 20 лет интенсивность движения на проектируемом участке дороги составляет 2400 авт./сут.

Климат. По дорожно-климатическому районированию Новгородская обл. относится к II дорожно-климатической зоне, т. е. к зоне избыточного увлажнения. Климат области умеренно континентальный. Основные показатели климата приведены в табл. 1.2—1.4.

Таблица 1.2. **Температура воздуха**

Наименование пункта	Средняя температура воздуха по месяцам, °С													Абсолютно минимальная	Абсолютно максимальная
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год		
Новгород	—9,4	—9,2	—4,7	3,4	11	14,9	17,4	15,2	9,7	3,7	—2	—7,5	3,5	—54	34

Таблица 1.3. **Количество осадков**

Наименование пункта	Среднее количество осадков по месяцам, мм											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Боровичи	47	41	38	48	52	75	87	76	66	59	50	44

Таблица 1.4. **Повторяемость и скорость ветра по направлениям**

Наименование пункта	Направление ветра								Штили	Средняя скорость ветра за 3 мес, м/с	
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ			
	В январе										
Новгород	10 / 5,5	10 / 4	6 / 3,6	14 / 5,8	22 / 6,6	19 / 6,5	10 / 4,6	9 / 5,2	2	Самых холодных	Самых жарких
	В июле										
	13 / 4,5	14 / 3,8	9 / 2,9	11 / 4,3	11 / 4,3	15 / 4	16 / 4	11 / 3,8	7	6,6	4

Сумма осадков за год составляет 683 мм, из них в теплый период года выпадает 463 мм, в холодный 220 мм. Глубина промерзания глинистых и суглинистых грунтов 130 см, супесчаных и песчаных 150 см.

Число дней с устойчивым снежным покровом — 116. Средняя высота снежного покрова за зиму составляет 30 см.

Рельеф. Судя по топографической карте, район проложения трассы по рельефу относится ко 2-й категории сложности, т. е. рельеф слабохолмистый.

Наивысшая отметка местности 195,00 м, самая низкая 159,00 м. Район разделен р. Наумкой примерно пополам. Рельеф носит ярко выраженный моренный характер. Речные долины врезаны слабо, рельеф территории спокойно волнистый. Склоны к рекам относительно спокойные, не расчлененные эрозней. Лишь в южной части района проложения трассы левый берег р. Наумки имеет крутые склоны. Холмы и понижения характеризуются пологими склонами небольшими высотой и глубиной (за исключением горы Белой).

Таким образом, рельеф местности позволяет при проложении трассы осуществить принципы гармонического сочетания проектируемой дороги с окружающей местностью (ландшафтное проектирование).

Рельеф позволяет также обеспечить естественный сток воды, так как уклоны преимущественно более 5‰.

Инженерно-геологические условия. Поверхность Новгородской обл. формировалась в течение длительного времени. Наибольшее значение имело последнее, так называемое Валдайское оледенение. Ледник оставил толстый слой моренных отложений — суглинков, песков и супесей. Материал морены сильно перемешан, содержит много валунов из кристаллических пород, принесенных льдом с севера.

На территории Новгородской обл. имеются разнообразные полезные ископаемые нерудного происхождения. Наибольшее промышленное значение имеют огнеупорные глины, торф, известняки, гравий и пески.

Для строительства проектируемого участка дороги предусматривается использование каменного, песчано-гравийного и песчаного карьеров. Каменный карьер, в котором добывается известняк, расположен у подножия горы Белой (пк 11, влево 250 м). Карьер песчано-гравийной смеси находится на берегу р. Наумки (пк 18, вправо 1,5 км). Песчаный карьер расположен к юго-западу от начального пункта трассы. Запасы материалов в месторождениях достаточные для строительства участка дороги. По своим свойствам материалы пригодны для использования в слоях дорожной одежды.

Почвенно-грунтовые условия. На рассматриваемой территории преобладают дерново-подзолистые почвы. Во впадинах, где застаивается вода, распространены болотные и подзолисто-болотные почвы. Толщина почвенного слоя 10 см. Дерново-подзолистая почва пригодна для рекультивации земель и укрепления откосов земляного полотна.

Растительность. Новгородская обл. находится в пределах южной тайги. Леса занимают более 50 % территории области. Преобладают хвойные леса (ель, сосна). Из лиственных пород распространены береза, осина, ольха и реже дуб, липа, клен, вяз и ясень. Из кустарников распространены крушина, жимолость, орешник, волчье лыко, малина, смородина. Травяной покров составляют: пролеска, ветреница, ландыш, вороний глаз, звездчатка, копытень, печеночница и другие растения.

Древесные и кустарниковые породы пригодны для снегозащитного и декоративного озеленения.

Распаханных земель в районе 20 %. В целом по области болота занимают около 20 % территории, а в районе проложения трассы 11 %. Лугами занято 7 % земель.

Гидрологические и гидрогеологические условия. Для рассматриваемого района характерно обилие поверхностных вод. Основная причина большой водности района — избыточная влажность. Из годового количества осадков испаряется 326 мм, остальная влага скатывается по склонам, питая реки, озера, болота. Увлажненню местности способствуют также широкое распространение водоупорных и слабопроницаемых пород, залегающих близко к

Таблица 1.5. **Нормы на проектирование участка дороги Тальковцы — Окуловка — Боровичи**

№ п/п	Показатели	Величина показателя
1	2	3
1	Расчетная перспективная (на 20 лет) среднесуточная интенсивность движения, авт./сут	2400
2	Категория дороги	III
3	Расчетная скорость, км/ч	100
4	Ширина полосы отвода (осредненная), м:	
	на землях сельскохозяйственного назначения	26
	на землях, непригодных для сельского хозяйства	36
5	Число полос движения	2
6	Ширина полосы движения, м	3,5
7	» проезжей части, м	7,0
8	» земляного полотна, м	12,0
9	» краевой укрепительной полосы, м	0,50
10	Рекомендуемый продольный уклон, ‰	⩽30
11	Наибольший продольный уклон, ‰	50
12	Радиусы кривых в плане, м:	
	рекомендуемые	⩾3000
	наименьшие	600
13	Радиусы вертикальных кривых в продольном профиле, м:	
	выпуклых	
	рекомендуемые	⩾70 000
	наименьшие	10 000
	вогнутых:	
	рекомендуемые	⩾8000
	наименьшие	3000
14	Рекомендуемые длины вертикальных кривых, м:	
	выпуклых	⩾300
	вогнутых	⩾100
15	Наименьшая расчетная видимость, м:	
	поверхности дороги	175
	встречного автомобиля	350
16	Габарит мостов, м	Г-9,5

Примечание. Указанные в таблице рекомендуемые значения отдельных показателей относятся к дорогам всех без исключения категорий.

поверхности и препятствующих просачиванию осадков в глубину. В результате в понижениях местности застанвается вода слоем до 0,2 м.

Грунтовые воды в рыхлых отложениях залегают на водоразделах достаточно глубоко — 5 м и более, но в низинах — очень близко к дневной поверхности — 1,3 м. Таким образом, условия увлажнения подлежат тщательному изучению и учету при проектировании земляного полотна, водоотвода дорожной одежды и водопропускных сооружений.

В соответствии с перспективной интенсивностью движения по проектируемой дороге она относится к III категории.

Основные нормы для проектирования дороги приведены в табл. 1.5.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ТРАССЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Проектирование плана трассы автомобильной дороги включает в себя: выбор направления вариантов трассы дороги по карте; учет принципов ландшафтного проектирования, клотоидного трассирования и охраны окружающей среды; назначение радиусов кривых в плане; обеспечение безопасности движения на кривых в плане; составление ведомости углов поворота, прямых и кривых с расчетом закруглений; установление необходимой полосы отвода в плане под дорогу; описание вариантов трассы; сравнение вариантов; оформление чертежа плана трассы.

2.1. ПРАВИЛА ТРАССИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Выбор положения трассы дороги является одним из ответственнейших этапов проектирования, так как оказывает значительное влияние на стоимость строительства и эксплуатации дороги, удобство и безопасность движения, степень влияния дороги на окружающую среду. При выборе положения трассы необходимо учитывать топографические; инженерно-геологические, климатические и социально-экономические условия местности.

Прямая, соединяющая начальный и конечный пункты трассы, называется воздушной линией. Трассу по возможности следует располагать ближе к воздушной линии, огибать крупные формы рельефа и пересекать мелкие, обходить населенные пункты, ценные, полезные земли, неблагоприятные по инженерно-геологическим условиям участки.

При невозможности обхода участков с неблагоприятными условиями их пересекают в наиболее узких и мелких местах, где не потребуется значительных затрат для обеспечения надежности работы дороги.

Большие водотоки, существующие автомобильные и железные дороги желательно пересекать под углом, близким к 90°.

В районах с частыми снежными или песчаными заносами необходимо учитывать направление господствующих ветров так, чтобы обеспечить незаносимость дороги.

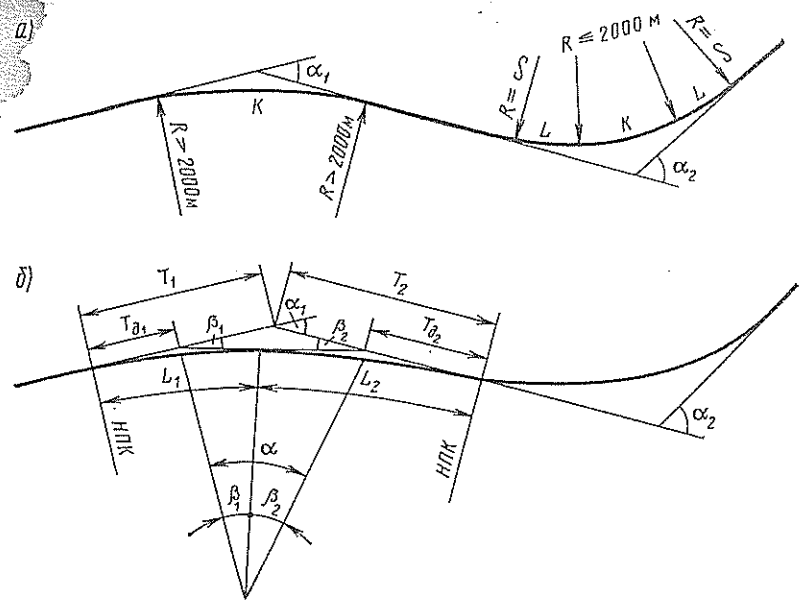


Рис. 2.1. Магистральный ход трассы:
а — при полигональном методе трассирования; *б* — при клотоидном трассировании

При проектировании дорог направление вариантов трассы выбирают по топографическим картам масштаба 1 : 50 000—1 : 10 000 (камеральное трассирование).

Начальный и конечный пункты трассы соединяют воздушной линией, устанавливают контрольные точки, через которые должна пройти трасса при обходе или пересечении контурных, высотных препятствий, больших рек, автомобильных и железных дорог. При помощи линейки (шаблонов, лекал) наносят магистральный ход. Имеются два метода нанесения магистрального хода: традиционный (полигонное трассирование) и гибкой линейки (клотоидное трассирование).

Традиционный метод состоит в том, что через контрольные точки наносят ломаный магистральный ход (полигон), измеряют углы поворотов, вписывают круговые кривые при $R > 2000$ м, или переходные кривые с круговой вставкой при $R \leqslant 2000$ м на автомобильных дорогах II—V категорий (рис. 2.1, *а*). Для дорог I категории — соответственно при радиусе более или менее 3000 м.

Переходные кривые (см. рис. 2.8) являются кривыми переменного радиуса, изменяющегося по длине кривой от $R = \infty$ в начале ее (НПК) до радиуса круговой кривой в конце (КПК). Основными элементами переходной кривой являются: L — длина переходной кривой; $\alpha_{min} = 2\beta$ — минимальный угол поворота, обеспечивающий вписание переходных кривых; t — добавочный тангенс; ρ —

Таблица 2.1. Элементы круговых кривых при $R=1000$ м

Угол поворота, град	Тангенс T	Кривая K	Домер $Д=2T-K$	Биссектриса $Б$	Угол поворота, град	Тангенс T	Кривая K	Домер $Д=2T-K$	Биссектриса $Б$
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	46	424,475	802,851	46,097	68,360
1	8,727	17,454	0	0,038	47	434,812	820,305	49,319	90,441
2	17,455	31,907	0,003	0,152	48	445,229	837,758	51,700	94,636
3	26,186	52,360	0,012	0,343	49	455,726	855,211	56,241	98,948
4	34,921	69,813	0,029	0,610	50	466,308	872,665	59,951	103,378
5	43,661	87,226	0,056	0,953	51	476,975	890,118	63,832	107,929
6	52,408	104,72	0,096	1,372	52	487,733	907,571	67,895	112,602
7	61,163	122,173	0,153	1,869	53	498,582	925,025	72,139	117,400
8	69,927	139,626	0,228	2,442	54	509,525	942,478	76,572	122,326
9	78,702	157,080	0,324	3,092	55	520,567	959,931	81,203	127,382
10	87,489	174,533	0,445	3,820	56	531,710	977,384	86,036	132,570
11	96,829	191,986	0,592	4,625	57	542,956	994,838	91,074	137,893
12	105,104	209,440	0,768	5,508	58	554,309	1012,291	96,327	143,354
13	113,936	226,893	0,979	6,470	59	565,773	1029,744	101,802	148,956
14	122,785	244,346	1,224	7,510	60	577,350	1047,198	107,502	154,700
15	131,653	261,799	1,505	8,629	61	589,045	1064,651	113,439	160,592
16	140,541	279,253	1,829	9,828	62	600,861	1082,104	119,618	166,633
17	149,451	296,706	2,196	11,106	63	612,801	1099,557	126,045	172,827
18	158,384	314,159	2,609	12,465	64	624,869	1117,011	132,727	179,178
19	167,343	331,613	3,073	13,905	65	637,070	1134,464	139,676	185,689
20	176,327	349,066	3,588	15,427	66	649,408	1151,917	146,899	192,363
21	185,339	366,519	4,159	17,030	67	661,886	1169,371	154,401	199,204
22	194,380	383,972	4,788	18,717	68	674,508	1186,824	162,192	206,217
23	203,452	401,426	5,478	20,487	69	687,281	1204,277	170,285	213,406
24	212,557	418,879	6,235	22,341	70	700,208	1221,731	178,685	220,774
25	221,695	436,332	7,058	24,280	71	713,293	1239,184	187,402	228,326
26	230,868	453,786	7,950	26,304	72	726,543	1256,637	196,449	236,068
27	240,079	471,239	8,919	28,415	73	739,961	1274,090	205,832	255,002
28	249,328	488,692	9,964	30,614	74	753,554	1291,544	215,564	252,136
29	258,618	506,145	11,091	32,900	75	767,327	1308,997	225,657	260,472
30	267,949	523,599	12,299	35,276	76	781,286	1326,450	236,122	269,018
31	277,325	541,052	13,598	37,742	77	795,436	1343,904	246,968	277,778
32	286,745	558,505	14,985	40,400	78	809,784	1361,357	258,211	286,759
33	296,213	575,959	16,469	42,949	79	824,336	1378,810	269,862	295,967
34	305,731	593,412	18,050	45,692	80	839,100	1396,263	281,937	305,407
35	315,299	610,865	19,733	48,529	81	854,081	1413,717	294,445	315,087
36	324,920	628,319	21,521	51,462	82	869,287	1431,170	370,404	325,013
37	334,595	645,772	23,418	54,492	83	884,725	1448,623	320,827	335,192
38	344,327	663,225	25,429	57,621	84	900,404	1446,077	334,731	345,632
39	354,119	680,678	27,560	60,849	85	916,331	1483,530	349,132	356,341
40	363,970	698,132	29,808	64,178	86	932,515	1500,983	364,047	367,327
41	373,885	715,585	32,185	67,609	87	948,969	1518,437	379,493	378,598
42	383,864	733,038	34,690	71,145	88	965,689	1535,890	395,488	390,163
43	393,910	750,492	37,328	74,186	89	982,697	1553,343	412,051	402,032
44	404,026	767,945	40,107	78,535	90	1000,000	1570,796	428,204	414,214
45	414,214	785,398	43,030	82,392					

Таблица 2.2. Элементы переходных кривых

Радиус круговой кривой R, м	Длина переходной кривой L, м	Величина $\alpha_{min}=2\beta$	Добавочный тангенс t, сдвижка начала кривой (по оси x)	Сдвижка ρ круговой кривой (по оси y), м	Радиус круговой кривой R, м	Длина переходной кривой L, м	Величина $\alpha_{min}=2\beta$	Добавочный тангенс t, сдвижка начала кривой (по оси x)	Сдвижка ρ круговой кривой (по оси y), м
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
30	30	57°18′	14,86	1,24	800	120	8°36′	59,99	0,75
50	35	40°06′	17,43	1,02	900	120	7°38′	59,99	0,66
60	40	38°12′	19,93	1,11	1000	120	6°52′	59,99	0,60
80	45	32°14′	22,45	1,07	1100	100	5°12′	50,00	0,38
100	50	28°39′	24,95	1,08	1200	100	4°46′	50,00	0,35
150	60	22°55′	29,96	1,01	1300	100	4°24′	50,00	0,32
200	70	20°03′	34,97	1,02	1400	100	4°06′	50,00	0,30
250	80	18°20′	39,97	1,07	1500	100	3°49′	50,00	0,28
300	90	17°11′	44,97	1,12	1600	100	3°35′	50,00	0,26
400	100	14°19′	49,97	1,04	1700	100	3°22′	50‘00	0,25
500	110	12°36′	54,98	1,01	1800	100	3°11′	50,00	0,24
600	120	11°28′	59,98	1,00	1900	100	3°01′	50,00	0,22
700	120	9°50′	59,98	0,86	2000	100	2°52′	50.00	0,21

сдвижка круговой кривой. Элементы кривых определяют по табл. 2.1 и 2.2.

Метод гибкой линейки состоит в том, что на карте в рельеф и ситуацию через контрольные точки с помощью поставленной на ребро гибкой линейки (или от руки) вписывают плавную линию, для которой по шаблонам клотоидных кривых устанавливают радиус R и параметр переходной кривой A. По таблицам для проектирования клотоидных трасс автомобильных дорог [16] определяют элементы кривых (рис. 2.1, *б*): T, $T_к$, $T_д$ — тангенсы клотоиды: L — длина клотоиды; β — угол клотоиды; α — угол поворота трассы.

Метод гибкой линейки позволяет наносить наиболее оптимальные варианты трассы, обеспечивающие лучшее сочетание с окружающим ландшафтом, поэтому его применяют как основной при ручном и автоматизированном проектировании плана автомобильных дорог.

При трассировании необходимо выдерживать правила плавного сочетания элементов плана и продольного профиля: недопустимо проектировать трассу в плане, продольном и поперечном профилях без учета их взаимного влияния на условия движения и зрительного восприятия дороги; длина прямых участков не должна превышать 4—6 км; радиусы сопрягающихся или расположенных недалеко друг от друга кривых в плане не должны различаться более чем в 1,3 раза; наилучшая плавность трассы достигается, если кривые в плане совмещены с кривыми профиля, причем длина кривой в плане должна быть равной или больше длины кривой в продольном профиле, а смещение вершин кривых — не более чем на 1/4

Республиканская научно-техническая БИБЛИОТЕКА

длины меньшей из кривых; следует избегать сопряжений концов кривых в плане с началом выпуклых или вогнутых кривых в продольном профиле, расположенных на последующих прямых участках плана; длина соседних прямых и кривых участков в плане должна различаться не более чем в 2—3 раза; следует избегать в плане коротких кривых между длинными прямыми, коротких прямых вставок менее 300 м между односторонними кривыми и менее 200 м между обратными кривыми.

2.2. УЧЕТ ПРИНЦИПОВ ЛАНДШАФТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ, КЛОТОИДНОГО ТРАССИРОВАНИЯ И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Ландшафтом называют исторически сложившийся в результате действия природы и людей комплекс рельефа, водных поверхностей, растительности и застроек.

Под ландшафтным проектированием понимают проложение дороги, обеспечивающее плавность сопряжений между собой элементов трассы и гармоническое сочетание дороги с окружающим ландшафтом. Цель ландшафтного проектирования — создание дороги, которая обеспечит удобство и безопасность движения по ней, будет приятна для водителей и пассажиров, а также будет способствовать сохранению или улучшению сложившегося ландшафта.

Ландшафтное проектирование включает в себя: проложение трассы как плавной линии в пространстве, обеспечивающей ясность в направлении дороги на достаточно больших расстояниях, за пределами непосредственной видимости, и отсутствие зрительных искажений вида дороги; плавное вписание дороги в ландшафт местности, обеспечивающее раскрытие перед едущими красоты природы, самого ландшафта местности; дополнение и улучшение природного ландшафта посадками деревьев и кустарников, созданием водоемов, раскрытием красивых или маскировкой некрасивых видов с дороги.

Плавность трассы достигается соблюдением правил плавного сочетания элементов плана и продольного профиля. Плавное вписание дороги в ландшафт местности достигается при проложении трассы по граничной зоне элементов ландшафта — у подножия холмов, по опушкам лесов, по террасам речных долин. Причем трасса должна следовать крупным линиям ландшафта, не считаясь с множеством малых и мельчайших складок местности или извилин опушек леса.

Требованиям ландшафтного проектирования наиболее удачно отвечают клотоидные трассы, представляющие собой сочетание соизмеримых по длине элементов клотоид (переходных кривых), отрезков клотоид, круговых кривых и прямых. Характерным для клотоидной трассы является то, что переходная кривая из вспомогательного элемента закругления с кривыми радиусов $\leqslant 2000$ м ста-

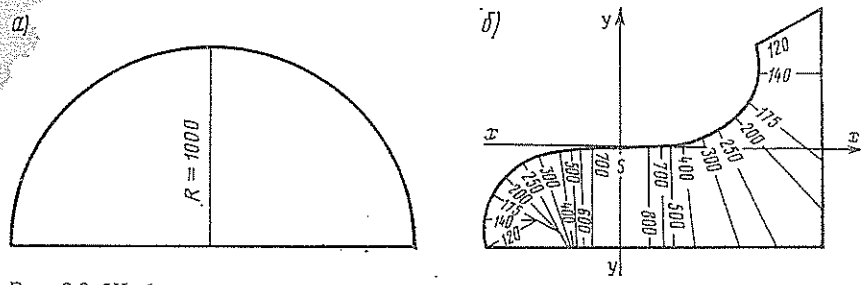


Рис. 2.2. Шаблоны для вписания кривых:
а — круговых; *б* — клотоид

новится самостоятельным элементом трассы, равнозначным с прямыми и круговыми кривыми.

Это вызывает изменение принципа трассирования: при помощи гибкой линейки (или от руки) намечают варианты трассы с учетом требований ландшафтного проектирования; в изгибе трассы вписывают круговые или клотоидные кривые, используя набор прозрачных шаблонов кривых, выполненных в масштабе карты (рис. 2.2).

Уравнение клотоиды имеет вид:

$$C = RL, \tag{2.1}$$

где C — постоянный параметр клотоиды; R — радиус кривизны конца клотоиды (круговой кривой); L — длина клотоиды — расстояние от начала клотоиды до точки с радиусом R (рис. 2.3).

Параметр C может быть представлен в виде A^2:

$$C = A^2 = RL; \tag{2.2}$$

$$A = \sqrt{RL}. \tag{2.3}$$

Длина переходной кривой определяется из условия нормируемой величины нарастания центробежного ускорения:

$$L = \frac{v^3}{47Rj}, \tag{2.4}$$

где v — расчетная скорость автомобиля, км/ч; R — радиус круговой кривой, м; $j = 0{,}5$ м/с^3 — нормируемая величина нарастания центробежного ускорения.

Длина клотоид, имеющих самостоятельное значение, существенно превышает длины, указанные в табл. 2.2, которые рассчитаны из условия обеспечения плавности нарастания центробежного

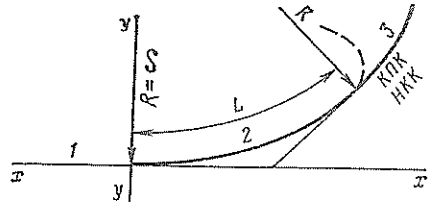


Рис. 2.3. Схема вписания переходной кривой-клотоиды:
1 — прямая; *2* — переходная кривая-клотоида; *3* — круговая кривая

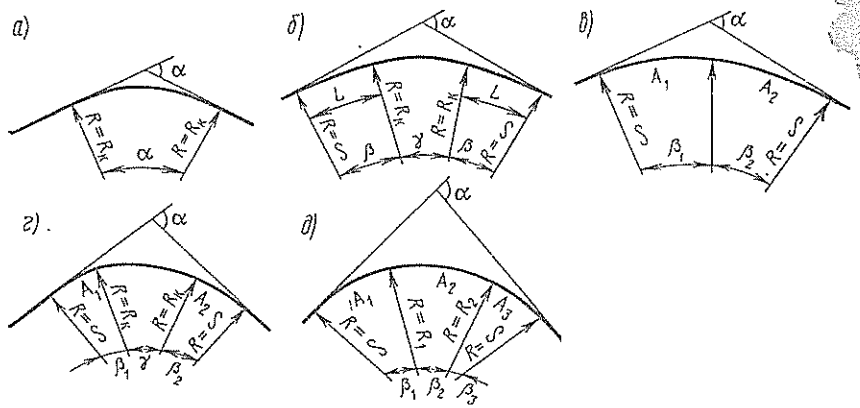


Рис. 2.4. Типы закруглений клотоидной трассы:

а — круговая кривая; *б* — круговая кривая с вспомогательными переходными; *в* — биклотоида; *г* — биклотоида с круговой вставкой; *д* — коробовая клотоида

ускорения при въезде на основную круговую кривую. В проектных организациях имеются шаблоны клотоид с параметрами от $A = 150$ до $A = 1000$ м с интервалом через 50 м.

Параметр A принимается: для дорог I категории $\geqslant 300$ м, II — III категории $\geqslant 200$ м, IV—V категории $\geqslant 100$ м.

Последовательно прикладывая шаблоны клотоид разных параметров A, подбирают переходную кривую.

В клотоидной трассе переходные кривые вводят для смягчения всех сопряжений элементов трассы (рис. 2.4); при переходе от прямых участков к круговым кривым (рис. 2.4, *а*, *б*, *г*); при сопряжении прямых участков между собой (рис. 2.4, *в*, *д*); при сопряжении между собой односторонних круговых кривых.

Клотоидные трассы в наибольшей степени обеспечивают выполнение требований охраны окружающей среды, обходя крупные лесные массивы, заповедники, водохранилища, из которых вода используется для питья, ценные сельскохозяйственные земли.

2.3. НАЗНАЧЕНИЕ РАДИУСОВ КРИВЫХ В ПЛАНЕ

Значение радиуса на кривой в плане

$$R = \frac{v^2}{g(\mu \pm i)}, \qquad (2.5)$$

где v — расчетная скорость автомобилей; g — ускорение свободного падения; μ — коэффициент поперечной силы; i — поперечный уклон проезжей части.

Расчетные скорости движения автомобилей для различных категорий дорог установлены СНиП 2.05.02-85 (см. табл. 1.1).

Коэффициент поперечной силы μ учитывает влияние на автомобиль и пассажиров центробежной силы: при $\mu < 0{,}10$ кривая пассажирами не ощущается; при $\mu = 0{,}20$ ощущается и пассажир испытывает неудобства; при $\mu = 0{,}3$ въезд с прямого участка на кривую ощущается как толчок, наклоняющий пассажиров вбок; при $\mu > 0{,}6$ автомобиль может опрокинуться.

Нормами на проектирование автомобильных дорог установлены значения допустимых в трудных условиях наименьших радиусов кривых в плане для различных категорий дорог (см. табл. 1.1).

При назначении радиусов кривых необходимо стремиться к максимально возможному в условиях данного угла поворота радиусу, который должен быть не менее минимально допустимого для данной категории дороги. Там, где условия позволяют, следует назначать радиусы равные или более 3000 м, условия движения по которым не отличаются от условий на прямых участках.

Максимально возможные радиусы при трассировании по карте определяют подбором с помощью шаблонов круговых кривых при прокладке магистрального хода гибкой линейкой (или от руки) или определяют расчетом при полигональном трассировании. В последнем случае устанавливают по карте ограничения по тангенсу или биссектрисе, имеющиеся на повороте магистрального хода, измеряют максимально возможный до препятствия тангенс $T_м$ или максимально возможную биссектрису $Б_м$. Из таблицы элементов круговых кривых для табличного радиуса $R_т$ (см. табл. 2.1) по значению угла поворота α определяют значение тангенса $T_т$ или биссектрисы $Б_т$; определяют максимально возможный радиус

$$R = \frac{T_м}{T_т} R_т \quad \text{или} \quad R = \frac{Б_м}{Б_т} R_т. \qquad (2.6)$$

В зависимости от величины максимально возможного радиуса устанавливают необходимость в переходных кривых. При $R \leqslant 3000$ м для дорог I категории и $R \leqslant 2000$ м для дорог II—V категорий с обеих сторон круговой кривой предусматриваются переходные кривые для обеспечения плавного перехода с прямых участков на круговую кривую.

Пример. На I варианте трассы (см. рис. 2.12) ВУ I на пк 14 + 20 угол поворота $\alpha = 48°$ тангенс ограничен р. Наумкой $T_м = 450$ м. Величина табличного тангенса $T_т = 450$ м. Максимально возможный радиус $R = \frac{450}{450} 1000 = 1000$ м.

2.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА КРИВЫХ В ПЛАНЕ

При движении на кривых в плане на автомобиль действует центробежная сила, перпендикулярная направлению движения,

$$C = \frac{mv^2}{R}, \qquad (2.7)$$

где m — масса автомобиля; v — скорость автомобиля; R — радиус кривой.

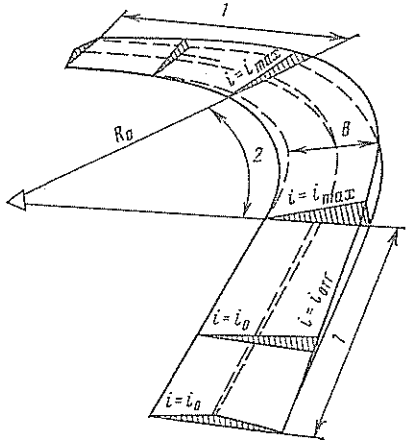


Рис. 2.5. Схема виража:
1 — переходная кривая, отгон виража; *2* — сокращенная круговая кривая

Центробежная сила оказывает на автомобиль сдвигающее действие, осложняя управление им, вызывая снижение скорости движения.

Для обеспечения безопасности движения на кривых радиусом менее 3000 м на дорогах I категории и менее 2000 м на дорогах II—V категорий предусматривают устройство переходных кривых и виража. Вираж представляет собой односкатный поперечный профиль с уклоном проезжей части и обочин к центру кривой (рис. 2.5).

Переход от двускатного профиля к односкатному — отгон виража осуществляется постепенно на длине переходной кривой (рис. 2.6): на расстоянии 10 м до начала отгона виража уклон внешней обочины приводят к уклону проезжей части; постепенно вращают внешнюю половину дорожного полотна относительно оси дороги до уклона проезжей части $i_п$; если уклон виража $i_в$ должен быть больше уклона проезжей части, производят дальнейшее вращение всего дорожного полотна, т. е. проезжей части с обочинами вокруг продольной оси проезжей части.

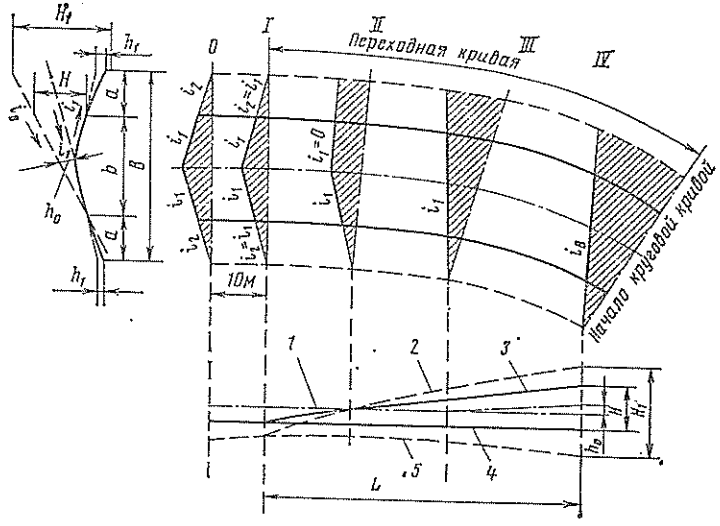


Рис. 2.6. Схема отгона виража

Таблица 2.3. **Поперечные уклоны проезжей части на виражах**

Радиусы горизонтальных кривых, м	Поперечные уклоны проезжей части на виражах, ‰	
	основной, наиболее распространенный	в районах с частым гололедом
3000 и более для дорог I категории, 2000 и более для дорог остальных категорий	Двухскатный поперечный профиль	
3000 (2000)—1000	20—30	20—30
1000—700	30—40	30—40
700—650	40—50	40
650—600	50—60	40
<600	60	40

Примечание. Меньшие значения поперечных уклонов на виражах соответствуют большим радиусам кривых, а большие — меньшим.

Уклон виража зависит от значения радиуса круговой кривой и установлен нормами (табл. 2.3). Наименьший поперечный уклон на вираже должен быть равным уклону проезжей части при двускатном поперечном профиле. Наибольший уклон виража в обычных условиях равен $60‰$. Для районов с частыми туманами и длительными периодами гололеда уклон виража принимают не более $40‰$. Для районов с незначительной продолжительностью снежного покрова и редким гололедом уклон виража допускается до $100‰$.

Внешняя кромка проезжей части при отгоне виража постепенно повышается и в конце отгона виража превышение кромки

$$H=\frac{1}{2}bi_в, \qquad (2.8)$$

где b — ширина проезжей части; $i_в$ — уклон виража.

Продольный уклон по внешней кромке — уклон отгона виража

$$i_{в.к}=\frac{H}{L}, \qquad (2.9)$$

где L — длина переходной кривой.

Для дорог I—II категорий уклон отгона виража должен быть не более $5‰$, для дорог III—V категорий в равнинной местности $\leqslant 10‰$, в горной местности $\leqslant 20‰$.

При движении автомобиля по кривой каждое колесо его движется по самостоятельной траектории, в результате чего автомобиль занимает бóльшую ширину проезжей части, чем при движении по прямому участку. Поэтому для обеспечения безо-

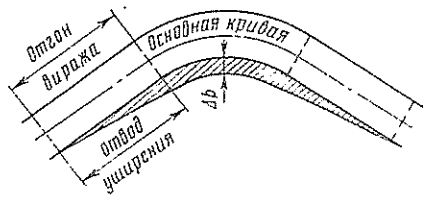


Рис. 2.7. Схема уширения проезжей части на кривой

Таблица 2.4. Величина уширения проезжей части на кривых

Радиусы кривых в плане, м	Величина уширений для автомобилей и автопоездов, м						
	одиночных при $h \leqslant 7$ м и автопоездов при $l \leqslant 11$ м	l, м					
		13	15	18	20	23	25
1000	—	—	—	0,4	0,5	0,6	0,7
800—900	—	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
700—600	0,4	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	1,0
600—550	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,0	1,3
400—450	0,5	0,7	0,7	0,9	1,2	1,3	1,7
300—350	0,6	0,8	0,9	1,1	1,5	1,6	2,1
200—250	0,8	1,0	1,1	1,5	2,6	2,2	2,8
125—150	0,9	1,4	1,5	2,2	2,7	3,0	—
100—90	1,1	1,8	2,0	3,0	3,5	—	—
80	1,2	2,0	2,3	3,5	—	—	—
70	1,3	2,2	2,5	—	—	—	—
60	1,4	2,8	3,0	—	—	—	—
50	1,5	3,0	3,5	—	—	—	—
40	1,8	3,5	—	—	—	—	—
30	2,2	—	—	—	—	—	—

Примечание. l — расстояние от переднего бампера до задней оси автомобиля, полуприцепа или прицепа, м.

пасности на кривых с радиусом $R \leqslant 1000$ м предусматривают уширение проезжей части с внутренней стороны за счет обочины при условии, что оставшаяся ширина обочины должна быть не менее 1,5 м для дорог I и II категорий и не менее 1,0 м для дорог III—V категорий. При недостаточной ширине обочины предусматривают уширение земляного полотна.

Уширяются обе полосы движения. Величину полного уширения двухполосной проезжей части принимают в зависимости от радиуса кривой (табл. 2.4). Полное уширение устраивается на длине сокращенной круговой кривой. Переход от нормальной ширины проезжей части до ширины с полным уширением (отвод уширения) осуществляется постепенно на длине переходной кривой (рис. 2.7).

2.5. СОСТАВЛЕНИЕ ВЕДОМОСТИ УГЛОВ ПОВОРОТА, ПРЯМЫХ И КРИВЫХ

При проектировании плана трассы для намеченных на карте вариантов определяют величины всех элементов, которые заносят в ведомость углов поворота прямых и кривых (табл. 2.5).

Чтобы заполнить графы ведомости, необходимо: определить пикетажное положение вершин углов поворотов; рассчитать закругления, т. е. определить элементы круговых и переходных кривых и установить пикетажное положение главных точек закруглений; определить длину прямых участков и их направление; определить расстояния между вершинами углов.

Начало и конец трассы принимают за углы поворотов с величиной угла, равной нулю. Пикетажное положение вершины первого угла (ВУ № 1) определяют, разбивая пикетаж от начала трассы пк0 до ВУ № 1 (см. рис. 2.12).

Расчет закругления с переходными кривыми и круговой вставкой (рис. 2.8) выполняют в следующей последовательности.

Из таблицы элементов круговых кривых (см. табл. 2.1) для величины угла поворота α_1 берут значения тангенса $T_т$, длины кривой $K_т$, биссектрисы $Б_т$. Если радиус закругления R не равен табличному радиусу $R_т = 1000$ м, элементы круговой кривой пересчитывают по формулам:

$$T_1 = T_т \frac{R}{R_т};\ K_1 = K_т \frac{R}{R_т};\ Б_1 = Б_т \frac{R}{R_т}. \qquad (2.10)$$

Определяют элементы переходной кривой (см. табл. 2.2): L, $\alpha_{min} = 2\beta$, t, ρ и возможность их вписания — угол поворота должен быть не менее α_{min}, т. е. $\alpha \geqslant 2\beta$. Если $\alpha > 2\beta$, принимают новое значение радиуса

$$R_1 = R + \rho \qquad (2.11)$$

и определяют соответствующие ему элементы круговой кривой по таблицам. Определяют величину центрального угла γ и соответствующее ему значение сокращенной круговой кривой K_0 (по таблице или по формуле):

$$\gamma = \alpha - 2\beta; \qquad (2.12)$$

$$K_0 = \frac{\pi R \gamma}{180^\circ} = \frac{R\gamma}{57{,}3^\circ}. \qquad (2.13)$$

Определяют элементы закругления и полную длину тангенса T_2, полную длину закругления K_2, полную длину биссектрисы $Б_2$, домер закругления $Д_2$:

$$T_2 = T_1 + t;\ K_2 = K_0 + 2L;\ Б_2 = Б_1 + \rho;\ Д_2 = 2T_2 - K_2. \qquad (2.14)$$

Устанавливают пикетажное положение главных точек закругления — начало закругления $НЗ = ВУ - T_2$, конец закругления $КЗ = НЗ + K_2$, начало круговой кривой $НКК = НЗ + L$, конец круговой кривой $ККК = КЗ - L$.

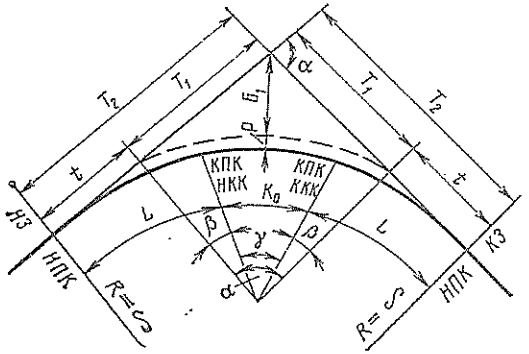


Рис. 2.8. Схема закругления с переходными кривыми и круговой вставкой:
L — длина переходной кривой; t — сдвижка начала кривой; ρ — сдвижка круговой кривой; β — угол, образованный касательной в конце переходной кривой и линией тангенсов; K_0 — сокращенная круговая кривая

Таблица 2.5. Ведомость углов поворотов, прямых и кривых

№ углов поворотов	Углы: Положение вершины угла: пк	+	Величина угла: влево	вправо	Кривые: Элементы круговой кривой: R_0, м	T_0, м	K_0, м	$Б_0$, м	$Д_0$, м	Элементы переходной кривой: R, м	L, м	$\alpha_{min}=2\beta$, град	t, м	ρ, м	Элементы: R_{min}	$\frac{A_1}{A_2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
I вариант																
НТ	0	00														
1	14	20	—	48°00′	1000	445,23	837,76	94,64	52,70	1000	120	6°52′	59,99	0,60	—	—
2	23	30	14°30′	—	1500	190,83	379,61	12,09	2,05	1500	100	3°49′	50,00	0,28	—	—
3	30	05	—	32°30′	1300	378,92	737,40	54,11	20,44	1300	100	4°24′	50,00	0,32	—	—
КТ	41	80														
Итого	—	—	14°30′	80°30′	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
II вариант																
НТ	0	00														
1	14	70	46°42′	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	720	650/650
2	24	11	16°36′	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1300	700/700
3	31	48,5	—	29°14′	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	700	500/500
КТ	41	70														
Итого	—	—	63°18′	29°14′												

Примечания. 1. Если $\alpha<2\beta$ в графе 11 значение R принимают большим или равным $R_0+\rho$.
2. В графах 24—31 первые сверху формулы — для закругления с переходными кривыми; вторые — для клотоидного закругления; третьи в графах 30—31 — для закругления круговой кривой.

Продолж. табл. 2.5

Кривые: Клотоидной кривой: $\frac{\beta_1}{\beta_2}$, град	$\frac{L_1}{L_2}$, м	$\frac{T_{Д1}}{T_{Д2}}$, м	$\frac{T_{К1}}{T_{К2}}$, м	элементы полного закругления: $\gamma=\alpha-2\beta$	K_1, м	$K_2=K_0+2L$; $K=L_1+L_2$, м	$T_2=T_1+t$; T_1/T_2, м	$Б_2=Б_1+\rho$, $Б$ м	$Д_2=2T_2-K_2$; $Д=(T_1+T_2)-K$, м	главные точки закругления: НЗ=ВУ−T_2 / НЗ=ВУ−T_1 пк	+	КЗ=НЗ+K_2 / КЗ=НЗ+K / КЗ=НЗ+K_0 пк	+	Прямые: $S=ВУ_{п}-ВУ_{п-1}+Д_{п-1}$, м	$П=НЗ_{п}-КЗ_{п-1}$, м	Румбы линий: измеренные	вычисленные
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
—	—	—	—	41°08′	717,86	957,86	505,22	95,24	952,58	9	14,78	18	72,64	1420,0	914,78	СВ: 37°00′	
—	—	—	—	10°41′	279,67	479,67	240,83	12,37	1,99	20	89,17	25	68,84	962,58	216,53	—	СВ:85°00′
—	—	—	—	28°06′	637,52	837,52	428,92	54,43	20,32	25	76,08	34	13,60	676,99	7,24	—	СВ:70°30′
														1195,32	766,40	—	ЮВ:77°00′
—	—	—	—	—	—	2275,05	1174,97	—	74,89	—	—	—	—	4254,89	1904,95	—	—
23°21′	586,85	394,70	198,79	—	—	1173,70	611,19	85,81	48,67	8	58,81	20	32,51	1470,0	858,81	ЮВ: 72°00′	—
23°21′	586,85	394,70	198,79				611,19							989,68	0,00	—	СВ:61°18′
8°18′	376,64	251,42	125,84	—	—	753,28	378,50	18,35	3,72	20	32,51	27	85,79				
8°18′	376,64	251,42	125,84				378,50							741,22	0,00	—	СВ:44°42′
14°37′	357,15	238,91	119,77	—	—	714,31	362,72	31,24	11,13	27	85,79	35	00,10				
14°31′	357,15	238,91	119,77				362,72							1032,62	669,90	—	СВ:73°56
				—	—	2641,29	1352,41	—	63,52	—	—	—	—	4233,52	1528,71	—	—

Проверка;

$\Sigma K_2+\Sigma П=L_{тр}$
$\Sigma S-\Sigma Д=L_{тр}$
$\Sigma\alpha_{л}-\Sigma\alpha_{пр}=A_{и}-A_{к}$

I вариант

$2275,05+1904,95=4180,0$
$4254,89-74,89=4180,0$
$14°30′-80°30′=37°00′-103°00′$
$-66°00′=66°00′$

II вариант

$2641,29+1528,71=4170,0$
$4233,52-63,52=4170,0$
$63°18′-29°14′=108°-73°56′$
$34°04′=34°04′$

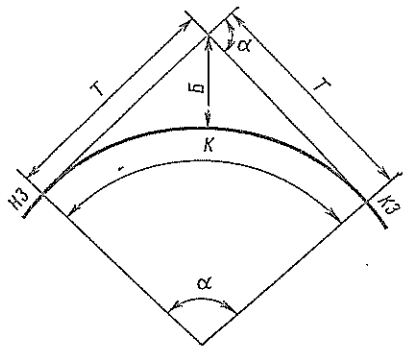


Рис. 2.9. Схема закругления круговой кривой

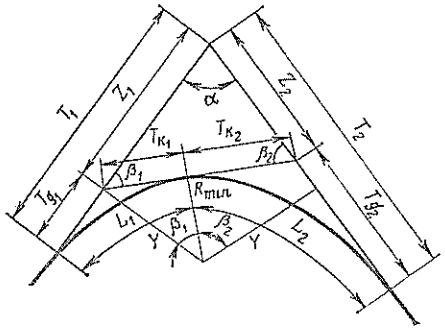


Рис. 2.10. Схема клотоидного закругления:

T_1 и T_2 — тангенсы первой и второй клотоид; $T_{к1}$, $T_{к2}$ и $T_д$, $T_{д2}$ — короткие и длинные тангенсы клотоид; L_1, L_2 — длины клотоид; β_1, β_2 — углы клотоид; A_1, A_2 — параметры клотоид; R_{min} — радиус клотоид

На карте от ВУ № 1 откладывают в масштабе карты T_2 (находят точки *НЗ* и *КЗ* (см. рис. 2.8) и от *КЗ* разбивают пикетаж до ВУ № 2. Разбивают пикетаж и на закруглении методом координат или от *НЗ* циркулем-измерителем отрезками не более 50 м в масштабе карты.

После расчета закругления на ВУ № 2 на карте от ВУ № 2 откладывают полный тангенс второго закругления и разбивают пикетаж дальше. И так до конца трассы.

Расчет закругления круговой кривой (рис. 2.9) включает в себя определение элементов круговой кривой *Т*, *К*, *Д*, *Б* и пикетажного положения главных точек закругления *НЗ* и *КЗ*.

Расчет клотоидного закругления (рис. 2.10) выполняют с использованием таблиц для проектирования и разбивки клотоидной трассы автомобильных дорог [16] в следующей последовательности:

устанавливают коэффициент для пересчета табличных значений элементов клотоиды

$$K_п = \frac{R}{R_т},$$

где $R_т = 100$ — значение табличного радиуса;

определяют табличные значения параметра клотоид:

$$A_{т1} = \frac{A_1}{K_п}\ ;\ A_{т2} = \frac{A_2}{K_п}.$$

По таблицам для значений $A_{т1}$ и $A_{т2}$ находят значения $T_{т1}$, $L_{т1}$, $T_{к1}$, $T_{д1}$, $t_{т1}$, $\beta_{т1}$ и $T_{т2}$, $L_{т2}$, $T_{д2}$, $T_{к2}$, $t_{т2}$, $\beta_{т2}$, если биклотоида симметричная.

Для несимметричных биклотоид, а также при $\alpha > 150^0$, по таблицам берут значения $T_{д1}$, $T_{к1}$, $L_{т1}$, $t_{т1}$, $\beta_{т1}$ и $T_{д2}$, $T_{к2}$, $L_{т2}$, $t_{т2}$, $\beta_{т2}$.

Определяют элементы клотоидного закругления:

$T_1 = T_{т1}K_п$; $T_2 = T_{т2}K_п$ для симметричных биклотоид;

$T_1' = T_{д1} + \frac{\sin\beta_{т2}}{\sin\alpha}(T_{к1} + T_{к2})$ для несимметричных биклотоид и при $\alpha < 150°$;

$$T_2 = T_{д2} + \frac{\sin\beta_{т1}}{\sin\alpha}(T_{к1} + T_{к2}); \qquad (2.15)$$

$$L_1 = L_{т1}K_п;\ L_2 = L_{т2}K_п;$$

$$t_1 = t_{т1}K_п;\ t_2 = t_{т2}K_п;$$

$$K = L_1 + L_2; \qquad (2.16)$$

$$Д = (T_1 + T_2) - K;\quad \alpha = \beta_{т1} + \beta_{т2}. \qquad (2.17)$$

Длина первого прямого участка плана трассы $П_1$ равна расстоянию от пк0 до начала первого закругления $НЗ_1$. Длина второго прямого участка $П_2 = НЗ_2 - КЗ_1$ и так далее. Длина последнего прямого участка равна разности между пикетажным положением конца трассы и конца последнего закругления $П_i = КТ - КЗ_i$.

Направления прямых участков определяются их румбами. Название и величину румба определяют по значению азимутов линий трассы. Азимут первой линии A_1 определяют по значению дирекционного угла $ДУ_1$, который измеряют на карте транспортиром по ходу часовой стрелки между северным направлением вертикальной линии сетки карты и линией трассы с учетом углов сближения меридианов $C_б$ и склонения магнитной стрелки $C_к$ (рис. 2.11):

$$A_1 = ДУ_1 - [(\pm C_к) - (\pm C_б)]. \qquad (2.18)$$

Знак плюс принимают, если линия сетки или линия магнитного меридиана расположены к востоку от истинного меридиана; знак минус, если к западу.

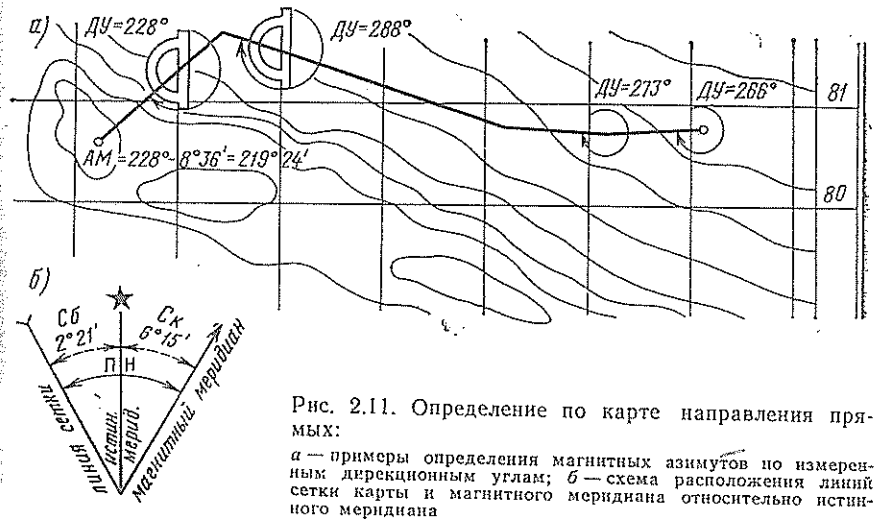


Рис. 2.11. Определение по карте направления прямых:

а — примеры определения магнитных азимутов по измеренным дирекционным углам; *б* — схема расположения линий сетки карты и магнитного меридиана относительно истинного меридиана

Азимуты последующих линий трассы

$$A_{п} = A_{п-1} \pm \alpha, \qquad (2.19)$$

где $A_{п}$ — азимут последующей линии; $A_{п-1}$ — азимут предыдущей линии; α — угол поворота трассы; знак плюс, если угол поворота вправо, знак минус, если влево.

Так, для I варианта рассматриваемого примера при значениях измеренного дирекционного угла первой линии:

$$ДУ = 45°36'; \; C_{к} = +6°15' \text{ и } C_{б} = -2°21';$$

$$A_1 = 45°36' - [(+6°15') - (-2°21')] = 45°36' - [6°15' + 2°21'] = 37°00';$$

$$A_2 = A_1 + \alpha_1 = 37°00' + 38°00' = 85°00';$$

$$A_3 = A_2 - \alpha_2 = 85°00' - 14°30' = 70°30';$$

$$A_4 = A_3 + \alpha_3 = 70°30' + 32°30' = 103°00'.$$

По величинам азимутов легко определить название и величину румбов линий трассы:

Азимут линии A	0—90	90—180	180—270	270—360
Название румба	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ
Величина румба	$r = A$	$r = 180 - A$	$r = A - 180$	$r = 360 - A$

Для подсчитанных значений азимутов румбы будут иметь следующие значения:

$$r_1 = СВ : 37°00'; \; r_2 = СВ : 85°00';$$

$$r_3 = СВ : 70°30'; \; r_4 = 180° - 103°00' = ЮВ : 77°00'.$$

Расстояние между вершинами углов поворота плана трассы для первого прямого участка равно значению пикетажного положения ВУ № 1. Расстояния между остальными вершинами и между концом трассы и вершиной последнего угла поворота определяют как разность между их пикетажным положением плюс домер предыдущей кривой:

$$S_{п} = ВУ_{п} - ВУ_{п-1} + Д_{п-1}; \qquad (2.20)$$

$$S_{i} = КТ - ВУ_{i} + Д_{i}. \qquad (2.21)$$

Все полученные данные для намеченных вариантов трассы заносят в ведомость углов поворотов, прямых и кривых (см. табл. 2.5). Для установления правильности расчетов необходимо выполнить проверки в конце таблицы.

2.6. ПОЛОСА ОТВОДА

Полосой отвода называют полосу местности в плане, выделенную для размещения на ней дороги и всех вспомогательных дорожных сооружений и обустройств транспортного и дорожного обслуживания.

Таблица 2.6. **Осредненные показатели площадей отвода земель для автомобильных дорог, отнесенные на 1 км протяжения дороги**

Категория дороги и количество полос движения	Общая площадь полосы отвода, га							
	на землях сельскохозяйственного назначения				на землях, непригодных для сельскохозяйственного пользования			
	Поперечный уклон местности от 0 до 1:20		Поперечный уклон местности от 1:20 до 1:10		Поперечный уклон местности от 0 до 1:20		Поперечный уклон местности от 1:20 до 1:10	
	Постоянный отвод	Временный отвод	Постоянный отвод	Временный отвод	Постоянный отвод	Временный отвод	Постоянный отвод	Временный отвод
I 8 полос	6,3	1,8	6,4	1,8	7,4	2,3	7,5	2,3
I 6 полос	5,5	1,7	5,6	1,7	6,4	2,2	6,5	2,2
I 4 полосы	4,7	1,6	4,8	1,6	5,5	2,1	5,6	2,1
II 2 полосы	3,1	1,4	3,2	1,4	3,9	2,0	4,0	2,0
III 2 полосы	2,6	1,3	2,8	1,3	3,6	2,0	3,8	2,0
IV 2 полосы	2,4	1,3	2,5	1,3	3,5	2,0	3,6	2,0
V 1 полоса	2,1	1,2	2,2	1,2	3,3	2,0	3,4	2,0

Полоса отвода зависит от категории дороги, числа полос движения, высоты насыпи, глубины выемки, характера местности, ее уклона и установлена нормами СН 467-74. Нормы устанавливают ширину полосы отвода земель, отводимых в постоянное (бессрочное) и временное (на период строительства) пользование, с учетом минимального занятия полезных земель. Осредненные показатели площадей отвода (табл. 2.6), установленные нормами, используются для предварительных определений требуемой площади земель.

Эти нормы не учитывают площади, необходимые для устройства сооружений водоотвода, срезок для обеспечения видимости, посадки декоративных насаждений, пересечений дорог, стоянок для автомобилей и площадок отдыха, зданий обслуживания движения и других дорожных сооружений.

Для перечисленных устройств и сооружений площади отвода учитывают дополнительно на основании детального обоснования их потребности в проектах.

Нормы временного отвода учитывают необходимую площадь для размещения удаленного растительного грунта с территории, предназначенной под насыпи, выемки и резервы, и устройство временных дорог для его вывозки. После окончания строительства временно отведенные земли должны быть приведены в состояние, пригодное для сельскохозяйственных работ, и возвращены землепользователям.

При выборе положения трассы на местности следует учитывать нормы отвода земель для автомобильных дорог. Фактическая полоса отвода устанавливается в проекте дороги в графике отвода земель.

2.7. ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ТРАССЫ ДОРОГИ

Описание вариантов трассы дороги представляет краткую характеристику воздушной линии и намеченных вариантов плана трассы. Так, для рассматриваемого примера (рис. 2.12) описание может быть представлено в следующем виде.

Воздушная линия между точками *А* и *Б* пересекает р. Наумку на участке значительного затопления паводковыми водами, лесной массив и заболоченный участок с длительно стоящей поверхностной водой. Прокладка трассы по воздушной линии нецелесообразна. Намечаем два варианта трассы.

I вариант. Трасса проложена традиционным методом. Имеет три угла поворота. Первый угол на пк 14 + 20 принят с целью пересечения р. Наумки под прямым углом и проложения трассы через лесной массив по существующей просеке. Последующие два угла поворота приняты из условия проложения трассы по наиболее спокойному рельефу местности. На пк 1 + 55, пк 8 + 75, пк 40 + 60 трасса пересекает суходолы. На участках пк 1 — пк 6 и пк 9—пк 17 трасса проходит по пахотным землям. Длина I варианта 4180 м.

II вариант. Трасса проложена методом клотоидного трассирования. Имеет три угла поворота, в которые вписаны по шаблонам симметричные биклотоиды с параметрами $A_1 = A_2 = 650$; 700; 500. На пк 8, пк 37 и пк 40 трасса пересекает суходолы, на участке пк0 — пк7 проходит по пахотным землям. Длина II варианта 170 м.

2.8. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ТРАССЫ

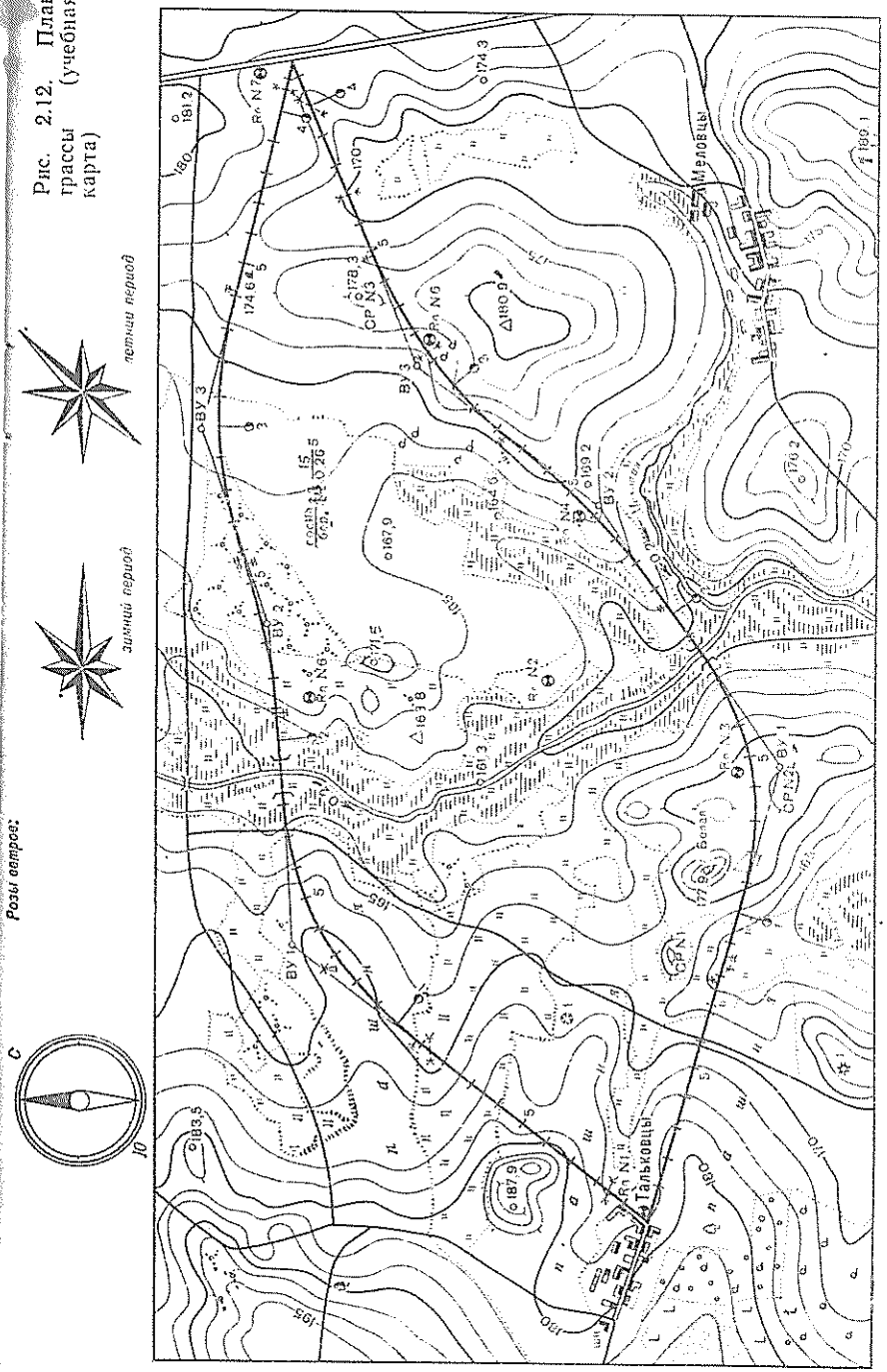
Сравнение вариантов трассы выполняют по эксплуатационно-техническим показателям (табл. 2.7).

Лучшим по эксплуатационно-техническим показателям считается вариант, имеющий больше преимуществ. В данном примере лучшим будет II вариант.

Таблица 2.7. **Таблица сравнения эксплуатационно-технических показателей вариантов трассы**

№ п/п	Показатели	I вариант	II вариант	Преимущество: I вариант	Преимущество: II вариант
1	Длина трассы $L_{тр}$, км	4,18	4,17	—	+
2	Коэффициент удлинения $K = L_{тр}; L_{возд}$	1,1	1,097	—	+
3	Средняя величина угла поворота, град $\alpha_{ср} = \frac{48° + 14°30' + 32°30'}{3}$	31°40′	30°51′	—	+

Рис. 2.12. План трассы (учебная карта)



Продолж. табл. 2.1

№ п/п	Показатели	I вариант	II вариант	Преимущество I вариант	Преимущество II вариант
4	Минимальный радиус поворота, м	1000	700	+	—
5	Обеспечение видимости в плане	Обеспечена		=	=
6	Количество пересечений в одном уровне	1	1	=	=
7	Количество пересекаемых водотоков	4	5	+	—
8	Максимальный продольный уклон, ‰	50	51	+	—
9	Общая длина участков с максимальным продольным уклоном, % $\frac{L_{i\,max}}{L_{тр}}100$	1,2	3,8	+	—
10	Протяжение участков неблагоприятных для устойчивости земляного полотна, км	0,33	0,15	—	+
11	Протяжение участков, проходящих по лесу, км	0,2	—	—	+
12	Протяжение участков, проходящих по сельскохозяйственным землям, км	1,3	0,7	—	+

При выполнении реальных проектов варианты трассы сравнивают по технико-экономическим показателям, куда входят, кроме технических показателей, объемы работ, их стоимости и стоимости транспортных расходов, коэффициент эффективности капиталовложений.

2.9. ОФОРМЛЕНИЕ ПЛАНА ТРАССЫ

План трассы вычерчивают по данным ведомости углов поворота, прямых и кривых на чертежных листах длиной 841 мм, высотой 297 мм (половина формата № 24).

Располагать трассу следует так, чтобы верх листа по возможности был обращен на север, а при направлении трассы север—юг — на запад.

Масштаб плана принимают для равнинной и пересеченной местности 1 : 10 000, для горной местности 1 : 5000.

Трассу на плане наносят сплошной основной линией. Прямые участки от кривых отделяют черточками. Тангенсы наносят пунктирной линией. По всей линии трассы проставляют пикеты и километры (см. рис. 2.12).

На углах поворотов пишут их номера, а величины закруглений, длин прямых и их румбов заносят в таблицу, которую располагают на свободном месте.

Ситуацию на плане трассы показывают по данным топографической карты. Ситуационные знаки и надписи выполняют параллель-

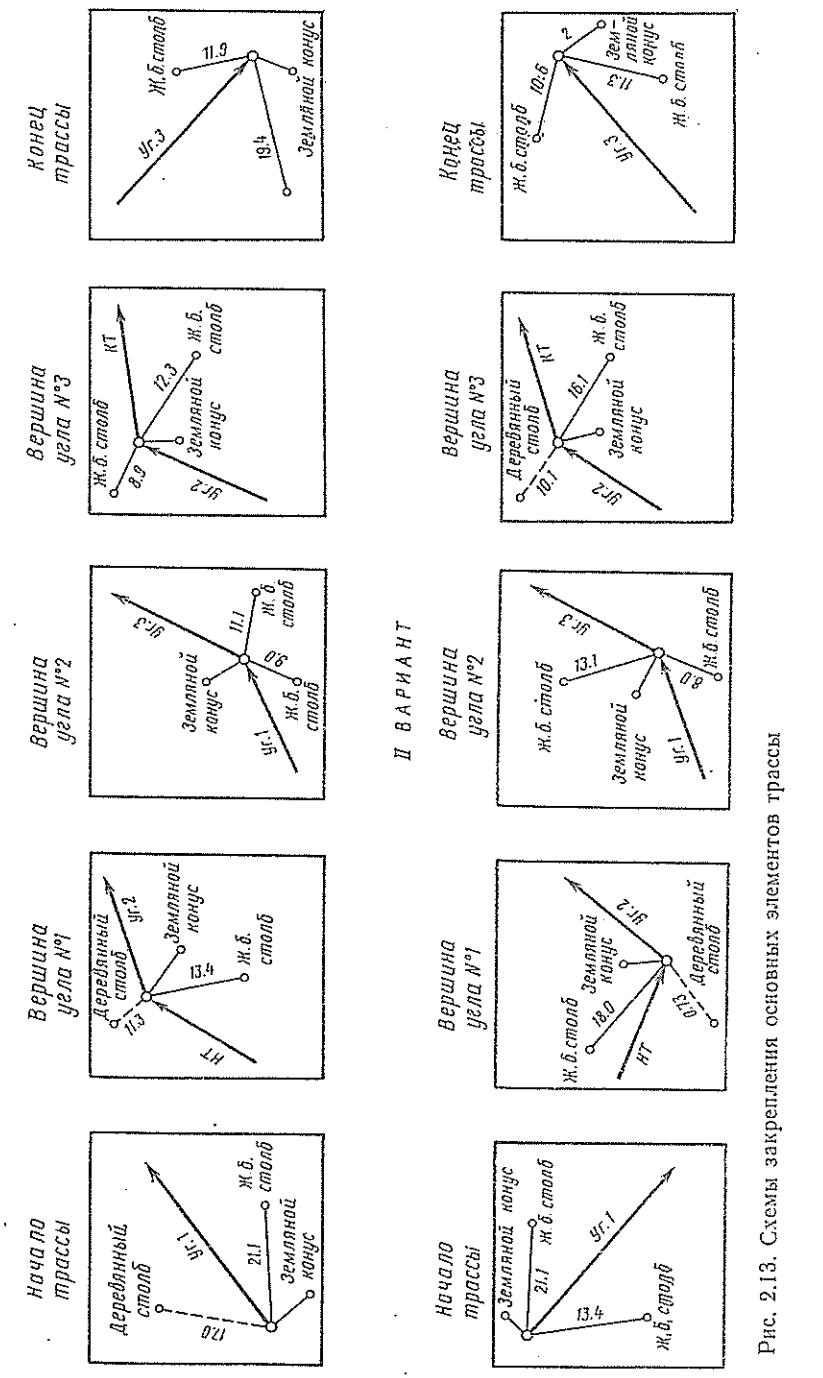


Рис. 2.13. Схемы закрепления основных элементов трассы

Таблица 2.8. Элементы углов поворота прямых и кривых

№ углов	Положение вершин углов	Величина угла: влево $\alpha_л$	Величина угла: вправо $\alpha_п$	R, м	K, м	L, м	T, м	$Б$, м	$А$	$НЗ$	$КЗ$	Длина прямой	Румбы линий: измеренные	Румбы линий: вычисленные
I вариант												914,78	СВ:37°00′	—
НТ	0+00													
1	14+80	—	48°00′	1000	957,86	120,0	505,22	95,24	—	9+14	18+72	216,53		СВ:85°08′
2	23+30	14°30′	—	1500	479,67	100,0	240,83	12,37	—	20+89	25+69	7,24	—	СВ:70°30′
3	30+05		32°30′	1300	837,52	100,0	428,92	54,43	—	25+76	34+13	766,40	—	ЮВ:77°00′
КТ	41+80													
II вариант												858,81	ЮВ:72°00′	—
НТ	0+00													
1	14+70	46°42′	—	720	1173,70	586,85	611,19	85,81	650	8+58	20+32	0,00	—	СВ:61°18′
2	24+11	16°36′	—	1300	753,28	376,64	378,50	18,35	700	20+32	27+86	0,00	—	СВ:44°42′
3	31+48	—	29°14′	700	714,31	357,15	362,72	31,24	500	27+86	35+00	669,90	—	СВ:73°56′
КТ	41+70													

но рамке. Пикеты и другие надписи, относящиеся к трассе, пишут вдоль трассы или перпендикулярно к ней. Условные обозначения и знаки должны соответствовать действующим для топографических карт.

На плане трассы, проложенной в равнинной и слабопересеченной местности, горизонтали показывают в тех местах, где они необходимы для обоснования выбора направления трассы, а в сильнопересеченной и горной местности — на всем ее протяжении.

При пересечении трассы с железными и автомобильными дорогами на плане указывают угол и пикетажное положение пересечения.

Выше трассы указывают наименование землепользователей. На свободном месте вычерчивают схемы закрепления трассы (рис. 2.13) и таблицу элементов углов поворотов прямых и кривых (табл. 2.8), а в левом верхнем углу располагают стрелку направления север—юг, летнюю и зимнюю розы ветров. При значительной длине трассы в конце ее на первом листе, в начале и конце трассы на последующих листах перпендикулярно к ней проводят пунктирные линии сопряжения с соседними листами.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА МАЛЫХ ВОДОТОКАХ

К малым водотокам относятся ручьи, малые реки с площадью водосборного бассейна менее 100 км^2, а также овраги и суходолы, по которым после дождей или снеготаяния стекает вода.

Основными водопропускными сооружениями на автомобильных дорогах в местах пересечения ими малых водотоках являются трубы и малые мосты длиной до 25 м.

В настоящее время при проектировании автомобильных дорог принимают только типовые трубы и малые мосты.

3.1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ТИПОВЫХ ТРУБАХ И МАЛЫХ МОСТАХ

Типовые трубы

Основными элементами водопропускных труб являются: фундамент, звенья, из которых состоит основная длина трубы; входной и выходной оголовки.

По форме отверстия на автомобильных дорогах применяют круглые и прямоугольные трубы.

Отверстием трубы называется наибольший размер внутреннего поперечного сечения трубы d или $b \times h$ (рис. 3.1).

Рис. 3.1. Поперечные сечения труб

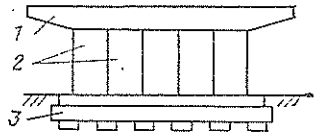


Рис. 3.4. Промежуточная опора-стенка

1 — ригель; *2* — блоки стенки; *3* — свайный ростверк

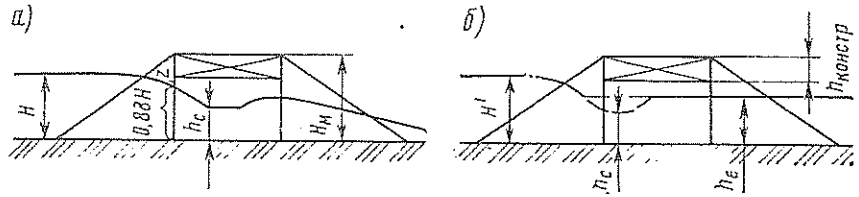


Рис. 3.5. Схемы протекания воды под малыми мостами:

а — свободная; *б* — несвободная

свайных опор с конусами при высоте насыпи $H_{нас}$ от 1 до 3 м (см. рис. 3.20, *б*) для одно-, пятипролетных мостов пролетами 6 — 18 м.

При большей высоте насыпи предусматривают забивку свай в заранее отсыпанную часть насыпи высотой 3 м.

Промежуточные опоры предусматриваются в виде однорядных свайных опор высотой до 5 м (см. рис. 3.20, *б*) и опор-стенок высотой от 3 до 7 м (рис. 3.4).

Отверстием моста называют расстояние в свету между крайними опорами, т. е. без ширины промежуточных опор и конусов. Гидравлический расчет малых мостов сводится к определению отверстия b, соответствующего расчетному расходу, который должен пропустить мост, и условиям протекания воды под мостом.

Различают две схемы протекания воды под мостами (рис. 3.5):

свободного истечения, когда уровень воды за мостом не влияет на условия протекания воды под мостом;

несвободного истечения, когда уровень воды за мостом влияет на условия протекания воды под мостом.

Схема несвободного истечения имеет место при очень глубоком потоке воды в отводящем русле за мостом, когда $h_б > 0{,}7H$. В обычных условиях протекание воды под малыми мостами происходит по схеме свободного истечения.

Малые мосты предусматривают там, где нельзя устраивать трубы, или при значительном расходе воды. Малые мосты, как и трубы, разрешается располагать при любых сочетаниях плана и профиля дороги. Но расположение мостов на вертикальных и горизонтальных кривых или больших продольных уклонах вызывает усложнение их конструкций.

Вопрос о применении моста или трубы решается технико-экономическим сравнением.

3.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛЫХ МОСТОВ И ТРУБ

Чтобы запроектировать малый мост или трубу необходимо знать, где и в каких условиях будет находиться сооружение, какой максимальный расход воды оно должно пропустить.

В соответствии с заданием на проектирование дороги известны район проектирования и категория проектируемой дороги. По этим данным устанавливается на карте-схеме ливневых районов СССР номер ливневого района (рис. 3.6) и по табл. 3.1 вероятность превышения паводка ВП, которое выражается в процентах и показывает по максимальному расходу паводка, для какого периода нужно вести расчет:

при ВП = 1 % — по Q_{max}, который бывает 1 раз в 100 лет;

при ВП = 2 % — по Q_{max}, который бывает 1 раз в 50 лет;

при ВП = 3% — по Q_{max}, который бывает 1 раз в 33 года.

В зависимости от ливневого района и ВП устанавливается часовая интенсивность дождя $a_ч$ (табл. 3.2).

Чтобы установить характеристику водосборного бассейна, на карте с нанесенной трассой дороги намечают границу водосборного бассейна для сооружения и определяют (см. рис. 3.17):

Таблица 3.1. **Вероятность превышения паводка**

Сооружения	ВП, %
Постоянные мосты на дорогах I—III категорий и трубы на дорогах I категории	1
Постоянные мосты на дорогах IV и V категорий и трубы на дорогах II и III категорий	2
Деревянные мосты и трубы на дорогах IV и V категорий	3

Таблица 3.2. **Интенсивность ливня часовой продолжительности**

№ ливневых районов СССР	Часовая интенсивность дождя $a_ч$, мм/мин, при ВП, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,22	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3	0,29	0,41	0,47	0,52	0,58	0,70	0,95	1,15
4	0,45	0,59	0,64	0,69	0,74	0,90	1,14	1,32
5	0,46	0,62	0,69	0,85	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,73
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,50	1,77
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65

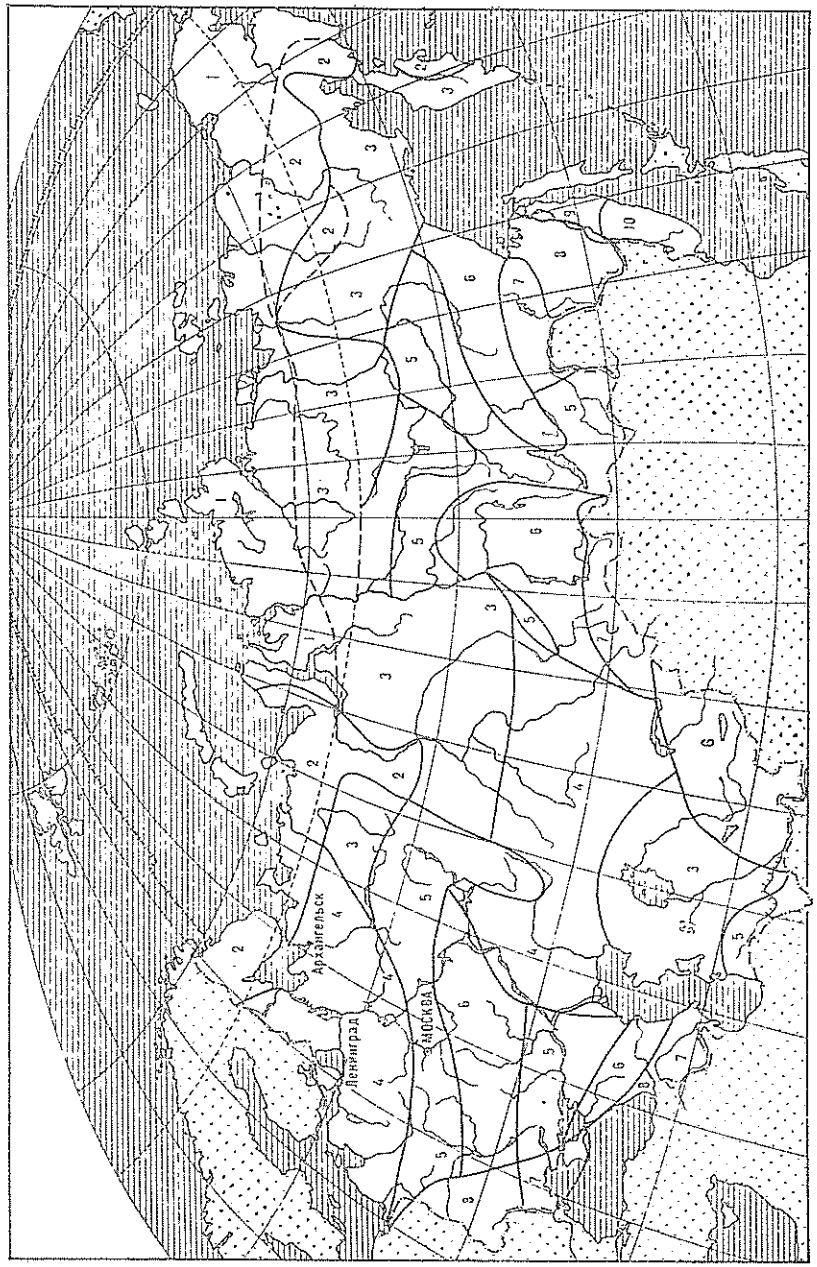


Рис. 3.6. Карта-схема ливневых районов

1. Площадь водосборного бассейна

$$F = f_1 + f_2 + \ldots \tag{3.1}$$

2. Длину главного лога

$$L = l_1 + l_2 + \ldots \tag{3.2}$$

3. Средний уклон главного лога

$$i = \frac{H_з - H_0}{L}. \tag{3.3}$$

3. Уклон лога у сооружения (см. рис. 3.18)

$$i_с = \frac{H_в - H_н}{100}. \tag{3.4}$$

5. Средние уклоны склонов (см. рис. 3.19)

$$i_1 = \frac{H_1 - H_0}{l_1}\ ;\ i_2 = \frac{H_2 - H_0}{l_2}.$$

6. Глубину лога у сооружения

$$h_л = H_1 - H_0, \text{ если } H_2 < H_1\ h_л = H_2 - H_0. \tag{3.5}$$

7. Площадь озер на водосборном бассейне $f_{оз}$.

Устанавливается также возможность создания пруда перед сооружением, т. е. возможность учета аккумуляции воды.

Для определения максимального расхода от ливневых вод устанавливают: коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к интенсивности расчетной продолжительности K_t (табл. 3.3); коэффициент потери стока α (табл. 3.4); коэффициент редукции максимального ливневого стока φ (табл. 3.5).

Для определения максимального расхода от талых вод устанавливают коэффициент дружности половодья K_0 (табл. 3.6) и средний многолетний слой стока h (рис. 3.7). Значения h по карте соответствуют водосборным бассейнам с $F > 100$ км^2. Для малых бассейнов вводятся поправочные коэффициенты: 1,1 при холмистом рельефе и глинистых почвах; 0,9 при равнинном рельефе и песчаных почвах; 0,5 при особо больших потерях стока (сосновые леса на песках); коэффициент вариации C_V (рис. 3.8). К значениям C_V, полученным по карте, необходимо вводить коэффициенты: 1,25 при площади бассейна $F = (0 \div 50)$ км^2; 1,20 при $F = (51 \div 100)$ км^2; коэффициент асимметрии C_S, который принимают для равнинных водосборов равным $2C_V$; для водосборов, расположенных на северо-западе северо-востоке СССР $C_S = 3C_V$; для водосборов в горной местности $C_S = (3 \div 4)\ C_V$; модульный коэффициент K_p, зависящий от $ВП$, C_V и C_S (рис. 3.9); коэффициент δ_1, учитывающий снижение расхода при наличии озер более 2% на площади бассейна, принимается равным:

Озерность, %	2—5	5—10	10—15	>15
δ_1	0,90	0,80	0,75	0,70

Таблица 3.3. Коэффициент K_l

L, км	K_l при $i_л$							
	0,0001	0,01	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
0,15	4,25			Полный сток 5,24				
0,30	2,57	3,86						
0,50	1,84	2,70	3,93					
0,75	1,41	2,08	2,97	4,50	5,05			
1,0	1,16	1,71	2,53	3,74	4,18	4,50	4,90	5,18
1,5	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
2,0	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,08	3,27
2,5	0,63	0,92	1,37	2,02	2,26	2,44	2,65	2,80
3,0	0,56	0,82	1,21	1,79	2,0	2,16	2,34	2,49
3,5	0,50	0,74	1,10	1,62	1,81	1,95	2,12	2,31
4,0	0,46	0,68	1,0	1,48	1,65	1,78	1,94	2,11
4,5	0,42	0,62	0,93	1,37	1,53	1,65	1,78	1,95
5,0	0,40	0,58	0,86	1,27	1,42	1,54	1,67	1,82
6,0	0,35	0,52	0,76	1,13	1,26	1,36	1,48	1,68
7,0	0,32	0,47	0,69	1,02	1,14	1,23	1,33	1,45
8,0	0,29	0,43	0,63	0,93	1,04	1,12	1,22	1,33
9,0	0,27	0,39	0,58	0,86	0,96	1,04	1,13	1,23
10,0	0,25	0,37	0,54	0,80	0,90	0,97	1,05	1,14
11,0	0,23	0,34	0,51	0,75	0,84	0,91	0,98	1,07
12,0	0,22	0,32	0,48	0,71	0,79	0,86	0,83	0,99
13,0	0,21	0,31	0,46	0,67	0,75	0,81	0,88	0,96
14,0	0,20	0,29	0,43	0,64	0,72	0,79	0,84	0,91
15,0	0,19	0,28	0,41	0,61	0,68	0,74	0,80	0,87
20,0	0,16	0,23	0,34	0,50	0,56	0,61	0,66	0,72

Таблица 3.4. Коэффициент потерь стока

Вид и характер поверхности	Коэффициент α при F, км²		
	0—1	1—10	10—100
Асфальт, скала без трещин, бетон	1	1	1
Жирноглинистые почвы, такыры и такыровые почвы	0,70—0,95	0,65—0,95	0,65—0,90
Суглинки, подзолы, подзолистые и серые лесные суглинки, сероземы тяжелосуглинистые, тундровые и болотные почвы	0,60—0,90	0,55—0,80	0,50—0,75
Чернозем обычный и южный, светло-каштановые почвы, лёсс, карбонатные почвы, темно-каштановые почвы	0,55—0,75	0,45—0,70	0,35—0,65
Супеси, бурые и серо-бурые пустынно-степные, сероземы супесчаные и песчаные	0,30—0,60	0,20—0,55	0,20—0,45
Песчаные, гравелистые, рыхлые каменистые почвы	0,25	0,15—0,20	0,10

Примечание. Меньшие значения коэффициентов α соответствуют суточным слоям осадков $H<30$ мм, а большие значения $H>200$ мм. В пределах 30 мм$<H<$200 мм определяется интерполяцией.

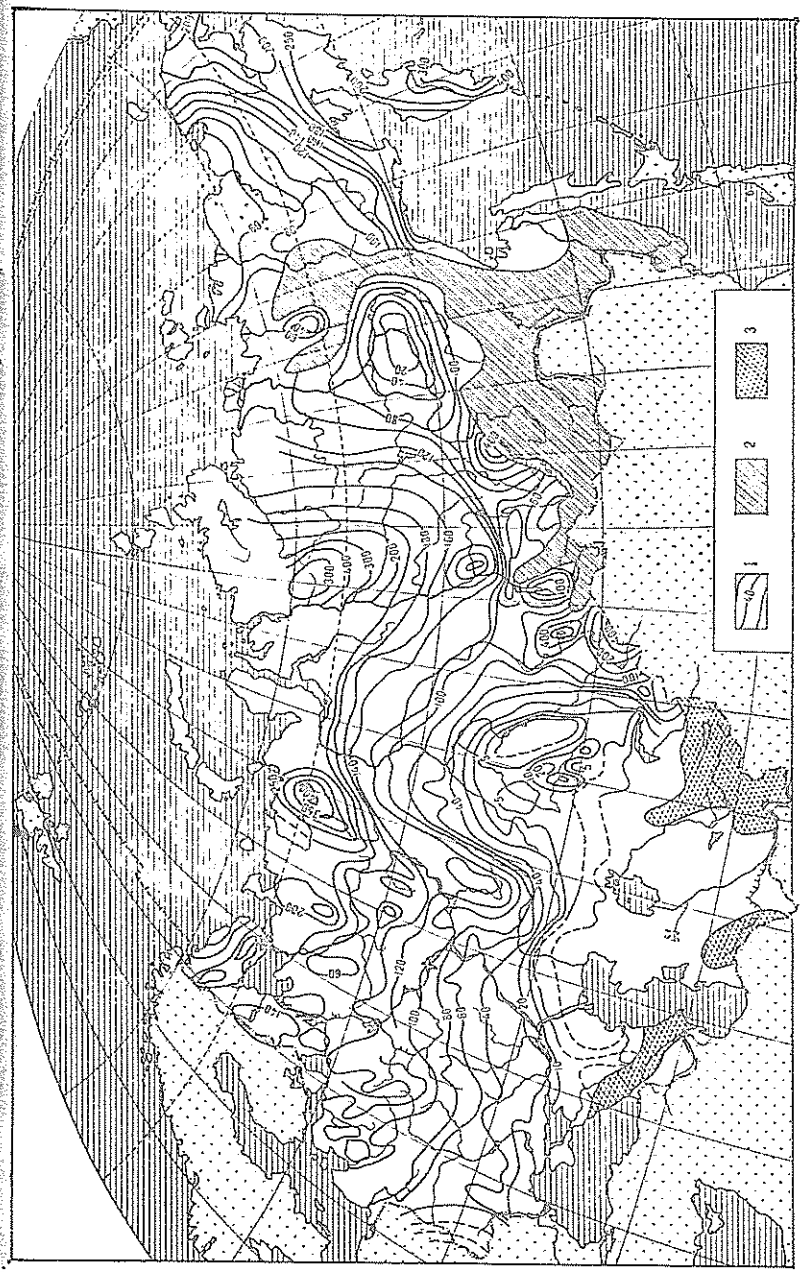


Рис. 3.7. Карта среднего многолетнего слоя стока талых вод:
1 — районы, в которых расчетными являются максимальные расходы половодья, за исключением малых водосборов и изоляции среднего слоя стока половодья; *2* — районы, в которых расчетными являются максимальные расходы дождевых паводков; *3* — горные районы, в которых весеннее половодье не выделяется

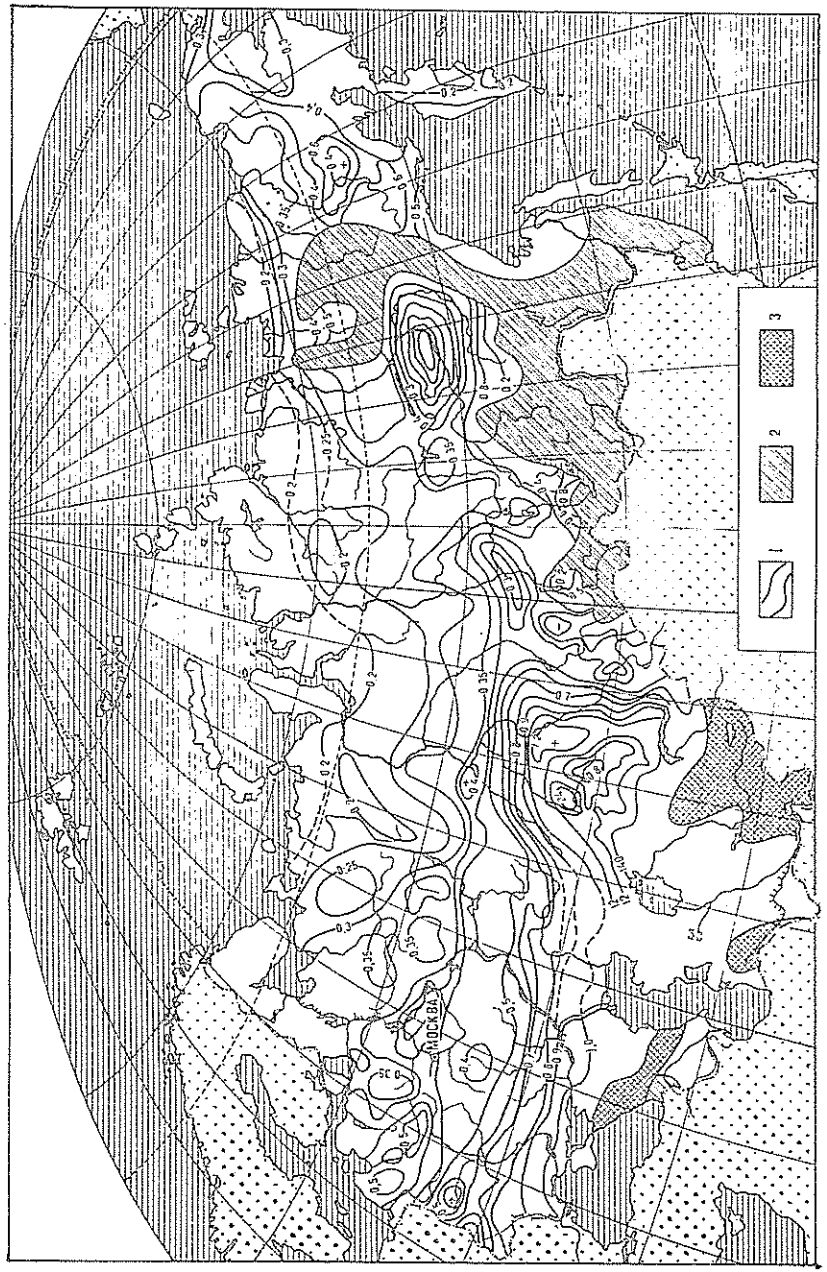


Таблица 3.5. Коэффициент редукции

F, км²	φ	F, км²	φ	F, км²	φ	F, км²	φ	F, км²	φ	F, км²	φ
0,1	1,00	0,6	0,64	1,5	0,51	5,0	0,38	14	0,29	40	0,22
0,2	0,84	0,7	0,61	2,0	0,47	6,0	0,36	16	0,28	50	0,21
0,3	0,76	0,8	0,59	2,5	0,45	8,0	0,33	20	0,27	60	0,20
0,4	0,71	0,9	0,58	3,0	0,43	10,0	0,32	25	0,25	80	0,19
0,5	0,67	1,0	0,56	4,0	0,40	12,0	0,30	30	0,24	100	0,18

Таблица 3.6. Таблица значений K_0 и n

Географический р-н (зона)	n	K_0
Лесотундровая зона		
Европейская территория СССР и Восточная Сибирь	0,17	0,010—0,006
Западная Сибирь	0,25	0,103—0,010
Лесостепная и степная зоны		
Европейская территория СССР	0,25	0,020—0,012
Северный Кавказ	0,25	0,030—0,025
Западная Сибирь	0,25	0,030—0,015
Зона засушливых степей и полупустынь		
Западный и Центральный Казахстан	0,35	0,060—0,040
Горные районы		
Урал	0,15	0,025—0,018
Карпаты	0,15	0,0045
Алтай	0,15	0,0025—0,0015
Камчатка	0,15	0,0010
Сахалин	0,15	0,0014—0,0020

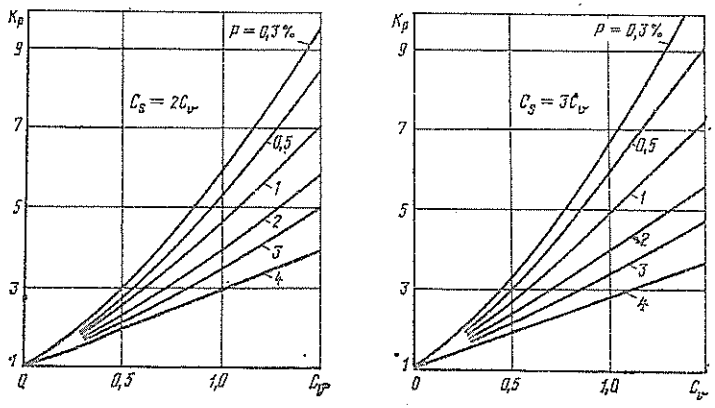


Рис. 3.9. Модульные коэффициенты при гамма-параметрическом законе распределения

Таблица 3.7. Таблица исходных данных малых мостов и труб

№ п/п	Место расположения сооружения: пк	Место расположения сооружения: +	Река и название водотока	ВП, %	Площадь водосборного бассейна F, км²	Длина главного лога L, км	Средний уклон главного лога $i_л$, ‰	Уклон лога у сооружения $i_с$, ‰	Ливневый расход: Номер лишенного района	Ливневый расход: Часовая интенсивность дождя $q_{1\%}$, мм/мин	Ливневый расход: Коэффициент перехода	Ливневый расход: Коэффициент потерь стока α	Ливневый расход: Коэффициент редукции φ	Ливневый расход: Максимальный лишенный расход $Q_л$, м³/с	Ливневый расход: Объем лишенного стока W, м³	Снеговой расход: Коэффициент дружности половодья K_0	Снеговой расход: Показатель степени n	Снеговой расход: Средний многолетний слой стока h, мм	Снеговой расход: Коэффициент вариации C_V	Снеговой расход: Коэффициент асимметрии C_S	Снеговой расход: Модульный коэффициент K_p	Снеговой расход: Расчетный слой суммарного стока $h_p = hK_p$, мм	Снеговой расход: Коэффициент заозерности δ_1	Снеговой расход: Максимальный снеговой расход $Q_{сн}$, м³/с	Примечания	
1	2	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	8	00	Лог	2	1,40	1,90	16	7	4	0,74	1,71	0,55	0,52	8,46	1357	0,01	0,17	154	0,44	1,32	2,0	308	1	3,72	С учетом аккумуляции	
2	37	00	»	2	0,23	0,50	8	6	4	0,74	3,67	0,55	0,82	4,71	—	0,01	0,17	154	0,44	1,32	2,0	308	1	0,68		
3	18	45	р. Наумка	1	5,30	2,50	2	2	4	0,90	0,97	0,55	0,37	15,72	—	0,01	0,17	154	0,44	1,32	2,3	354	1	13,69		
4	40	00	Лог	2	0,30	0,75	6	20	4	0,74	2,57	0,55	0,76	3,98	—	0,01	0,17	154	0,44	1,32	2,0	308	1	0,88		

коэффициент, учитывающий залесенность и заболоченность площади водосборного бассейна δ_2 (для малых бассейнов $\delta_2 = 1$, так как болота могут быть осушены, а лес вырублен); показатель степени n (см. табл. 3.6); расчетный слой суммарного стока $h_p = hK_p$.

Собранные по каждому сооружению данные заносятся в таблицу исходных данных малых мостов и труб (табл. 3.7).

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ

Максимальный расход может быть от ливневых или талых вод.

Определение максимального расхода от ливневых вод

Максимальный расход от ливневых вод с площадей водосборных бассейнов до 100 км² определяется по формулам, которые приведены в «Указаниях по определению расчетных гидрологических характеристик» СН 435-72 и Справочнике инженера-дорожника.

В последние годы расход от ливневых вод определяют, пользуясь методикой МАДИ, по формуле

$$Q_л = 16{,}7\, a_ч\, K_t\, F \alpha \varphi. \qquad (3.6)$$

Определение $a_ч$, K_t, F, α, φ изложено в п. 3.2.

Общий объем стока ливневых вод

$$W_л = 60\,000\, \frac{a_ч\, F \alpha \varphi}{\sqrt{K_t}}. \qquad (3.7)$$

Определение максимального расхода от талых вод

Во многих районах территории СССР расход от стока талых вод может оказаться больше максимального расхода от ливневых.

Максимальный расход от снегового стока

$$Q_{сн} = \frac{K_0\, h_p\, F}{(F+1)^n}\, \delta_1\, \delta_2. \qquad (3.8)$$

Определение K_0, h_p, F, δ_1, δ_2 изложено в п. 3.2.

3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА С УЧЕТОМ АККУМУЛЯЦИИ ВОДЫ ПЕРЕД СООРУЖЕНИЕМ

Трубы и малые мосты должны пропускать весь объем воды, притекающий к ним с площади водосборного бассейна. Если расход в сооружении равен расходу притока $Q_л$, вся притекающая вода сразу протекает через сооружение. Если расход воды, пропускаемый

сооружением, принимают меньшим, чем расход притока, часть воды, притекающей к сооружению, аккумулируется перед сооружением, образуя временный пруд.

Аккумуляция части притока позволяет уменьшить отверстие сооружения, но увеличивает подпор воды перед сооружением. Учет аккумуляции имеет экономический эффект в тех случаях, когда отверстие сооружения может быть уменьшено по сравнению с отверстием, рассчитанным на пропуск всего расхода притока, и при этом не потребуется значительного увеличения высоты насыпи из-за подпора воды в пруде перед сооружением.

Аккумуляцию учитывают только от ливневого стока. При стоке талых вод предполагаемая площадь пруда может оказаться заполненной снегом и создание пруда будет невозможным. Поэтому учитывать аккумуляцию от талых вод не разрешается.

Аккумуляцию воды перед сооружением не учитывают при условии, если:

расход притока $Q_л$ небольшой и не требуется уменьшения отверстия сооружения;

перед сооружением нельзя создать пруд (значительный уклон лога; узкий лог с крутыми склонами; на предполагаемой площади пруда расположены застройки или полезные земли;)

искусственное сооружение проектируется в районе с муссонными осадками.

Расход с учетом аккумуляции:

$$Q_а = Q_л \left(1 - \frac{W_{пр}}{0{,}7W}\right); \qquad (3.9)$$

$$W_{пр} = \frac{m_1 + m_2}{6 i_л} H^3 = aH^3; \qquad (3.10)$$

$$H^3 = \frac{W_{пр}}{a}, \qquad (3.11)$$

где $W_{пр}$ — объем накопления воды в пруде, который зависит от среднего уклона лога $i_л$, коэффициентов заложения склонов m_1 и m_2, глубины пруда H (рис. 3.10); a — коэффициент формы лога; m_1, m_2 — коэффициенты заложения склонов ($m_1 = 1 : i_1$, $m_2 = 1 : i_2$).

Степень снижения расхода, протекающего через сооружение, не допускается более чем в 3 раза, т. е. $Q_а \geqslant 0{,}33Q_л$.

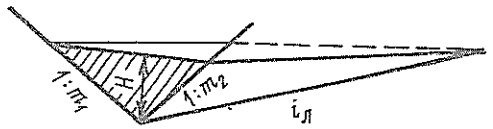


Рис. 3.10. Схема объема пруда

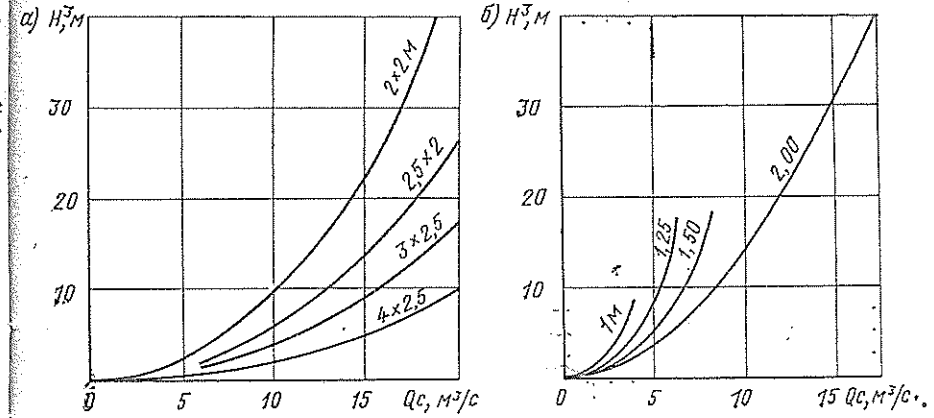


Рис. 3.11. Расчетные графики пропускной способности труб:
а — прямоугольных унифицированных; *б* — круглых унифицированных

С учетом недопустимых степеней снижения расход определяется по формуле

$$Q_а = 0{,}62Q_л \left(1 - \frac{W_{пр}}{W}\right). \qquad (3.12)$$

Подпертая глубина перед сооружением зависит от расхода $H = fQ_а$. Для типовых отверстий труб построены графики пропускных способностей с координатами H^3 и $Q_а$ (рис. 3.11).

Для определения расхода с учетом аккумуляции нужно построить на графике пропускных способностей труб два отрезка прямых аккумуляций (рис. 3.12):

1-й отрезок соединяет значения 0,62 $Q_л$ с $\frac{W}{a}$ и соответствует недопустимым степеням аккумуляции;

2-й отрезок соединяет значения $Q_л$ с $\frac{0{,}7W}{a}$ и соответствует допустимым степеням аккумуляции.

Точки пересечения 2-го отрезка с кривыми пропускных способностей труб, расположенные до пересечения с 1-м отрезком, соответствуют координатам H^3 и $Q_а$, равным соответствующим отверстиям труб:

$d_2 = 1{,}25$; $H_2^3 =$; $Q_{а2} =$;

$d_3 = 1{,}50$; $H_3^3 =$; $Q_{а3} =$;

$d_4 = 2{,}00$; $H_4^3 =$; $Q_{а4} =$;

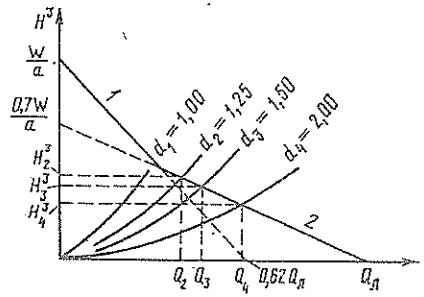


Рис. 3.12. Построение прямых аккумуляции и определение H^3 и $Q_а$

Таблица 3.8. Коэффициент аккумуляции

Площадь водосборного бассейна F, км²	Коэффициент аккумуляции при $W_{пр}/W$													
	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
$F<10$	1,00	0,97	0,90	0,82	0,73	0,62	0,54	0,45	0,30	0,23	0,17	0,12	0,08	0
$F>10$	—	—	—	—	—	—	—	0,45	0,35	0,27	0,21	0,15	0,09	0

Для малых мостов расход с учетом аккумуляции

$$Q_a = \lambda Q_л, \qquad (3.13)$$

где λ — коэффициент аккумуляции, зависящий от отношения $W_{пр}/W$ (табл. 3.8).

3.5. УСТАНОВЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РАСХОДА

Расчетным считают расход, на пропуск которого рассчитаны сооружение, малый мост или труба.

В зависимости от исходных данных за расчетный может быть принят максимальный расход от ливневого стока $Q_л$, или максимальный расход от талых вод $Q_{сн}$, или расход с учетом аккумуляции воды перед сооружением Q_a.

Если максимальный расход от талых вод больше максимального расхода от ливневых $Q_{сн} > Q_л$, за расчетный расход принимают максимальный расход от талых вод $Q_р = Q_{сн}$.

Если максимальный расход от ливневых вод больше максимального расхода от талых вод $Q_л > Q_{сн}$ и образование пруда перед сооружением невозможно, за расчетный расход принимают максимальный расход от ливневых вод $Q_р = Q_{сн}$.

Если при $Q_л > Q_{сн}$ образование пруда перед сооружением возможно и целесообразно, за расчетный принимают расход с учетом аккумуляции воды перед сооружением $Q_р = Q_a$.

3.6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

Проектирование водопропускных труб включает следующие вопросы: установление исходных данных для проектирования; определение расчетного расхода; подбор отверстия типовой трубы; определение минимальной высоты насыпи у трубы; определение длины трубы; назначение укрепления у трубы.

Первые два вопроса рассмотрены выше (см. п. 3.2—3.5).

Подбор отверстия типовой трубы

Отверстие проектируемой трубы зависит от расчетного расхода $Q_р$, который должна пропустить труба, а также от глубины лога у сооружения.

Таблица 3.9. Гидравлические характеристики типовых круглых труб

Тип оголовка	Диаметр отверстия, м	Расход, м³/с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость на выходе из трубы, м/с
1	2	3	4	5
Безнапорный режим				
Портальный	0,75	0,25	0,41	1,40
		0,40	0,62	1,70
		0,60	0,79	2,00
		0,74	0,90	2,20
Раструбный с нормальным входным звеном	1,00	1,00	0,94	2,40
		1,70	1,27	2,70
		1,40	1,15	2,70
Раструбный с коническим входным звеном	1,00	0,60	0,57	1,40
		1,00	0,84	2,40
		1,40	1,03	2,70
		1,70	1,08	2,70
		2,00	1,31	3,30
		2,20	1,39	3,40
	1,25	1,00	0,77	2,20
		1,50	0,95	2,50
		2,00	1,13	2,70
		2,50	1,29	3,00
		3,90	1,74	3,80
		2,70	1,37	3,20
		3,00	1,46	3,30
		3,50	1,61	3,50
	1,50	2,50	1,19	2,90
		2,80	1,27	3,00
		3,00	1,32	3,00
		3,50	1,45	3,20
		3,90	1,54	3,30
		4,30	1,63	3,50
		4,70	1,75	3,70
		5,00	1,81	3,70
		6,00	2,08	4,10
	2,00	3,50	1,26	2,90
		4,00	1,36	3,00
		5,00	1,55	3,30
		4,50	1,47	3,20
		5,50	1,65	3,40
		6,00	1,73	3,50
		6,50	1,81	3,60
		7,00	1,90	3,70
		7,50	1,98	3,80
		8,00	2,06	3,90
		8,50	2,14	4,00
		9,00	2,22	4,10
		9,70	2,32	4,20
		10,00	2,38	4,30
		10,50	2,46	4,30
		11,00	2,54	4,50
		12,50	2,78	4,80

Продолж. табл.

Тип оголовка	Диаметр отверстия, м	Расход, м³/с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость на выходе из трубы, м/с
1	2	3	4	5
		Полунапорный режим		
Раструбный с нормальным входным звеном	1,00	1,70	1,27	3,60
		2,30	1,89	4,90
		2,50	2,12	5,30
		2,80	2,54	6,00
	1,25	3,00	1,59	4,10
		3,50	1,00	4,80
		4,00	2,38	5,50
		4,40	2,73	6,00
	1,50	4,70	1,91	4,40
		5,20	2,21	4,90
		5,60	2,42	5,30
		6,00	2,64	5,70
		6,36	2,85	6,00
		Напорный режим		
Раструбный с коническим выходным звеном	1,00	3,00	1,66	4,20
		3,50	2,02	5,00
	1,25	5,00	1,96	4,50
		6,00	2,45	5,40
	1,50	7,00	2,24	4,40
		8,00	2,40	5,00
		8,50	2,58	5,30
	2,00	13,50	2,86	4,90
		14,50	3,01	5,10
		16,00	3,11	5,70
		16,50	3,22	5,90

Если за расчетный расход принят максимальный расход от ли
невых вод $Q_л$ или от снеговых вод $Q_{сн}$, отверстие трубы подбира
по таблицам гидравлических характеристик типовых труб (таб
3.9—3.10).

При подборе отверстия по таблицам необходимо, чтобы табли
ный расход был равен или немного больше расчетного, и при эт
соответствующая табличном
расходу глубина воды пер
трубой H была меньше глубин
лога у сооружения $h_д$ (рис. 3.13

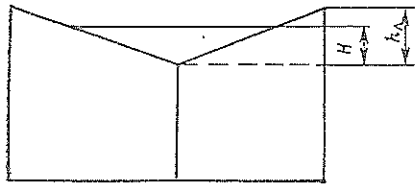


Рис. 3.13. Схема к подбору отверст
трубы

Таблица 3.10. **Гидравлические характеристики прямоугольных труб с нормальным входным звеном**

Отверстие трубы	Безнапорный режим								Полунапорный режим		
	$Q_р$, м³/с	$Q_н$, м³/с	H, м	$h_{вх}$, м	$h_к$, м	$h_{сж}$, м	$i_к$	$v_{вых}$, м/с	$Q_н$, м³/с	H, м	$v_{вых}$, м/с
	6,75	—	1,97	1,66	1,31	1,11	0,007	4,1	8,25	2,30	4,3
1,5×2,0	—	7,5	2,12	—	1,41	1,19	0,007	4,2	13,50	3,99	7,1
	9,00	—	1,97	1,66	1,31	1,11	0,007	4,1	11,00	2,30	4,3
2,0×2,0	—	10,00	2,12	—	1,41	1,19	0,007	4,2	18,00	3,99	7,1
	13,50	—	1,97	1,66	1,31	1,11	0,007	4,1	16,50	2,30	4,3
3,0×2,0	—	15,00	2,12	—	1,41	1,19	0,007	4,2	27,00	3,99	7,1
	17,00	—	3,01	2,50	2,01	1,70	0,008	5,0	21,00	3,47	5,5
2,0×3,0	—	19,00	3,27	—	2,17	1,82	0,008	5,2	23,60	3,99	6,2
	25,50	—	3,01	2,50	2,01	1,70	0,008	5,0	31,50	3,47	5,5
3,0×3,0	—	28,50	2,27	—	2,17	1,82	0,008	5,2	35,40	3,99	6,2
	34,00	—	3,01	2,50	2,01	1,70	0,008	5,0	42,00	3,47	5,5
4,0×3,0	—	38,00	3,27	—	2,17	1,82	0,008	5,2	47,20	3,99	6,2
	42,50	—	3,01	2,50	2,01	1,70	0,008	5,0	52,50	3,47	5,5
5,0×3,0	—	48,00	3,27	—	2,17	1,82	0,008	5,2	59,00	3,99	6,2
	51,00	—	3,01	2,50	2,01	1,70	0,008	5,0	63,00	3,47	5,5
6,0×3,0	—	57,00	3,27	—	2,17	1,82	0,008	5,2	70,80	3,99	6,2

Если $H > h_л$, то принимают двух- или трехочковые трубы. При этом расчетный расход на одно очко:

$Q_{р2} = \frac{Q_р}{2}$ — для двухочковых труб;

$Q_{р3} = \frac{Q_р}{3}$ — для трехочковых труб.

По значениям расчетного расхода на одно очко $Q_р$, $Q_{р2}$, $Q_{р3}$ по таблицам гидравлических характеристик труб подбирают отверстие одно-, двух- или трехочковой трубы, стремясь при этом к наиболее экономичному отверстию.

Если за расчетный расход принят расход с учетом аккумуляции, значения отверстия d (или $b \times h$), расчетный расход $Q_а$ и глубину воды перед трубой H определяют по графикам (см. рис. 3.11), а скорость на выходе из трубы по формуле

$$v = 0{,}85\sqrt{qH}. \qquad (3.14)$$

Определение минимальной высоты насыпи у трубы

Минимальная высота насыпи H_{min}, обеспечивающая размещение трубы, зависит от подпора воды перед трубой H, который в свою очередь зависит от режима протекания потока, высоты трубы в свету $h_{тр}$ (для круглой трубы d), толщины стенки круглой трубы или толщины плиты перекрытия прямоугольной трубы δ (табл. 3.11, 3.12), толщины дорожной одежды.

Таблица 3.11. Геометрические размеры круглых труб

Отверстие d, м	Входное звено: Высота $h_{вх}$, м	Входное звено: Длина $l_{вх}$, м	Длина оголовка M, м	Высота насыпи $H_{нас}$, м	Толщина звена δ, м	Отверстие d, м	Входное звено: Высота $h_{вх}$, м	Входное звено: Длина $l_{вх}$, м	Длина оголовка M, м	Высота насыпи $H_{нас}$, м	Толщина звена, δ, м
1,00	1,20	1,32	1,78	До 4,0	0,10	1,50	1,80	1,32	2,74	До 4,5	0,14
				4,1—7,0	0,12					4,6—9,0	0,16
1,25	1,50	1,32	2,26	До 4,0	0,12					9,1—20,0	0,22
				4,1—8,0	0,14	2,00	2,40	1,32	3,66	До 5,0	0,16
				8,1—20,0	0,18					5,1—9,0	0,20
										9,1—20,0	0,24

Примечания: 1. Для труб с нормальным входным звеном его высота на входе равна отверстию трубы, а длина равна 1,0 м.
2. Длина остальных звеньев равна 1,0 м.

Таблица 3.12. Геометрические размеры прямоугольных труб

Отверстие $b \times h$	Входное звено — секция: Высота $h_{вх}$, м	Входное звено — секция: Длина $l_{вх}$, м	Длина оголовка $\frac{M}{M_1}$, м	Высота насыпи $H_{нас}$, м	Толщина плиты перекрытия δ, м
1,5×2,0	$\frac{2,0}{2,5}$	3,02	$\frac{3,20}{3,95}$	$\frac{\text{До } 8,0}{8,1—20,0}$	$\frac{0,19}{0,30}$
2,0×2,0	$\frac{2,0}{2,5}$	3,02	$\frac{3,20}{3,95}$	$\frac{\text{До } 8,0}{8,1—20,0}$	$\frac{0,22}{0,37}$
3,0×2,0	$\frac{2,0}{2,5}$	3,02	$\frac{3,20}{3,92}$	$\frac{\text{До } 8,0}{8,1—20,0}$	$\frac{0,30}{0,47}$
2,0×3,0	$\frac{3,0}{3,5}$	3,02	$\frac{4,70}{5,45}$	$\frac{\text{До } 8,0}{8,1—20,0}$	$\frac{0,22}{0,37}$
3,0×3,0	$\frac{3,0}{3,5}$	3,02	$\frac{4,70}{5,45}$	$\frac{\text{До } 8,0}{8,1—20,0}$	$\frac{0,30}{0,47}$
4,0×3,0	$\frac{3,0}{3,5}$	3,02	$\frac{4,70}{5,45}$	$\frac{\text{До } 8,0}{8,1—20,0}$	$\frac{0,36}{0,57}$
5,0×3,0	$\frac{3,0}{3,5}$	3,02	$\frac{4,70}{5,45}$	$\frac{\text{До } 8,0}{8,1—20,0}$	$\frac{0,43}{0,68}$
6,0×3,0	$\frac{3,0}{3,5}$	3,02	$\frac{4,70}{5,45}$	$\frac{\text{До } 8,0}{8,1—20,0}$	$\frac{0,50}{0,76}$

Примечания. 1. В числителе даны значения, соответствующие нормальному входному звену, в знаменателе — повышенному.
2. Длина остальных секций трубы равна 4,0 м.

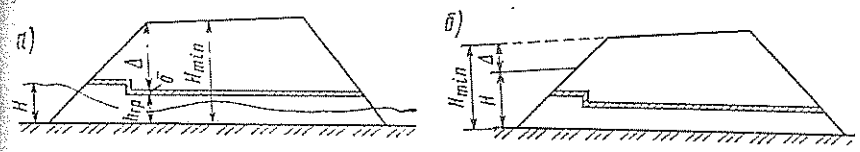


Рис. 3.14. Схема для определения минимальной высоты насыпи у трубы:
а — при безнапорном режиме; *б* — при полунапорном и напорном режимах

При безнапорном режиме протекания потока (рис. 3.14, *а*)

$$H_{min} = h_{тр} + \delta + \Delta, \quad (3.15)$$

где Δ — толщина засыпки трубы у входного оголовка; принимается равной: $\Delta = 0{,}50$ м при $h_{до} < 0{,}50$ м, $\Delta \geqslant h_{до}$ при $h_{до} > 0{,}50$ м;

при полунапорном и напорном режимах потока (рис. 3.14, *б*)

$$H_{min} = H + \Delta, \quad (3.16)$$

где $\Delta = 1{,}0$ м.

Определение длины трубы

Длина трубы зависит от высоты насыпи у трубы $H_{нас}$, которая определяется по продольному профилю после его проектирования и которая должна быть не менее минимальной высоты насыпи у трубы $H_{нас} \geqslant H_{min}$.

При высоте насыпи $H_{нас} \leqslant 6{,}0$ м длина трубы без оголовков

$$l = \left[\frac{0{,}5B + m\,(H_{нас} - h_{тр})}{1 + m i_{тр}} + \frac{0{,}5B + m\,(H_{нас} - h_{тр})}{1 - m i_{тр}} + n \right] \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (3.17)$$

где B — ширина земляного полотна; m — коэффициент заложения откоса земляного полотна; принимается равным 1,5; $i_{тр}$ — уклон трубы; принимается равным уклону лога у сооружения $i_с$; n — толщина стенки оголовка; принимается равной 0,35 м (первое и последнее звенья входят в оголовки на $0{,}5n$); α — угол между осью дороги и трубы.

При $H_{нас} > 6{,}0$ м длина трубы без оголовков

$$l = \left[\frac{0{,}5B - 1{,}5 + 1{,}75\,(H_{нас} - h_{тр})}{1 + 1{,}75 i_{тр}} + \frac{0{,}5B - 1{,}5 + 1{,}75\,(H_{нас} - h_{тр})}{1 - 1.75\, i_{тр}} + n \right] \times \frac{1}{\sin \alpha}. \quad (3.18)$$

Полная длина трубы

$$L_{тр} = l + 2M, \quad (3.19)$$

где M — длина оголовков (см. табл. 3.11, 3.12).

Назначение укрепления у трубы

При растекании потока за трубой его скорость возрастает примерно в 1,5 раза, что вызывает размыв русла, поэтому укрепления за трубой обязательны и должны заканчиваться предохранительным откосом с каменной наброской (рис. 3.15 и 3.16).

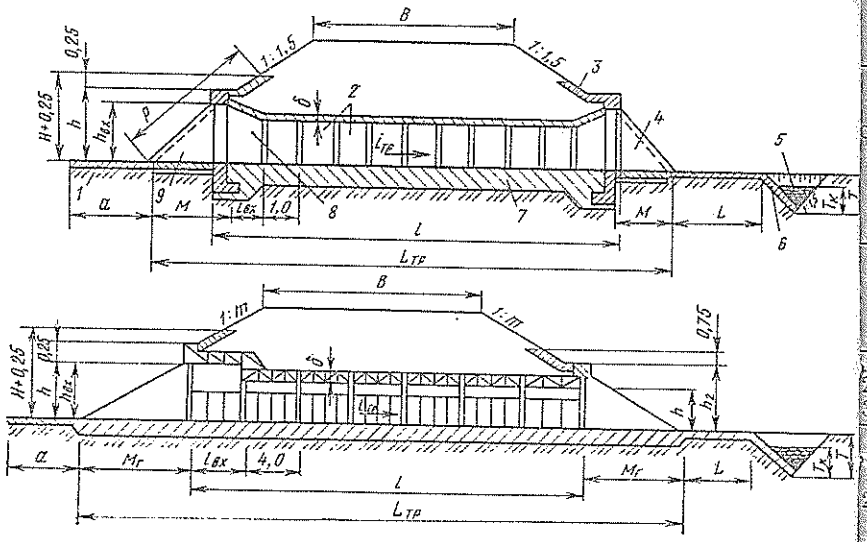


Рис. 3.15. Поперечный разрез труб:
а — круглой; *б* — прямоугольной; *1* — укрепление русла; *2* — промежуточные звенья; *3* — укрепление откосов; *4* — выходной оголовок; *5* — каменная наброска; *6* — предохранительный откос; *7* — фундамент; *8* — входное звено; *9* — входной оголовок

Конструкцию и размеры укрепления входного и выходного оголовков принимают по типовому проекту 501-0-46 «Укрепление русел и откосов насыпей у водопропускных труб».

Геометрические характеристики укреплений приведены в табл. 3.13 и 3.14.

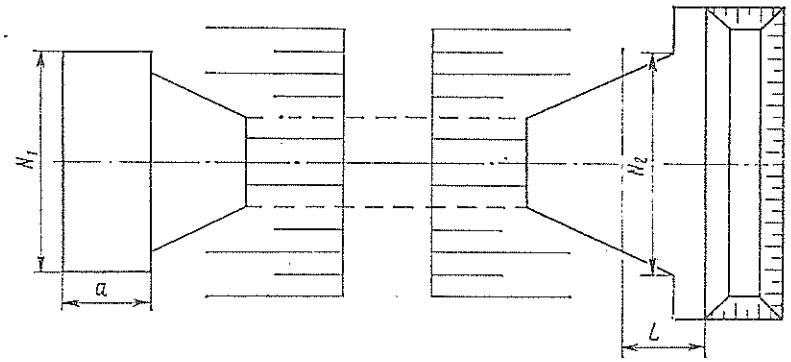


Рис. 3.16. Схема плана укрепления у входного и выходного оголовков труб

Таблица 3.13. Геометрические характеристики укреплений у круглых труб

Отверстие d, м	Расход на одно очко Q, м³/с	Длина укрепления: входной оголовок a, м	Длина укрепления: выходной оголовок L, м	Ширина укрепления: входной оголовок N_1, м	Ширина укрепления: выходной оголовок N_2, м	Глубина ковша размыва T, м	Высота каменной наброски в ковше размыва $T_к$, м	h+0,25, м	Длина укрепления откоса P, м
1,0	До 3,5	2,0	2,0	6,6	7,2	1,0	0,50	1,96	3,5
2×1,0	» 3,5		2,8	8,0	10,5				
3×1,0	» 3,5		3,4	9,5	14,0				
1,25	» 6,0	2,5	2,0	7,4	7,9	1,1	0,75	2,28	4,1
2×1,25	» 6,0		2,8	9,2	11,5				
3×1,25	» 6,0		3,4	10,9	15,0				
1,50	» 3,9	3,0	2,0	8,0	8,5	1,0	0,50	2,60	4,7
	4,0—8,5		3,0		8,7	1,1—1,3	0,55—0,75		
2×1,50	До 3,9	3,0	2,8	10,1	12,4	1,0	0,50		
	4,0—8,5		4,2		12,9	1,1—1,3	0,55—0,75		
3×1,50	До 3,9	3,0	3,4	12,2	16,3	1,0	0,50		
	4,0—8,5		5,1		17,1	1,1—1,3	0,55—0,75		
2,0	До 3,9	3,5	2,0	9,3	9,9	1,0	0,50	3,21	5,8
	4,0—16,5		3,0		10,5	1,0—1,6	0,60—1,10		
2×2,0	До 3,9	3,5	2,8	12,0	14,8	1,0	0,50		
	4,0—16,5		4,2		15,5	1,0—1,6	0,60—1,10		
3×2,0	До 3,9	3,5	3,4	14,9	19,3	1,0	0,50		
	4,0—16,5		5,1		20,7	1,0—1,6	0,60—1,10		

Примечания. 1. Материал укрепления — монолитный бетон, бетонные плиты, мощение.
2. Высота укрепления откосов насыпи у входных оголовков принимается равной H+0,25 м, но не менее h+0,25 м. У выходного оголовка насыпь укрепляют на высоту h+0,25 м.

Примеры проектирования водопропускных труб

Пример 1. На пк 8 + 00 II варианта трасса пересекает лог. Намечаем на карте (см. рис. 2.12) границу водосборного бассейна, главный лог и вычерчиваем схему водосборного бассейна (рис. 3.17).

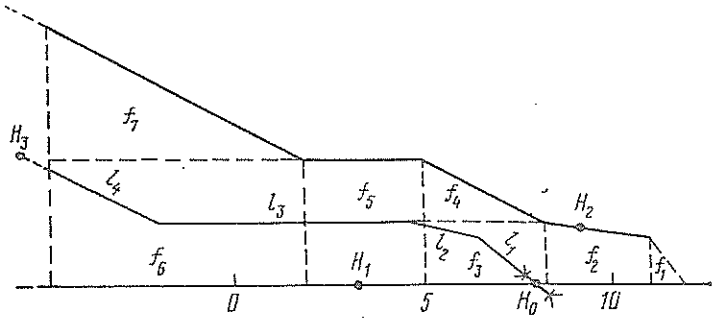


Рис. 3.17. Схема плана водосборного бассейна трубы

Таблица 3.14. Геометрические характеристики укреплений у прямоугольных труб

Отверстие $b \times h$, м	Расход на одно очко Q, м³/с	Длина укрепления: входной оголовок a, м	Длина укрепления: выходной оголовок L, м	Ширина укрепления: входной оголовок N_1, м	Ширина укрепления: выходной оголовок N_2, м	$h_1+0{,}25$	Длина укрепления откоса P, м	Глубина ковша размыва T, м	Высота каменной наброски в ковше размыва $T_к$, м
1,5×2,0	До 11,3	3,5	3,0—5,0	8,6	8,6—9,3	3,41	6,1	1,0—1,6	0,70—1,20
2×1,5×2,0	» 11,3	3,5	4,2—7,0	10,3	12,9—14,2	3,41	6,1	1,3—2,1	0,70—1,20
2,0×2,0	» 15,0	3,5	5,0	8,9	10,5—10,6	3,43	6	1,4—1,8	0,95—1,30
2×2,0×2,0	« 15,0	3,5	7,0	11,1	16,7	3,43	6,2	1,7—2,3	0,95—1,30
3,0×2,0	» 22,5	3,5	5,0—7,0	9,5	12,5—13,4	3,52	6,3	1,4—1,8	0,95—1,30
2×3,0×2,0	» 22,5	5,0	7,0—9,8	13,0	20,8—22,9	3,52	6,3	1,6—2,3	0,95—1,30
2,0×3,0	» 23,0	3,5	7,0	10,0	11,8	4,43	8,0	1,8—2,1	1,25—1,60
2×2,0×3,0	» 23,0	3,5	9,8	12,5	18,3	4,43	8,0	2,3—2,6	1,25—1,60
3,0×3,0	» 35,4	3,5	7,0	11,0	14,1	4,52	8,2	1,7—2,3	1,20—1,70
2×3,0×3,0	» 35,4	5,0	9,8	14'5	23,2	4,52	8,2	2,1—3,0	1,20—1,70
4,0×3,0	» 46,0	3,5	7,0—10,0	12,0	15,9—17,0	4,58	8,3	2,0—2,5	1,45—1,85
2×4,0×3,0	» 46,0	5,0	9,8—14,0	16,5	26,8—29,2	4,58	8,3	2,6—3,2	1,45—1,85
5,0×3,0	» 57,5	5,0	10,0	13,0	20,2	4,66	8,4	2,2—2,5	1,55—1,85
2×5,0×3,0	» 57,5	5,0	14,0	18,5	35,5	4,66	8,4	2,8—3,2	1,55—1,85
6,0×3,0	» 69,0	5,0	10,0	14,0	22,0	4,73	8,5	2,4—2,8	1,75—2,00
2×6,0×3,0	» 69,0	5,0	14,0	20,5	39,4	4,73	8,5	3,0—3,6	1,75—2,00

Примечания. 1. Материал укрепления — монолитный бетон, бетонные плиты, мощение.

2. Высота укрепления откосов насыпи у входных оголовков принимается равной $H+0{,}25$ м, но не менее $h_1+0{,}25$ м. У выходного оголовка насыпь укрепляют на высоту $h_2+0{,}25$ м.

1. Установление исходных данных

1. Ливневый район для Новгородской обл. (см. рис. 3.6) — 4.

2. Вероятность превышения паводка (см. табл. 3.1) для трубы на дороге III категории ВП = 2 %.

3. Интенсивность дождя часовой продолжительности $a_ч = 0{,}74$ мм/мин (см. табл. 3.2).

4. Площадь водосборного бассейна (см. рис. 3.1) определяется как сумма площадей геометрических фигур, на которые можно разбить площадь бассейна планиметром или по полетке с квадратами

$$F = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 = 0{,}008 + 0{,}048 + 0{,}056 + 0{,}026 + 0{,}23 + \\ + 0{,}11 + 0{,}13 = 0{,}61 \text{ км}^2.$$

Так, как площадь водосборного бассейна уходит за границу карты, увеличиваем подсчитанную площадь и принимаем $F = 1{,}4$ км².

5. Длина главного лога

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = 0{,}2 + 0{,}22 + 0{,}64 + 0{,}84 = 1{,}90 \text{ км}.$$

6. Средний уклон главного лога

$$i_л = \frac{H_з - H_0}{L_л} = \frac{195{,}50 - 164{,}70}{1900} = 0{,}016.$$

7. Уклон лога у сооружения определяем как уклон между точками, расположенными выше и ниже на 50 м осевой точки трубы (рис. 3.18).

$$i_с = \frac{H_в - H_н}{100} = \\ = \frac{165{,}00 - 164{,}35}{100} = 0{,}007.$$

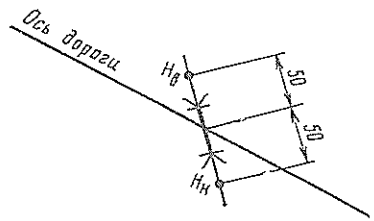


Рис. 3.18. Схема к определению уклона у трубы

8. Коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к интенсивности дождя расчетной продолжительности $K_t = 1{,}71$ (см. табл. 3.3).

9. Коэффициент потерь стока $\alpha = 0{,}55$ (см. табл. 3.4).

10. Коэффициент редукции $\varphi = 0{,}52$ (см. табл. 3.5).

11. Максимальный ливневый расход

$$Q_л = 16{,}7 a_ч K_t F \alpha \varphi = 1{,}67 \cdot 0{,}74 \times 1{,}71 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}52 = 8{,}46 \text{ м}^3/\text{с}.$$

12. Общий объем стока ливневых вод

$$W = 60\,000 \frac{a_ч F \alpha \varphi}{\sqrt{K_t}} = 60\,000 \frac{0{,}74 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}52}{\sqrt{1{,}71}} = 13\,571 \text{ м}^3.$$

13. Коэффициент дружности половодья и показатель степени n (см. табл. 3.6): $K_0 = 0{,}010$; $n = 0{,}17$.

14. Средний многолетний слой стока (см. рис. 3.7)

$$h = 140 \cdot 1{,}1 = 154 \text{ мм}.$$

15. Коэффициент вариации (см. рис. 3.8)

$$C_V = 0{,}35 \cdot 1{,}25 = 0{,}44.$$

16. Коэффициент асимметрии

$$C_S = 3C_V = 3 \cdot 0{,}44 = 1{,}32.$$

17. Модульный коэффициент (см. трис. 3.9) $K_р = 2{,}0$.

18. Расчетный слой суммарного стока

$$h_р = 154 \cdot 2 = 308 \text{ мм}.$$

19. Коэффициенты заозерности и заболоченности: $\delta_1 = 1$; $\delta_2 = 1$.

20. Максимальный снеговой расход

$$Q_{сн} = \frac{K_0 h_р F}{(F+1)^n} \delta_1 \cdot \delta_2 = \frac{0{,}01 \cdot 308 \cdot 1{,}4}{(1{,}4+1)^{0{,}17}} = 3{,}72 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Полученные результаты заносят в табл. 3.7.

2. Установление расчетного расхода и подбор отверстия трубы

Максимальный ливневый расход больше максимального снегового. Пропустить ливневый расход $Q_л = 8{,}46$ м³/с может круглая безнапорная труба $d = 2{,}0$ м с глубиной воды перед трубой $H = 2{,}14$ м, со скоростью на выходе из трубы $v = 4$ м/с (см. табл. 3.9).

Так как условия водосборного бассейна перед трубой позволяют создать пруд, дальнейший расчет ведем с учетом аккумуляции воды перед трубой с целью уменьшить ее отверстие.

1. Средние уклоны склонов бассейна (см. рис. 3.17 и 3.19): $H_1 = 177{,}50$; $H_2 = 168{,}00$. Отметки H_1 и H_2 взяты соответственно на левом и правом склоне, причем H_2 взята как самая низкая точка на хребте правого склона в сед-

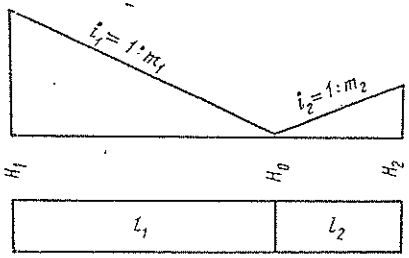


Рис. 3.19. Схема к определению уклонов склонов

ловине между горой Белой и рядом расположенным холмом из расчета, чтобы вода пруда не переливалась в смежный лог:

$$i_1 = \frac{H_1 - H_0}{l_1} = \frac{177{,}50 - 164{,}70}{500} = 0{,}026;$$

$$i_2 = \frac{H_2 - H_0}{l_2} = \frac{168{,}00 - 164{,}70}{230} = 0{,}014.$$

2. Глубина лога перед сооружением

$$h_л = H_2 - H_0 = 168{,}00 - 164{,}70 = 3{,}3 \text{ м}.$$

3. Коэффициент формы лога

$$a = \frac{m_1 + m_2}{6 i_л} = \frac{\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2}}{6 i_л} = \frac{\frac{1}{0{,}026} + \frac{1}{0{,}014}}{6 \cdot 0{,}016} = 1145.$$

4. Соотношения для 1-го отрезка прямой аккумуляции

$$0{,}62 Q_л = 0{,}62 \cdot 8{,}46 = 5{,}25 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\frac{W}{a} = \frac{13\,571}{1145} = 11{,}9.$$

5. Соотношения для 2-го отрезка прямой аккумуляции

$$Q_л = 8{,}46 \text{ м}^3/\text{с}; \quad \frac{0{,}7W}{a} = \frac{0{,}7 \cdot 13\,571}{1145} = 8{,}3.$$

6. На графике пропускных способностей круглых труб (см. рис. 3.11, *б*) строим 2-й и 1-й отрезки прямой аккумуляции (см. рис. 3.12), определяем расход с учетом аккумуляции и подпор воды перед трубами:

$d = 1{,}00$ м; $Q_а = 3{,}1$ м³/с; $H^3 = 5{,}6$ м; $H = 1{,}78$ м;

$d = 1{,}25$ м; $Q_а = 4{,}1$ м³/с; $H^3 = 4{,}6$ м; $H = 1{,}66$ м;

$d = 1{,}50$ м; $Q_а = 4{,}5$ м³/с; $H^3 = 4{,}2$ м; $H = 1{,}6$ м.

7. Устанавливаем режим работы труб:

$d = 1{,}00$ м; $\frac{H}{h_{вх}} = \frac{1{,}78}{1{,}2} = 1{,}48 > 1{,}4$ — напорный режим;

$d = 1{,}25$ м; $\frac{H}{h_{вх}} = \frac{1{,}66}{1{,}5} = 1{,}1 < 1{,}2$ — безнапорный режим;

$d = 1{,}50$ м; $\frac{H}{h_{вх}} = \frac{1{,}6}{1{,}8} = 0{,}89 < 1{,}2$ — безнапорный режим,

где $h_{вх}$ — высота входного звена трубы (принимаем по табл. 3.11).

Принимаем трубу $d = 1{,}25$ м с пропускной способностью $Q_р = Q_а = 4{,}1$ м³/с с глубиной воды перед трубой $H = 1{,}66$ м.

8. Устанавливаем скорость на выходе из трубы

$$v_{вых} = 0{,}85 \sqrt{q H} = 0{,}85 \sqrt{9{,}81 \cdot 1{,}66} = 3{,}43 \text{ м/с}.$$

3. *Определение минимальной высоты насыпи у трубы*

Минимальная толщина засыпки труб установлена $\Delta = 0{,}50$ м; но так как толщина дорожной одежды $h_{до} = 0{,}61$ м, принимаем $\Delta = 0{,}61$ м (см. рис. 3.14):

$$H_{min} = h_{тр} + \delta + \Delta = 1{,}25 + 0{,}12 + 0{,}61 = 1{,}98 \text{ м},$$

где δ — толщина звена трубы (принимаем по табл. 3.11).

4. *Определение длины трубы*

Длина трубы зависит от высоты насыпи, которую принимают равной рабочей отметке продольного профиля на трубе. В рассматриваемом примере $H_{нас} = 2{,}43$ м.

1. Длина трубы без оголовков

$$l = \left[\frac{0{,}5B + m\,(H_{нас} - h_{тр})}{1 + m i_{тр}} + \frac{0{,}5B + m\,(H_{нас} - h_{тр})}{1 - m i_{тр}} + n \right] \frac{1}{\sin \alpha} =$$

$$= \left[\frac{0{,}5 \cdot 12 + 1{,}5\,(2{,}43 - 1{,}25)}{1 + 1{,}5 \cdot 0{,}007} + \frac{0{,}5 \cdot 12 + 1{,}5\,(2{,}43 - 1{,}25)}{1 - 1{,}5 \cdot 0{,}007} + 0{,}35 \right] \frac{1}{\sin 43^\circ} = 23{,}36 \text{ м}.$$

2. Полная длина трубы с оголовками

$$L_{тр} = l + 2M = 23{,}36 + 2 \cdot 2{,}26 = 27{,}88 \text{ м},$$

где M — длина оголовков (см. табл. 3.11).

5. *Назначение укрепления у трубы*

1. Скорость потока при растекании за трубой

$$v = 1{,}5 v_{вых} = 1{,}5 \cdot 3{,}43 = 5{,}15 \text{ м/с}.$$

Принимаем укрепление бетонными плитами.

2. Типовые геометрические характеристики укрепления для трубы $d = 1{,}25$ м (см. табл. 3.13, рис. 3.15, 3.16): $a = 2{,}5$ м; $L = 2$ м; $N_1 = 7{,}4$ м; $N_2 = 7{,}9$ м; $T = 1{,}1$ м; $T_к = 0{,}75$ м; $h + 0{,}25 = 2{,}28$ м; $P = 4{,}1$ м.

Основные расчетные показатели запроектированной трубы заносят в Ведомость расчетных данных искусственных сооружений (см. табл. 3.17).

Пример 2. На пк 40 + 00 II варианта трасса пересекает неглубокий лог под углом 35°. Граница водосборного бассейна уходит за пределы карты (см. рис. 2.12), поэтому схема водосборного бассейна принята за пределами карты ориентировочно.

1. *Установление исходных данных*

Установление исходных данных выполняется так же, как и в предыдущем примере. Полученные результаты занесены в Таблицу исходных данных малых мостов и труб (табл. 3,7).

2. *Установление расчетного расхода и подбор отверстия трубы*

1. За расчетный расход принимаем максимальный ливневый расход, так как он больше максимального снегового, а создать пруд перед трубой нельзя из-за незначительной глубины лога перед трубой и расположенной справа от существующей автомобильной дороги

$$Q_р = Q_л = 3{,}98 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Глубина лога перед трубой

$$h_л = H_1 - H_0 = 175{,}00 - 173{,}75 = 1{,}25 \text{ м}.$$

3. По таблицам гидравлических характеристик труб (см. табл. 3.9, 3.10) подбираем отверстие трубы.

Из таблиц видно, что расчетный расход одноочковые трубы пропустить не могут, так как глубина воды перед ними будет больше, чем глубина лога. Для двухочковой трубы расход на каждое очко

$$\frac{Q_р}{2} = \frac{3,98}{2} = 1,99 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Такой расход с глубиной воды перед трубой меньшей глубины лога может пропустить безнапорная круглая двухочковая труба $d = 1,25$ м с глубиной воды перед трубой $H = 1,13$ м и скоростью на выходе $v = 2,7$ м/с.

Определение минимальной высоты насыпи у трубы, длины трубы и назначение укрепления у трубы выполняются так же, как и в предыдущем примере. Основные показатели запроектированной трубы занесены в Ведомость расчетных данных искусственных сооружений (см. табл. 3.17).

3.7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАЛЫХ МОСТОВ

Проектирование малых мостов включает в себя следующие вопросы: установление исходных данных для проектирования; вычисление расчетного расхода $Q_р$; определение глубины воды перед мостом; определение отверстия и длины моста; определение минимальной высоты моста; назначение укрепления у моста.

Первые два вопроса рассмотрены выше (см. п. 3.2—3.5).

Определение глубины воды перед мостом

Глубина воды перед мостом H зависит от скорости протекания потока под мостом. Скорости потока под малыми мостами, как правило, превышают допустимые скорости для грунтов русла. Поэтому для предотвращения размыва русла под мостом принимают желаемый тип укрепления и возможную в данных условиях глубину потока перед мостом. По табл. 6.7 устанавливают допускаемую скорость для принятого типа укрепления $v_{доп}$. Наибольшая скорость под мостом будет в сжатом сечении потока $v_с$. Ее принимают на 10 % больше $v_{доп}$:

$$v_с = 1,1 v_{доп}. \qquad (3.20)$$

Глубина воды перед мостом:

$$H = 1,46 \frac{v_с^2}{g} \text{ — для схемы свободного истечения;} \qquad (3.21)$$

$$H = h_б + \frac{v_с^2}{2g\varphi^2} \text{ — для схемы несвободного истечения,} \qquad (3.22)$$

где $h_б$ — бытовая глубина потока определяется методом подбора (см. п. 6.2); g — ускорение свободного падения (9,81 м/с^2); φ — коэффициент скорости зависит от формы устоев: $\varphi = 0,9$ — для устоев с конусами; $\varphi = 0,85$ — с откосными крыльями; $\varphi = 0,76$ — с заборными стенками.

Определение отверстия моста

Отверстие моста зависит от расчетного расхода $Q_р$ и схемы протекания воды под мостом.

В большинстве случаев отверстия малых мостов рассчитывают по схеме свободного истечения. Только при очень большой глубине потока за мостом, когда $h_б > 0,7H$, расчет ведут по схеме несвободного истечения (уменьшения уклона русла за мостом или стеснение потока за мостом).

Расчетное отверстие моста:

$$b = \frac{Q_р}{1,33\sqrt{H^3}} \text{ — для схемы свободного истечения;} \qquad (3.23)$$

$$b = \frac{Q_р}{h_б v_с} \text{ — для схемы несвободного истечения.} \qquad (3.24)$$

Отверстие моста измеряется для схемы свободного истечения по поверхности потока; для схемы несвободного истечения — по средней линии площади сечения потока под мостом.

Для перекрытия расчетного отверстия моста принимают типовое пролетное строение (табл. 3.15). Если один расчетный типовой пролет $l_р$ не перекрывает расчетное отверстие, принимают два или более пролета. Отверстие будет

$b_м = l_р$ — для однопролетного моста;

$b_м = l_{р1} + l_{р2}$ — для двухпролетного моста.

При этом длина моста поверху $L_м$ должна быть не более 25 м. Если $L_м > 25$ м, следует принять более прочный тип укрепления русла с большими значениями $v_{доп}$ и H, но меньшим значением расчетного отверстия b.

Таблица 3.15. Основные размеры типовых пролетных строений мостов

Серия типового проекта	Инвентарный номер	Наименование проекта	Длина пролетного строения $l_{пр}$, м	Расчетный пролет $l_р$, м	Строительная высота $h_{кон}$, м
3.503—12	384/43	Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона (пустотные плиты, армированные стержневой арматурой)	6,0	5,60	0,42
			9,0	8,60	0,57
			12,0	11,40	0,72
			15,0	14,40	0,72
			18,0	17,40	0,87
3.503—14	710/2	Сборные железобетонные пролетные строения для автодорожных мостов	12,0	11,40	1,02
			15,0	14,40	1,02
			18,0	17,40	1,17
			11,36	10,76	1,02
			14,06	13,46	1,02
			16,76	16,16	1,17
3.503—29		Сборные железобетонные плитные мосты	6,0	5,68	0,42
			9,0	8,68	0,57

Определение минимальной высоты моста

Минимальная высота моста складывается из строительной вы соты принятого типового пролетного строения $h_{кон}$ (см. табл. 3.15 глубины воды под мостом и минимального возвышения низа пр летного строения над уровнем подпертой воды под мостом z.

Глубина потока под мостом зависит от схемы протекания вод и принимается равной 0,88 H при свободной схеме протекания равной бытовой глубине $h_б$ при несвободной схеме.

Минимальная высота моста:

$$H_{м.min} = 0{,}88H + z + h_{кон} \text{ — для схемы свободного протекания;} \quad (3.2$$

$$H_{м.min} = h_б + z + h_{кон} \text{ — для схемы несвободного протекания.} \quad (3.2$$

Зазор от воды до низа пролетного строения принимают равны $z = 0{,}25$ м; при ледоходе или карчеходе $z = 1{,}0$ м.

Высота $H_м$ зависит от высоты проектной линии над отметко дна русла и устанавливается после проектирования продольно профиля.

Необходимо, чтобы $H_м$ было больше или равно $H_{м.min}$.

Определение длины моста

Длина моста зависит от числа пролетов, их длины и типа бер говых опор. При свайных опорах с заборными стенками (ри 3.20, *а*) длина моста

$$L_м = \Sigma\, l_{пр} + \Sigma\, a, \quad (3.$$

где $\Sigma\, l_{пр}$ — сумма длин пролетных строений, перекрывающих пролеты м ста; $\Sigma\, a$ — сумма зазоров между соседними пролетными строениями; прин мается равной 0,05 м.

При свайных опорах с конусами (рис. 3.20, *б*) для расчетно отверстия моста b расчетная длина моста зависит от его высоты H и определяется по формулам:

$$L_р = b + 2 \cdot 1{,}5\,(H_м - h_с) + \Sigma\, d + 2g \text{ — для схемы свободного истечения;} \quad (3.$$

$$L_р = b + 2 \cdot 1{,}5\left(H_м - \frac{h_б}{2}\right) + \sum d + 2g \text{ — для схемы несвободного истечен} \quad (3.$$

где $h_с$ — глубина воды под мостом при свободном протекании потока; $h_с = 0{,}5\,H$; $\Sigma\, d$ — сумма ширины промежуточных опор; при свайных опор ширину опоры принимают $d = 0{,}35$ м; при опорах-стенках $d = 0{,}40$ м; g расстояние между вершиной конуса и началом или концом моста; $g = 32{,}5$

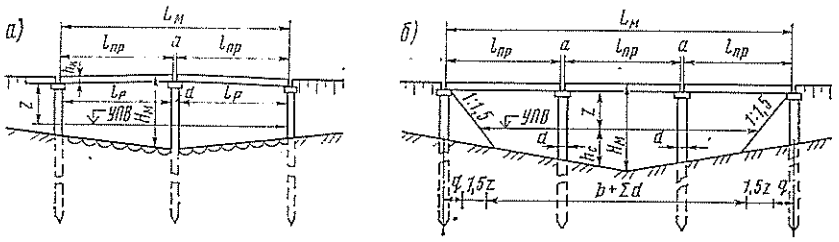


Рис. 3.20. Схемы мостов:
а — береговые опоры с заборными стенками; *б* — береговые опоры с конусами

По рассчитанной длине моста принимают число типовых пролетов и окончательно устанавливают длину моста $L_м = \Sigma\, l_{пр} + \Sigma a$

Укрепление у моста

При растекании потока за малым мостом его скорость возрастает примерно в 1,5 раза, что вызывает размыв русла. Поэтому за малыми мостами предусматривают укрепление русла, соответствующее скорости $v = 1{,}5v_с$. Длина укрепления за мостом от кромки пролетного строения должна быть не менее чем два радиуса нижнего основания конуса; укрепление должно заканчиваться предохранительным откосом с каменной наброской (рис. 3.21).

Глубина размыва $h_{разм}$ может быть определена по зависимости относительной глубины размыва $h_{разм}/H$ от относительной длины плоской части укрепления (табл. 3.16).

По значению A по таблице определяют значение $n = \frac{h_{разм}}{H}$, откуда $h_{разм} = nH$. Глубина предохранительного откоса $h = h_{разм} + 0{,}5$.

Укрепление конусов и откосов насыпи принимают на всю их высоту. Тип укрепления принимают на слое щебня железобетонными плитами, монолитным бетоном или мощением.

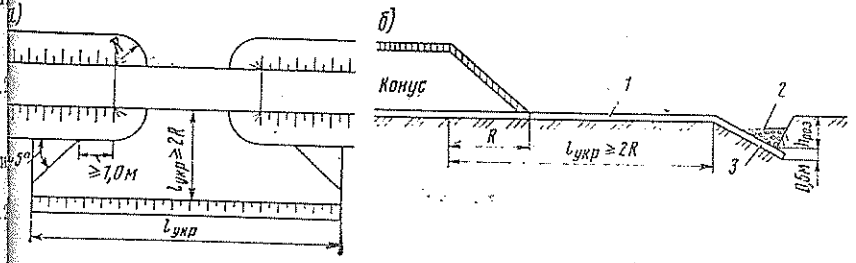


Рис. 3.21. Укрепление за мостом:
а — план; *б* — продольный разрез; *1* — укрепление; *2* — каменная наброска в ковше размыва; *3* — предохранительный откос

Таблица 3.16. Относительные глубины размыва

$A=\frac{l_{укр}\,tg\,\alpha}{b}$	$n=\frac{h_{раз\,м}}{H}$	$A=\frac{l_{укр}\,tg\,\alpha}{b}$	$n=\frac{h_{раз\,м}}{H}$	$A=\frac{l_{укр}\,tg\,\alpha}{b}$	$n=\frac{h_{раз\,м}}{H}$
0	1,55	4	0,60	8	0,45
1	1,00	5	0,55	9	0,40
2	0,80	6	0,60	10	0,40
3	0,65	7	0,50		

Пример проектирования малого моста

На пк 18 + 45 II варианта трасса пересекает р. Наумку, через которую необходимо запроектировать малый мост.

Верхняя граница водосборного бассейна уходит за пределы плана трассы (рис. 2.12), поэтому схема водосборного бассейна принята ориентировочно.

1. Установление исходных данных выполняется так же, как и для труб (см. пример проектирования водопропускных труб). Полученные результаты заносят в Таблицу исходных данных малых мостов и труб (см. табл. 3.7).

2. Расчетный расход

$$Q_л = 15{,}72\ м^3/с > Q_{сн} = 13{,}62\ м^3/с.$$

Создание пруда нецелесообразно, так как река пересекается в неширо ком месте между холмами, а расход воды незначительный

$$Q_р = Q_л = 15{,}72\ м^3/с.$$

3. Принимаем укрепление под мостом каменной наброской из среднег булыжника с галькой (см. табл. 6.7) $v_{доп} = 2{,}40$ м/с.

4. Скорость в сжатом сечении

$$v_c = 1{,}1 v_{доп} = 1{,}1 \cdot 2{,}40 = 2{,}64\ м/с.$$

5. Глубина воды перед мостом

$$H = 1{,}46\,\frac{v_c^2}{g} = 1{,}46\,\frac{2{,}64^2}{9{,}81} = 1{,}04\ м.$$

Глубина лога перед мостом значительно больше H.

6. Расчетное отверстие моста

$$b = \frac{Q_р}{1{,}33\sqrt[3]{H^3}} = \frac{15{,}72}{1{,}33\sqrt[3]{1{,}04^3}} = 10{,}57\ м.$$

Для перекрытия расчетного отверстия моста принимаем типовое пролетное строение из предварительно напряженных железобетонных пустотных плит, армированных стержневой арматурой, с расчетной длиной пролета $l_р = 11{,}40$ м, длиной пролетного строения $l_{пр} = 12{,}0$ м, строительной высотой $h_{кон} = 0{,}72$ м (см. табл. 3.15).

7. Минимальная высота моста

$$H_{м.\,min} = 0{,}88H + z + h_{кон} = 1{,}04 + 0{,}25 + 0{,}72 = 2{,}01\ м.$$

8. Длина моста

$$L_м = l_{пр} + 2a = 12{,}0 + 2 \cdot 0{,}05 = 12{,}10\ м.$$

Принимаем опоры моста свайные с заборной стенкой.

Таблица 3.17. Ведомость расчетных данных искусственных сооружений

№ п/п	Местоположение: км	пк +	ВП, %	Расчетный расход воды Q, м³/с	Минимальная глубина лога перед сооружением $h_л$, м	Глубина подпертой воды перед сооружением H, м	Гидравлический режим	Тип и отверстие сооружений	Длина моста или трубы с оголовками L, м	Примечание
7	8	00	2	4,10	3,30	1,66	Безнапорный	Одноочковая круглая, $d=1{,}25$ м	27,88	С учетом аккумуляции
2	18	45	1	15,72	12,40	1,04	Свободное истечение	Однопролетный мост $l_р=11{,}40$ м	12,10	
3	37	00	2	4,71	6,80	1,61	Безнапорный	Одноочковая круглая, $d=1{,}50$ м	22,43	
4	40	00	2	3,98	1,25	1,13	То же	Двухочковая круглая, $d=1{,}25$ м	26,70	

9. Укрепление у моста:

скорость потока за мостом

$$v = 1{,}5 v_c = 1{,}5 \cdot 2{,}64 = 3{,}96\ м/с;$$

высота насыпи у моста по продольному профилю $H_{нас} = 3{,}60$ м (см. рис. 4.13);

длина укрепления за мостом

$$l_{укр} = 2R = 2 \cdot 1{,}5 H_{нас} = 2 \cdot 1{,}5 \cdot 3{,}60 = 10{,}80\ м;$$

относительная длина укрепления

$$A = \frac{l_{укр}\,tg\,\alpha}{b} = \frac{10{,}80 \cdot 1}{11{,}4} = 0{,}95;$$

относительная глубина размыва

$$n = \frac{h_{разм}}{H} = 1.03 \text{ (см. табл. 3.16)};$$

глубина ковша размыва

$$h_{разм} = nH = 1{,}03 \cdot 1{,}04 = 1{,}07\ м.$$

Тип укрепления принимаем бетоном М-150 толщиной 12 см.

Ведомость расчетных данных искусственных сооружений приведена в табл. 3.17.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ

Проектирование продольного профиля автомобильной дороги включает в себя:

установление и подготовку исходных данных для проектирования;

нанесение на вычерченный продольный профиль линии поверхности земли по оси дороги и проектной линии в соответствии с основными требованиями к ней;

расчет элементов проектной линии с определением проектных и рабочих отметок, местоположения и отметок точек перехода насыпей в выемку и наоборот;

описание проектной линии;

оформление продольного профиля.

4.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Исходными данными для проектирования продольного профиля дороги являются: нормы и ограничения, предусмотренные СНиП 2.05.02-85; вычерченный продольный профиль поверхности земли по оси дороги; рекомендуемые рабочие отметки; контрольные точки проектной линии.

Нормы и ограничения продольного уклона, предельной длины подъема, радиусов выпуклых и вогнутых кривых приведены в табл. 1.1.

Продольный профиль поверхности земли

Продольный профиль вычерчивают по данным отметок земли по оси дороги, которые определяют по топографической карте, а при реальном проектировании — по данным нивелировочного журнала.

Чтобы построить линию поверхности земли продольного профиля, необходимо знать ее отметки на пикетах и плюсовых точках по трассе. Плюсовыми точками являются: точки изменения крутизны склонов, характеризующиеся резким изменением густоты горизонталей; крайние точки на возвышениях и понижениях рельефа местности, где изменяется продольный уклон, переломные точки на обрывах и в оврагах.

Так, на рассматриваемом примере трассы II варианта (см. рис. 2.12) плюсовыми точками будут: пк 0 + 55; пк 2 + 00; пк 8 + 00; пк 11 + 70; пк 12 + 50; пк 13 + 00; пк 18 + 45; пк 29 + 80; пк 31 + 25; пк 33 + 40; пк 37 + 00; пк 39 + 30; пк 40 + + 00.

На трассе, нанесенной на топографической карте с разбитым пикетажем, карандашом отмечают положение плюсовых точек и отметки горизонталей, пересекаемых трассой или расположенных рядом с ней. Отметки пикетов и плюсовых точек, расположенных между соседними горизонталями, определяют интерполяцией (рис. 4.1).

На карте измеряют кратчайшее расстояние l между горизонталями, проходящее через точку, и расстояние b от пикетной или плюсовой точки до горизонтали с меньшей отметкой. Превышение меж-

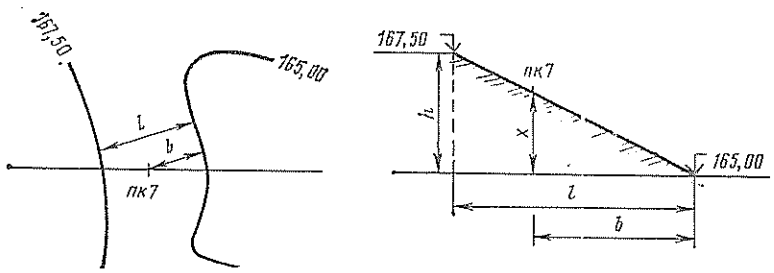


Рис. 4.1. Схема определения отметок методом интерполяции

ду горизонталями h известно, превышение искомой точки над горизонталью с меньшей отметкой x определяют из подобия треугольников:

$$\frac{x}{h} = \frac{b}{l}, \text{ откуда } x = \frac{bh}{l}. \qquad (4.1)$$

Если точка расположена внутри замкнутой горизонтали или за пределами горизонталей, отметку ее определяют экстраполяцией (рис. 4.2).

Из подобия треугольников видно, что превышение x между точкой и ближайшей горизонталью, как и при интерполяции,

$$x = \frac{bh}{l}.$$

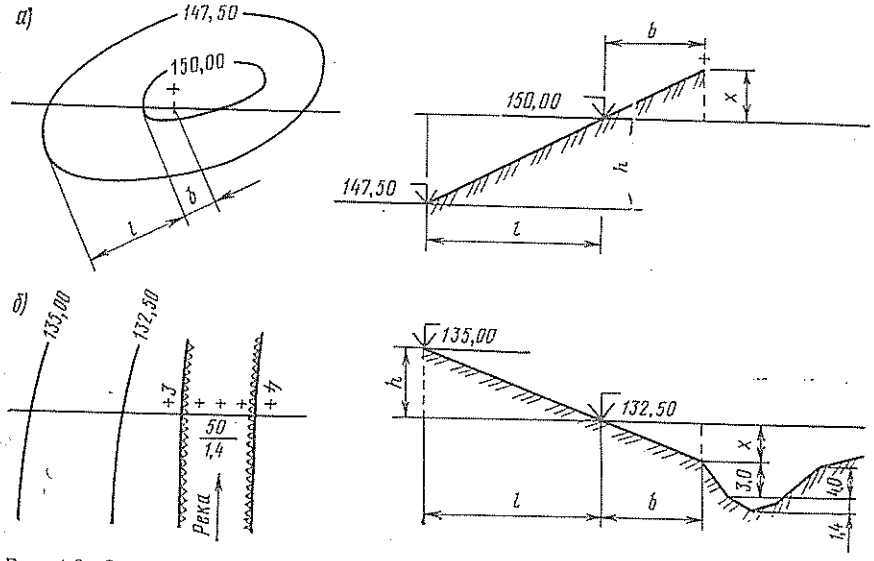


Рис. 4.2. Схемы определения отметок методом экстраполяции:
а — в замкнутой горизонтали; *б* — за пределами горизонталей

Отметки точек

$$H = H_{гор} \pm x. \qquad (4.2)$$

Отметки плюсовых точек подошвы обрыва и в середине реки (рис. 4.2, *б*) определяют относительно бровки обрыва, отметка которой определена экстраполяцией, вычитая высоты обрыва, а для середины реки — высоту обрыва и глубину реки.

Пример (см. рис. 4.1): $h = 2{,}5$ м; $b = 47$ м; $l = 80$ м; $x = \frac{47 \cdot 2{,}5}{80} = 1{,}47$; $H = 165{,}00 + 1{,}47 = 166{,}47$ м.

На миллиметровой бумаге вычерчивают сетку продольного профиля (рис. 4.3) так, чтобы вертикальная линия штампа сетки справа и верхняя горизонтальная линия совпадали с жирной линией сетки миллиметровки. Для вычерчивания продольного профиля линии земли необходимо выполнить следующие действия:

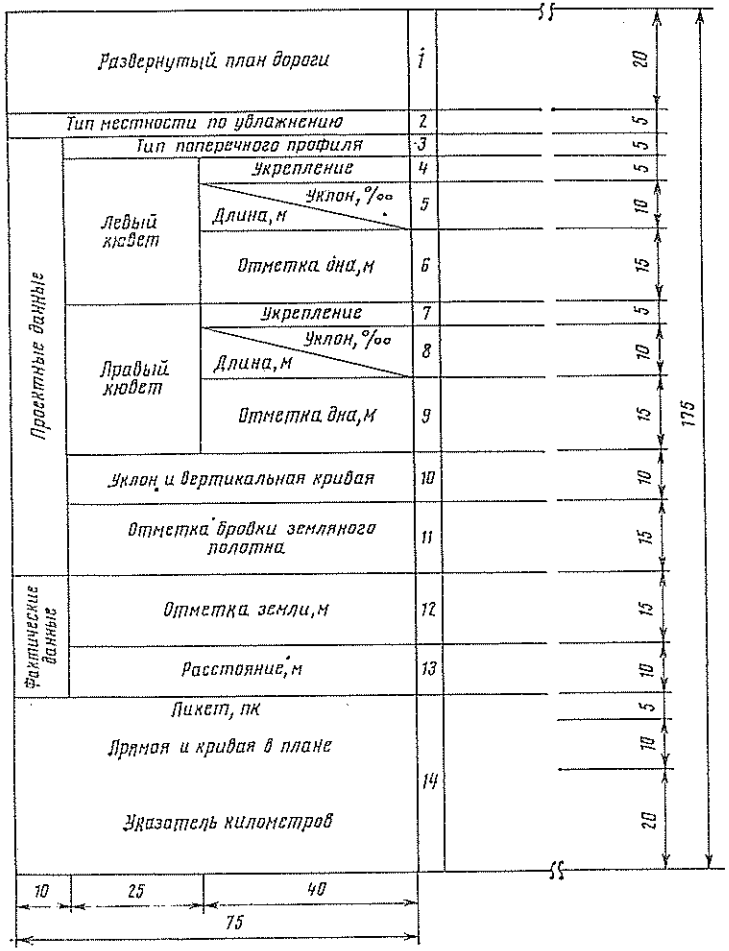


Рис. 4.3. Штамп сетки продольного профиля

разбивают на пикеты графу 13 (по 2 см) и снизу, в графе 14, подписывают номера пикетов (см. рис. 4.13); в пикетах, где имеются плюсовые точки, их положение показывают вертикальными линиями и записывают расстояние между точками;

в графе 14 показывают километраж, прямые и кривые плана трассы; на прямых участках сверху пишут их длину, снизу — румб; кривые от *НЗ* до *КЗ* показывают скобками вверх при повороте вправо, вниз — при повороте влево; в точках *НЗ* и *КЗ* указывают расстояния до предыдущих пикетов; на свободном месте записывают номер и величину угла, значение радиуса, вираж и уширение;

заполняют графу 12; отметки земли записывают до сотых, высота цифр — 3 мм;

определяют условный горизонт *УГ* для вычерчивания профиля; линия земли должна располагаться на расстоянии 8—13 см от верхней линии сетки, что составляет с учетом вертикального масштаба 1 : 500— 40—65 м, т. е. превышение между самой высокой отметкой земли H_{max} и самой низкой H_{min} должно быть примерно 25 м, если $H_{max} - H_{min} > 25$ м принимают два или более условных горизонта, разбивая профиль на участки с $(H_{max} - H_{min}) = 25$ м:

$$УГ = H_{max} - 65. \qquad (4.3)$$

При значительной величине $H_{max} - H_{min}$ принимают высоту формата чертежа профиля 42 см и $УГ = H_{max} - 90$ (или 100).

Величину подсчитанного по формуле (4.3) условного горизонта округляют до ближайшего целого числа, кратного 5, принятую величину *УГ* заносят на верхнюю линию сетки продольного профиля;

строят линию земли по оси дороги по данным графы 12 с учетом *УГ*, откладывая против каждого пикета и плюсовой точки по вертикали от верха рамки сетки точки, ординаты которых

$$h = \frac{H_{зем} - УГ}{5}, \qquad (4.4)$$

или строят шкалу отметок над рамкой сетки и по ней находят отметки точек.

Заполняют графу 1 в соответствии с планом трассы, стрелками показывают направление стока поверхностных вод (перпендикулярно к горизонталям).

Рекомендуемая рабочая отметка

Рекомендуемая рабочая отметка насыпи, которой следует придерживаться при проектировании продольного профиля дороги, устанавливается в соответствии с ограничениями СНиП 2.05.02-85

Таблица 4.1. **Наименьшее возвышение поверхности покрытия**

Грунт	Возвышение поверхности покрытия, м, для дорог, расположенных в пределах дорожно-климатических зон, не менее				
	I	II	III	IV	V
Песок мелкий, супесь легкая крупная	1,4	1,1	0,9	0,75	0,6
Супесь легкая	1,2	0,9	0,7	0,66	0,4
Песок пылеватый	1,6	1,5	1,2	1,1	0,9
Супесь пылеватая	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6
Суглинок легкий, суглинок тяжелый, глины	2,5	2,2	1,9	1,5	1,2
	1,7	1,6	1,4	1,1	0,9
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	2,7	2,4	2,1	1,8	1,3
	1,9	1,8	1,5	1,3	0,9

Примечание. В числителе — возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод или длительно (более 30 сут) стоящих поверхностных вод, в знаменателе — то же, над поверхностью земли на участках с необеспеченным поверхностным стоком или над уровнем кратковременно (менее 30 сут) стоящих поверхностных вод.

по наименьшему возвышению поверхности покрытия над уровнем грунтовых и поверхностных вод на мокрых и сырых участках трассы (табл. 4.1) и наименьшему возвышению бровки насыпи над расчетным уровнем снегового покрова.

Установлены три типа местности по характеру увлажнения:

1-й тип — сухие места — поверхностный сток обеспечен (уклоны более 10‰), грунтовые воды залегают глубоко (ниже глубины промерзания на 1,5—2,0 м);

2-й тип — сырые места — поверхностный сток не обеспечен из-за малых уклонов, грунтовые воды залегают глубоко;

3-й тип — мокрые места — поверхностный сток не обеспечен и после дождей или снеготаяния вода стоит более 30 сут, или постоянно мокрые участки; грунтовые воды в осенне-зимний период залегают высоко.

Величина рекомендуемой рабочей отметки зависит от типа местности по характеру увлажнения, дорожно-климатической зоны, вида грунта земляного полотна, расчетного уровня снегового покрова (рис. 4.4):

$$h_р = h_{д.о} - Ci_0; \quad (4.5)$$

$$h_р = h_{зем} - Ci_0, \quad (4.6)$$

где $h_{зем}$ — возвышение поверхности покрытия над поверхностью земли (по табл. 4.1).

$$h_р = H_в + h_в - Ci_0. \quad (4.7)$$

где $H_в$ — глубина длительно стоящих вод; устанавливается по карте или по заданию; $h_в$ — возвышение поверхности покрытия над *УВ* (по табл. 4.1)

$$h_р = h_{гр.в} - H_{гр.в} - Ci_0, \quad (4.8)$$

$h_{гр.в}$ — возвышение поверхности покрытия над УГВ (по табл. 4.1); $H_{гр.в}$ — глубина залегания грунтовых вод; устанавливается при изысканиях или по заданию.

$$h_р = H_{сн} + h_{бр}, \quad (4.9)$$

$H_{сн}$ — толщина снегового покрова по СНиП II-А.6-72; $h_{бр}$ — минимальное возвышение бровки насыпи над уровнем снегового покрова; принимается для дорог I категории — 1,2 м; II — категории — 0,7 м; III категории — 0,6 м; IV категории — 0,5 м; для дорог V категории — 0,4 м.

Участки трассы по типам местности устанавливаются по карте. Найденные рекомендуемые рабочие отметки на 1—3-м типах местности сопоставляют с рекомендуемой рабочей отметкой по условиям снегозаносимости и для проектирования принимается наибольшая.

В рассматриваемом примере на II варианте плана трассы находим участки типов местности по характеру увлажнения:

1-й тип пк 0 + 00 — пк 6 + 70; пк 9 + 80 — пк 17 + 60; пк 18 + 90 — пк 36 + 20; пк 37 + 10 — пк 41 + 70;

$h_р = h_{до} - Ci_0 = 0,64 - 2,5 \cdot 0,04 = 0,54$ м;

2-й тип пк 6 + 70 — пк 9 + 80; пк 17 + 60 — пк 18 + 90;

$h_р = H_в + h_в - Ci_0 = 0,20 + 2,2 - 0,1 = 2,30$ м.

Рабочая отметка по условиям незаносимости дороги снегом

$$h_р = H_{сн} + h_{бр} = 0,30 + 0,60 = 0,90 \text{ м}.$$

Сравниваем рекомендуемые рабочие отметки и принимаем:
для участков 1-го типа $h_р = 0,90$ м;
для участков 3-го типа $h_р = 2,30$ м.

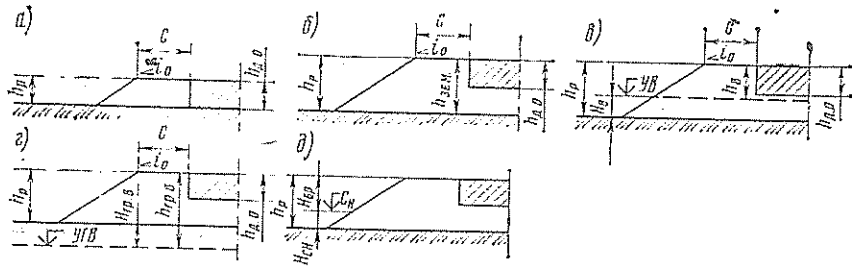


Рис. 4.4. Схемы для определения рекомендуемой рабочей отметки на участках:

а — 1-го типа местности; *б* — 2-го типа местности; *в* и *г* — 3-го типа местности (*в* — на участках с длительно стоящими поверхностными водами; *г* — на участках с высоким стоянием грунтовых вод); *д* — по условиям снегозаносимости; *C* — ширина обочины; i_0 — уклон обочины; $h_{д.о}$ — толщина дорожной одежды

Контрольные точки

К контрольным точкам проектной линии относятся: начальная и конечная точки трассы; минимальные отметки проезжей части больших мостов и путепроводов; минимальные отметки бровок земляного полотна у малых мостов и труб; отметки головки рельса или оси проезжей части на пересечениях в одном уровне с существующими железными и автомобильными дорогами.

Отметки фиксированных контрольных точек начала и конца трассы, а также на пересечениях, при реальном проектировании устанавливают по нивелировочному журналу. При учебном проектировании отметки начала и конца трассы следует по возможности принимать в соответствии с рекомендуемой рабочей отметкой, а отметки на пересечениях — ориентировочно по карте с учетом рекомендуемой рабочей отметки на участке пересечения.

Минимальные отметки у искусственных сооружений определяются при их проектировании.

4.2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Для обеспечения удобства и безопасности движения по дороге при проектировании продольного профиля необходимо соблюдать следующие основные требования к проектной линии:

во всех случаях, когда по условиям местности возможно и экономически целесообразно, нужно принимать продольные уклоны не более $30^0/_{00}$, расстояние видимости поверхности дороги не менее 450 м, радиусы выпуклых кривых не менее 70 000 м, вогнутых — не менее 8000, длину выпуклых кривых не менее 300 м, вогнутых — не менее 100 м; допустимые нормы проектирования для трудных участков приведены в табл. 1.1;

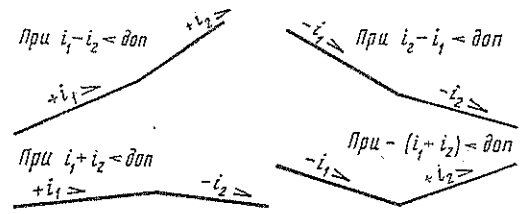
если линия поверхности земли имеет однообразный уклон менее допустимого, проектная линия наносится по обертывающей; если уклон поверхности земли больше допустимого, проектная линия наносится по секущей, причем необходимо стремиться, чтобы объем насыпей был равен объему выемок, для чего площадь выемки должна быть на 25—30 % меньше площади насыпи;

при алгебраической разности уклонов смежных прямых менее $5^0/_{00}$ для дорог I—II категорий, $10^0/_{00}$ для дорог III категории, $20^0/_{00}$ для дорог IV—V категорий в переломы проектной линии кривые можно не вписывать (рис. 4.5);

не допускается в выемках устройство вогнутых кривых и горизонтальных участков; уклон проектной линии в выемках должен быть не менее $5^0/_{00}$.

при пересечении железных дорог в одном уровне на уровне головки рельса необходимо предусмотреть горизонтальный участок продольного профиля на протяжении не менее 10 м от крайнего

Рис. 4.5. Схемы стыкования прямых участков проектной линии при алгебраической разности уклонов в пределах допустимых значений



рельса, если проектная линия проходит в насыпи, и не менее 20 м — если в выемке; подходы к пересечению на расстоянии не менее 50 м должны иметь продольный уклон не более $30^0/_{00}$; если железная дорога пересекается на закруглении, уклон проектной линии должен быть равен уклону, соответствующему превышению наружного рельса над внутренним;

при пересечении автомобильных дорог в одном уровне продольный уклон на пересечении должен быть не более $40^0/_{00}$; целесообразно на пересечении предусматривать выгнутую кривую;

на мостах, а также на путепроводах, проектная линия может быть в виде прямых участков с уклоном не более допустимого, или в виде кривых с радиусами не менее допустимых;

плавность продольного профиля обеспечивается сочетанием вогнутых и выпуклых кривых больших радиусов без прямых вставок или клотоидных кривых; следует избегать коротких вогнутых участков и частых переломов проектной линии, создающих впечатление провалов или просадок; следует избегать резких переходов проектной линии от одних уклонов к другим, а также применять короткие прямые вставки между смежными кривыми большого протяжения.

4.3. МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ И РАСЧЕТА ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Определение положения проектной линии продольного профиля является одним из наиболее ответственных и сложных этапов проектирования дороги. Для участков дорог, проходящих по равнинному или слабо холмистому рельефу местности, проектная линия обычно параллельна проверхности земли. Такую проектную линию называют обертывающей. Для участков дорог, проходящих по холмистому и сильно пересеченному рельефу, проектная линия сечет холмы выемками, чередующимися с насыпями в пониженных местах. Такую проектную линию называют секущей.

Существуют два метода нанесения проектной линии продольного профиля по шаблонам (графоаналитический метод) и метод тангенсов.

В настоящее время в проектных организациях Гипродорнии и Союздорпроекта применяют автоматизированное проектирование продольного профиля на ЭВМ.

В проектных организациях автодоров при проектировании продольного профиля применяют графоаналитический метод. Метод тангенсов применяется очень редко, только там, где нет шаблонов и таблиц к ним.

Нанесение проектной линии по шаблонам

В проектных организациях имеются прозрачные шаблоны вертикальных кривых различных радиусов, вырезанных в масштабах продольного профиля, и шаблоны для прямых участков — треугольник уклонов (рис. 4.6).

На шаблонах кривых имеются: вертикальная и горизонтальная оси шаблона; штрихи и цифры по криволинейной стороне, показывающие уклоны касательных в данных точках в промиллях; значение радиуса кривой шаблона. В вершине вертикальной кривой *ВК* уклон равен нулю. Различают восходящую и нисходящую ветви шаблона (рис. 4.7).

Каждая точка шаблона имеет свой уклон касательной к ней линии и координаты l и h относительно *ВК*, которую принимают за начало координат.

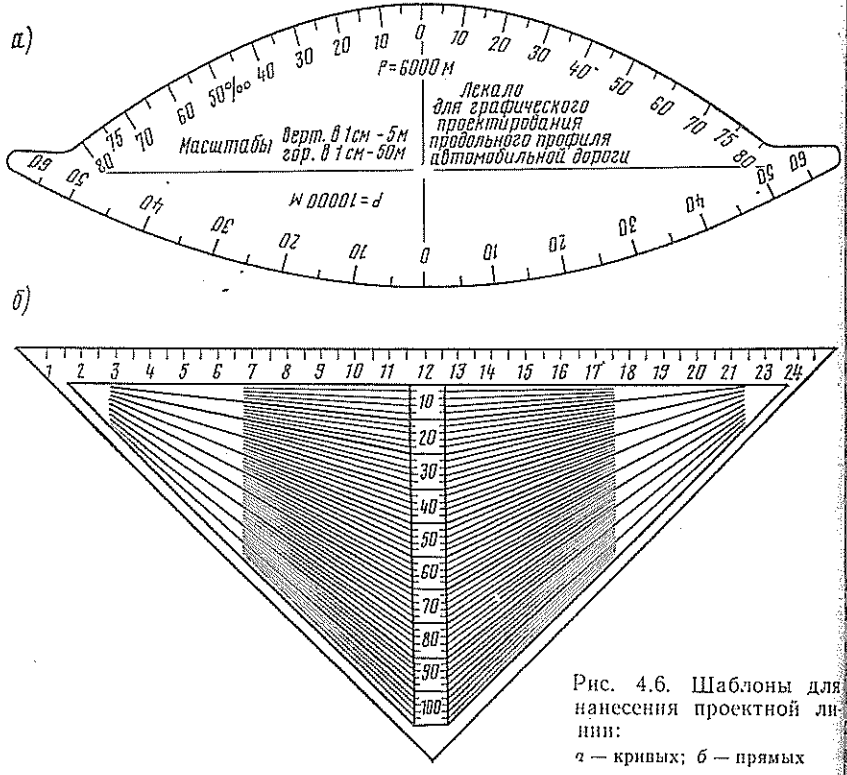


Рис. 4.6. Шаблоны для нанесения проектной линии:
а — кривых; *б* — прямых

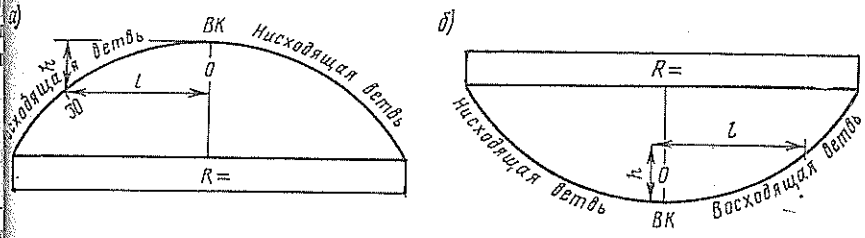


Рис. 4.7. Координаты точек l и h на шаблонах:
а — на выпуклой кривой; *б* — на вогнутой кривой

К шаблонам составлена сводная таблица координат для радиусов разных значений (прил. 1).

Треугольник уклонов — прозрачный прямоугольный треугольник, на котором с десятикратным искажением нанесены направления уклонов в пределах от 0 до 100‰, причем направление гипотенузы имеет нулевой уклон.

При пользовании шаблонами необходимо соблюдать следующие правила:

при подборе положения проектной линии шаблоны вертикальных кривых можно перемещать относительно линии земли вверх, вниз, вправо, влево; при этом оси шаблона должны быть параллельны линиям миллиметровой бумаги;

при последовательном нанесении проектной линии уклон шаблона в точке сопряжения (начало вертикальной кривой НВК) должен быть равным уклону, уже запроектированному в этой точке проектной линии, причем шаблон прикладывается восходящей ветвью, если запроектированная проектная линия идет на подъем, и нисходящий, если на спуск (рис. 4.8).

При нанесении проектной линии по шаблонам необходимо соблюдать аккуратность в выполнении графической работы: карандаш должен быть хорошо заточенным, острие карандаша должно прилегать к кромке шаблона, точки сопряжения должны быть точно совмещены (в точках сопряжений кривых, а также в точках пересечения линией шаблона линии земли и ВК), точно против точек делают вертикальный штрих и записывают значение уклона, а также значение радиуса шаблона.

Проектирование по шаблонам ведут в последовательности:

1) на точно вычерченный профиль линии земли по оси дороги наносят карандашом контрольные точки;

2) намечают при помощи прозрачной линейки или от руки (чуть заметно карандашом) проектную линию, придерживаясь рекомендуемой рабочей отметки и ориентируясь на до-

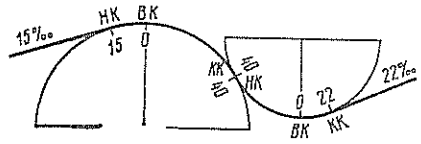


Рис. 4.8. Схема последовательного нанесения проектной линии

пускаемые значения уклонов прямых и радиусов кривых; проектная линия должна пройти через фиксированные контрольные точки на пересечениях в одном уровне, точки начала и конца трассы и другие, и не ниже контрольных точек, соответствующих минимальным отметкам у искусственных сооружений, на мокрых и сырых участках и других;

3) пользуясь треугольником уклонов, устанавливают уклон прямых участков, который не должен превышать величины допустимого уклона; уклон прямых можно определить и по формуле

$$i = h/l, \qquad (4.10$$

где h и l — соответственно превышение и расстояние по горизонтали между точками начала и конца прямой, установленные по вертикальному и горизонтальному масштабам;

4) подбирая шаблоны вертикальных кривых допустимых радиусов, с соблюдением правил пользования ими, вписывают кривые; при этом вписание может быть и отрезками восходящей или нисходящей ветви шаблона (рис. 4.9);

5) рассчитывают элементы проектной линии с установлением проектных отметок пикетных и плюсовых точек, а также местополо

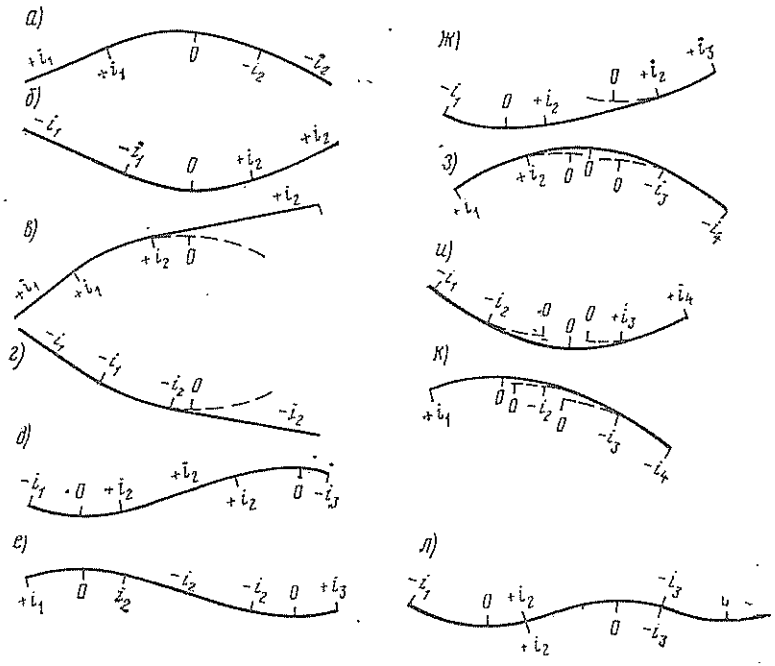


Рис. 4.9. Схемы сопряжения элементов проектной линии:

а, б — сопряжение двух прямых выпуклой или вогнутой кривой; *в, г* — двух прямых восходящей или нисходящей ветвью; *д, е* — двух кривых прямой; *ж* — кривой, прямой и восходящей ветви; *з, и, к* — кривой с восходящими и нисходящими ветвями; *л* — трех кривых

жения и проектных отметок точек сопряжений и точек перехода насыпи в выемку или наоборот;

6) заполняют расчетными данными графы 10 и 11 сетки профиля и определяют рабочие отметки всех пикетов и плюсовых точек:

$$h_р = H_{пр} - H_{зем} \text{ — для насыпей;} \qquad (4.11)$$

$$h_р = H_{зем} - H_{пр} \text{ — для выемок,} \qquad (4.12)$$

где $H_{пр}$ и $H_{зем}$ — проектная отметка и отметка точки поверхности земли.

Пример нанесения проектной линии показан на рис. 4.13.

Расчет прямых участков проектной линии

При последовательном проектировании проектной линии отметка точки начала прямой известна из расчета предыдущего элемента проектной линии, а уклон линии установлен при ее нанесении.

От точки начала прямой определяют превышения между соседними пикетными и плюсовыми точками на прямой

$$h = il, \qquad (4.13)$$

где i — уклон прямой, ‰; l — расстояние между точками, м.

Проектные отметки точек на прямой определяют по формуле

$$H_п = H_{п-1} \pm h_п = H_{п-1} \pm il. \qquad (4.14)$$

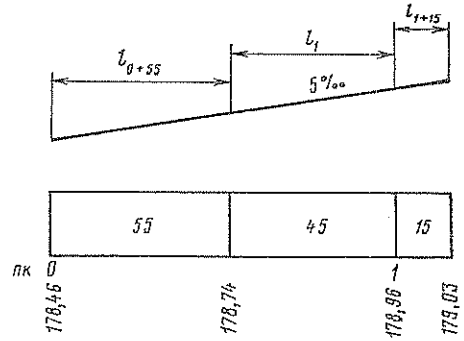


Рис. 4.10. Схема к примеру расчета прямого участка проектной линии

Пример. Определить проектные отметки на прямом участке подъема проектной линии, имеющей уклон $i = 5‰$ и отметку в начальной точке $H_0 = 178{,}46$ м (рис. 4.10).

Последовательность расчета:

1) устанавливают расстояния между точками на прямой:

$$l_{0+55} = 55 \text{ м}; \; l_{1+15} = 15 \text{ м}; \; l_1 = 45 \text{ м};$$

2) определяют превышения между точками:

$$h_{0+55} = il_{0+55} = 0{,}005 \cdot 55 = 0{,}28 \text{ м};$$

$$h_1 = il_1 = 0{,}005 \cdot 45 = 0{,}22 \text{ м};$$

$$h_{1+15} = il_{1+15} = 0{,}005 \cdot 15 = 0{,}07 \text{ м};$$

3) определяют проектные отметки точек; так как прямая находится на подъеме проектной линии, превышения между точками имеют знак плюс:

$$H_{0+55} = H_0 + h_{0+55} = 178{,}46 + 0{,}28 = 178{,}74 \text{ м};$$

$$H_{1+00} = H_{0+55} + h_1 = 178{,}74 + 0{,}22 = 178{,}96 \text{ м};$$

$$H_{1+15} = H_1 + h_{1+15} = 178{,}96 + 0{,}07 = 179{,}03 \text{ м}.$$

Полученные проектные отметки записывают в графу 11 сетки профиля и определяют расчетное значение рабочих отметок, которые сравнивают с графическим значением рабочих отметок (расстояние между проектной линией и линией земли с учетом вертикального масштаба). Если графическая часть и расчет сделаны правильно, очевидной разницы не будет.

Определение местоположения точек перехода насыпи в выемку

Точками перехода насыпи в выемку, или наоборот, являются точки пересечения проектной линии с линией земли.

На прямых участках местоположение точек пересечения проектной линии и линии земли определяют тогда, когда известны рабочие отметки ближайших слева и справа пикетных или плюсовых точек (рис. 4.11).

Расстояние от точки пересечения линий до ближайшей слева точки

$$x_{лев} = \frac{h_{лев}}{h_{лев} + h_{пр}} l, \qquad (4.15)$$

где $h_{лев}$ и $h_{пр}$ — рабочие отметки ближайших слева и справа точек; l — расстояние между точками.

Если ближайшими точками являются пикеты, то $l = 100$ м.

Для определения пикетажного положения точки пересечения линий нужно прибавить значение $x_{лев}$ к значению пикетажного положения ближайшей точки слева.

Определение местоположения точки перехода насыпи в выемку на кривой рассмотрено в расчете кривых проектной линии.

Пример. Определить местоположение точки перехода насыпи в выемку, расположенную между плюсовой точкой на пк 8 + 20 и пикетом пк 9 + 00 прямого участка проектной линии.

Рабочие отметки точек:

$$h_{8+20} = 1{,}32 \text{ м}; \; h_9 = 0{,}88 \text{ м}.$$

Расстояние от точки перехода до пк 8 + 20 определим по формуле (4.15)

$$x_{лев} = \frac{1{,}32}{1{,}32 + 0{,}88} 80 = 48 \text{ м}.$$

Точка перехода насыпи в выемку находится на пк 8 + 68.

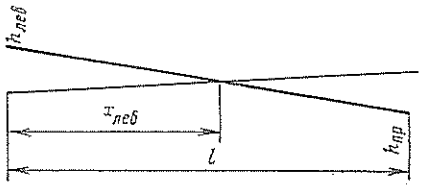


Рис. 4.11. Схема определения местоположения точки перехода насыпи в выемку

Расчет кривых проектной линии

На чертеже продольного профиля при нанесении проектной линии для каждой кривой должны быть карандашом помечены: штрихи с уклонами в точках начала и конца вертикальной кривой НК и КК; штрихи с уклоном в точках пересечения проектной линии с линией земли; штрих положения вершины вертикальной кривой ВК, радиус кривой. При последовательном расчете проектной линии пикетажное положение и отметка точки НК известны из расчета предыдущего элемента проектной линии.

Последовательность расчета рассмотрим на примере.

Пример. Определить проектные отметки пикетов и плюсовых точек на выпуклой вертикальной кривой проектной линии по данным рис. 4.12, если известно, что НК находится на пк 1 + 15 и имеет проектную отметку $H_{нк} = 179{,}03$ м.

Последовательность расчета:

1) по значениям радиуса и уклонов определяют координаты точек НК, КК и точек перехода выемки в насыпь и наоборот (по прил. 1):

$$l_{нк} = 50 \text{ м}; \; h_{нк} = 0{,}13 \text{ м}; \; l_{кк} = 350 \text{ м}; \; h_{кк} = 6{,}12 \text{ м};$$

2) определяют пикетажное положение и отметку ВК:

НК пк 1 + 15
$\pm l_{нк} = 0 + 50$
ВК пк 1 + 65
$H_{вк} = H_{нк} \pm h_{нк}$;
$H_{вк} = 179{,}03 + 0{,}13 = 179{,}16$

знак зависит от расположения ВК относительно НК: справа (+), слева (—);
знак (+) для выпуклых, знак (—) для вогнутых вертикальных кривых.

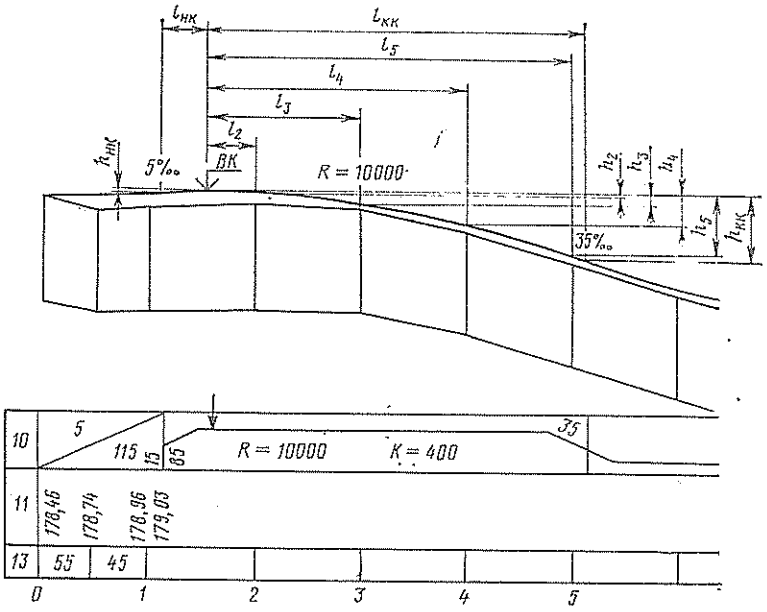


Рис. 4.12. Схема к примеру расчета вертикальной кривой

Для контроля сравнивают расчетные значения положения и отметки ВК с графическим положением;

3) определяют пикетажное положение и отметки точек КК и точек пересечения проектной линии с линией земли (точек перехода выемок в насыпь)

$$\frac{\begin{matrix}\text{ВК пк } 1+65\\ \pm\ l_{\text{КК}}=3+50\end{matrix}}{\text{КК пк } 5+15}$$

$$H_{\text{КК}}=H_{\text{ВК}}\pm h_{\text{КК}};\ H_{\text{КК}}=179,16-6,12=173,04.$$

Знак превышения зависит от того, выпуклая (—) или вогнутая (+) кривая;

4) определяют расстояния от ВК промежуточных пикетных и плюсовых точек, расположенных между НК и КК:

$$\frac{\begin{matrix}\text{пк } 2+00\\ -\ \text{ВК пк } 1+65\end{matrix}}{l_2=35\text{ м}};\quad \frac{\begin{matrix}\text{пк } 3+00\\ -\ \text{ВК пк } 1+65\end{matrix}}{l_3=135\text{ м}};\quad \frac{\begin{matrix}\text{пк } 4+00\\ -\ \text{ВК пк } 1+65\end{matrix}}{l_4=235\text{ м}};$$

$$\frac{\begin{matrix}\text{пк } 5+00\\ -\ \text{ВК пк } 1+65\end{matrix}}{l_5=335\text{ м}};$$

5) по значениям расстояний от ВК и радиуса определяют для каждой промежуточной точки превышение относительно ВК (по прил. 1):

$$h_2=0,06\text{ м};\quad h_3=0,91\text{ м};$$
$$h_4=2,76\text{ м};\quad h_5=5,61\text{ м};$$

6) определяют отметки промежуточных точек:

$$H=H_{\text{ВК}}\pm h.$$

В этой формуле знак (+) принимают, если кривая вогнутая и (—), если выпуклая;

$$H_2=179,16-0,06=179,10\text{ м};\ H_3=179,16-0,91=178,25\text{ м};\ H_4=$$
$$=179,16-2,76=176,40\text{ м};\ H_5=179,16-5,61=173,55\text{ м};$$

7) определяют длину кривой:

$$\frac{\begin{matrix}\text{КК пк } 5+15\\ -\ \text{НК пк } 1+15\end{matrix}}{K=400\text{ м}}.$$

По окончании расчета каждой кривой заполняют графы сетки 10 и 11 и определяют рабочие отметки всех пикетов и плюсовых точек. Для контроля сравнивают расчетные и графические значения рабочих отметок (расстояние между проектной линией и линией земли с учетом вертикального масштаба). При правильном выполнении графической части и расчета очевидной разницы не будет.

Расчет прямых и кривых последовательно от начала проектной линии удобно вести в табличной форме (табл. 4.2).

При наличии опыта расчета элементов проектной линии его можно вести и непоследовательно, производя основные расчеты на вычислительной машинке и записывая сразу расчетные данные в соответствующие графы продольного профиля.

Таблица 4.2. Таблица расчета элементов проектной линии

№ п/п	Вертикальные кривые								Прямые				
	$R_{\text{вып}}$, $R_{\text{вог}}$, м	Точки на кривой	Пикетное положение точек пк...+...	Расстояние от ВК $\pm l$, м	Превышение ВК $\pm h$, м	Проектные отметки точек, м	Уклоны в точках НК, КК, перехода насыпи в выемку, ‰	Точки на прямой пк...+...	Расстояние между Δy точками l, м	Уклоны прямой, ‰	Превышения h, м	Проектные отметки точек, м	Длина прямых, м
1								0+00				178,46	
									55		0,28		
								0+55				178,74	
									45	0,005			115
								1+00			0,22	178,96	
									15				
								1+15			0,07	179,03	
2	$R_{\text{вып}}=10\,000$	ВК	1+65	—	—	179,16							
		НК	1+15	50	0,13	179,03	5						
		1	2+00	35	0,06	179,10							
		2	3+00	135	0,91	178,25							
		3	4+00	235	2,76	176,40							
		4	5+00	335	5,61	173,55							
		КК	5+15	350	6,12	173,04	35						
3	$R_{\text{вог}}=10\,000$	ВК	8+65	—	—	166,92							
		НК	5+15	350	6,12	173,04	35						
		1	6+00	265	3,51	170,43							
		2	7+00	165	1,36	168,28							
		3	8+00	65	0,21	167,13							
		КК	8+25	40	0,08	167,00	4						

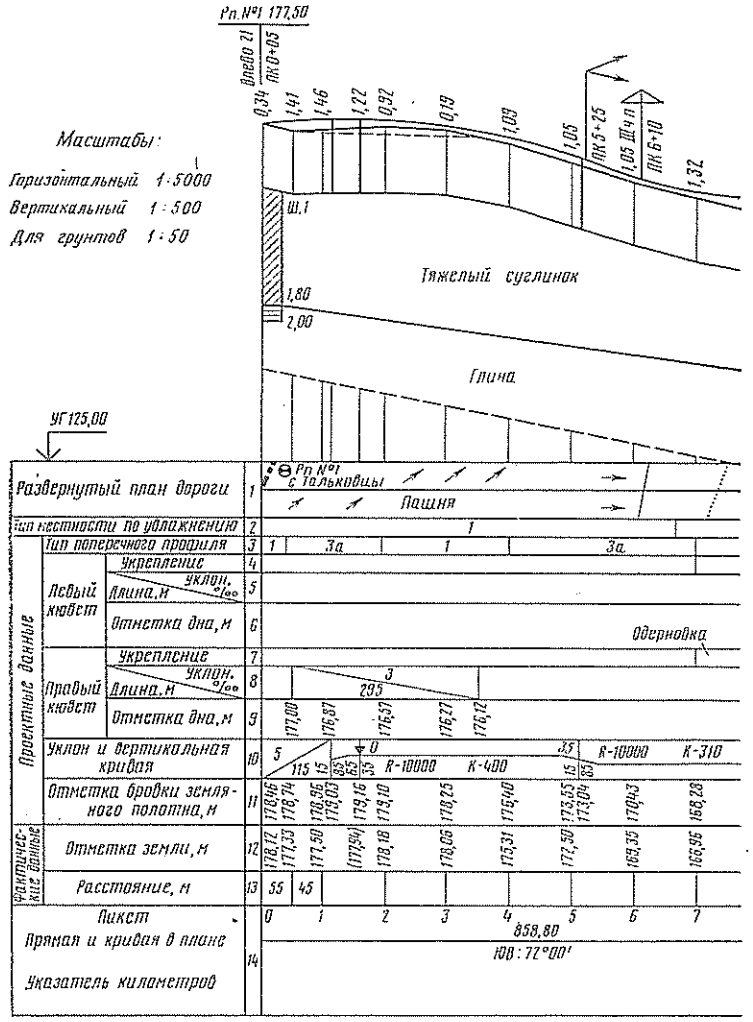
4.4. ОПИСАНИЕ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ

Описание проектной линии заключается в ее характеристик
с краткими обоснованиями и пояснениями. Так, для рассматрива
мого примера (рис. 4 .13) описание проектной линии может быть пред
ставлено в следующем виде:

проектная линия нанесена по шаблонам в основном по оберты
вающей в рекомендуемых рабочих отметках. Незначительные от
клонения имеются на участках пересечения пониженных мест и водо

токов. Основные радиусы выпуклых кривых 25 000—10000 м, вогну-
тых 15 000—6000 м. Продольные уклоны в основном менее 30‰.

Только на участке подхода к р. Наумке принят максимальный продольный уклон 45‰, а на самом пересечении реки, на участке длиной 130 м принята вогнутая кривая с минимально допустимым $R = 2000$ м, что обеспечило минимальный объем земляных работ на этом участке. На всем протяжении запроектированная проектная линия обеспечивает в продольном профиле видимость больше минимально допустимой.



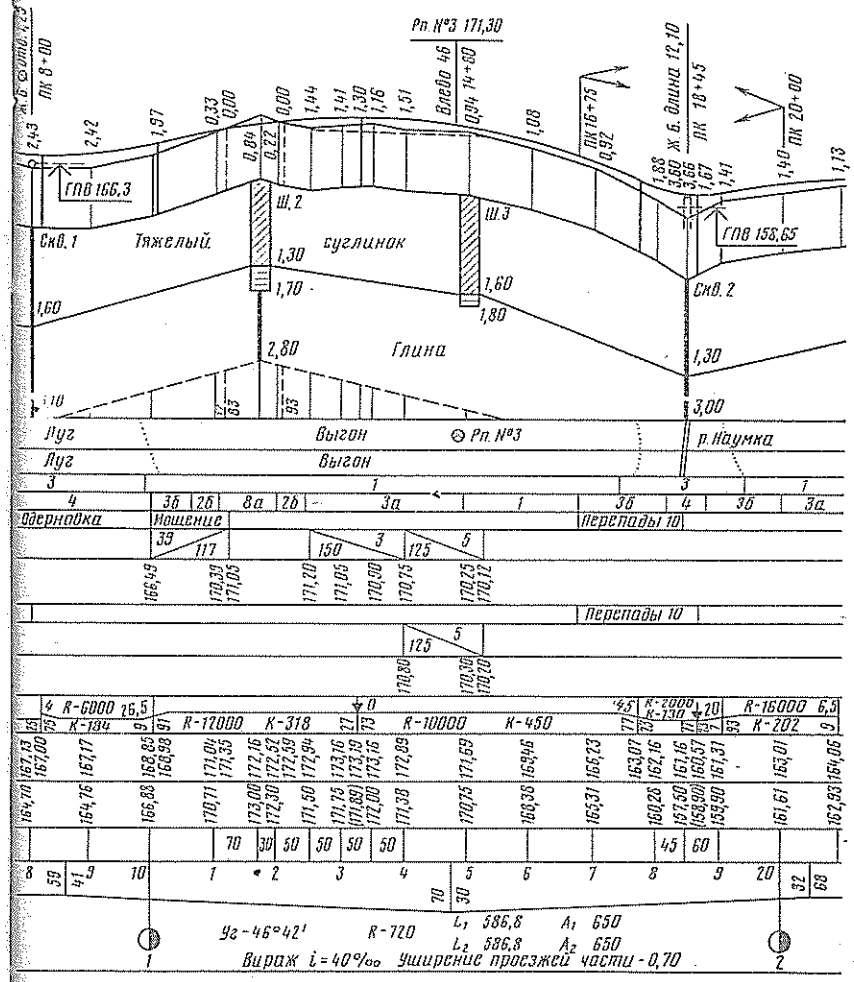


Рис. 4.13. Пр ольный профиль

4.5. ОФОРМЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Продольный профиль автомобильных дорог вычерчивают на миллиметровой бумаге участками трассы длиной до 5 км на каждом чертежном листе, высота которого принята 297 мм, высота рамки — 287 мм, или 420 мм, а высота рамки 410 мм.

Сетка продольного профиля вычерчивается с соблюдением высоты каждой графы (см. рис. 4.3). Наименование граф сетки размещают на первом листе. На остальных листах указывают только номера граф.

Продольный профиль вычерчивают в масштабах: горизонтальный — 1 : 5000; вертикальный — 1 : 500; для горной местности масштабы принимают соответственно 1 : 2000 и 1 : 200; для грунтового разреза вертикальный масштаб принимают 1 : 50; для горной местности — 1 : 20.

На верхней линии штампа сетки указывают принятый условный горизонт для построения профиля. Построение линии земли рассмотрено в п. 4.1. На 2 см ниже линии земли вычерчивают грунтовый разрез трассы по данным инженерно-геологических обследований. Колонки грунтовых шурфов вычерчивают шириной 6 мм штриховкой каждого слоя условными обозначениями (прил. 6). Справа, на уровне низа слоя, пишут значение его глубины от поверхности земли. В местах расположения искусственных сооружений, высоких насыпей, глубоких выемок, заболоченных участков наносят скважины сплошной вертикальной колонкой шириной 2 мм. Если глубина скважины не размещается в масштабе в пределах грунтового разреза, ее показывают с разрывом. Между шурфами и скважинами проводят линии, показывающие границы залегания грунтов, и записывают для каждого слоя наименование грунта. Низ шурфов и скважин соединяют штриховой линией, ниже которой, а также выше грунтового разреза, проводят сплошные линии ординат пикетов, плюсовых точек, точек начала и конца вертикальных кривых и пунктирные линии точек перехода насыпей в выемку или выемок в насыпь. Вдоль пунктирной линии записывают расстояния до ближайших передних пикетных или плюсовых точек.

На расстоянии 5 мм от проектной линии записывают рабочие отметки пикетов и плюсовых точек: насыпей — над проектной линией и выемок — под проектной линией.

Наносят профильные и надпрофильные условные обозначения (прил. 5) в соответствии с данными проектирования искусственных сооружений, системы водоотвода, пересечений и примыканий дорог и др.

Проектная линия и линия трассы в графах 1 и 14 наносятся как основная линия толщиной 0,4—0,6 мм. Все остальные линии наносятся тонкими.

Высота цифр на чертеже и в графах сетки 3 мм. При большой густоте плюсовых точек их разрешается располагать в шахматном порядке или делать выноску.

В графе 3 указывают нумерацию принятых при проектировании земляного полотна типовых поперечных профилей с пометкой границ участков.

В графах 4 и 7 указывают принятые при проектировании системы водоотвода типы укрепления кюветов, количество перепадов, длину быстротоков с пометкой границ участков укреплений,

В графах 6, 5 и 8, 9 указывают уклоны и отметки дна кювета или резерва на участках, где уклоны дна водоотвода не параллельны проектной линии.

В графу 10 заносят прямые и кривые проектной линии. Прямые показывают участками спуска (с левого верхнего угла графы в нижний) или подъема (с нижнего угла графы в верхний) с указанием над прямой значения уклона в промиллях, под прямой — значение длины участка. Кривые показывают скобками вверх, если выпуклая кривая, вниз — если вогнутая, с указанием значений уклонов в точках НК и КК и расстояний от них до ближайших пикетов, радиуса и длины кривой (см. рис. 4.13 и прил. 5). После заполнения графы 10 карандашные пометки уклонов и радиусов над проектной линией стирают.

В графу 11 записывают проектные отметки пикетов, плюсовых точек, НК, ВК и КК.

В графе 14 пикетаж полностью записывают только на километровых пикетах. У остальных пикетов записывают только последнюю цифру их значения.

На последнем чертежном листе продольного профиля в правом нижнем углу размещают основной штамп.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Проектирование земляного полотна включает в себя:

проектирование поперечных профилей с учетом требований к земляному полотну и назначение конструкции земляного полотна с системой водоотвода;

определение размеров резервов, необходимых для устройства насыпей;

определение площадей земель, подлежащих рекультивации;

определение объемов земляных работ по устройству земляного полотна дороги.

5.1. ПОПЕРЕЧНЫЕ ПРОФИЛИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Поперечные профили являются поперечным разрезом дороги и представляют схематичный чертеж конструкции земляного полотна совместно с дорожной одеждой и системой водоотвода.

При проектировании поперечных профилей необходимо выдерживать требования, предъявляемые к земляному полотну автомобильных дорог. Оно должно: обеспечивать безопасность движения транспортных средств; сохранять проектные очертания и требуемую прочность в течение заданного срока службы; не подвергаться образованию просадок и морозного пучения; не нарушать ландшафт местности; быть незаносимым снегом или песком.

Для благоприятных геологических условий разработаны типовые конструкции земляного полотна для насыпей высотой до 12 м и выемок глубиной до 12 м в обычных грунтах и до 16 м в скальных. На основании многолетнего опыта разработаны также типовые конструкции земляного полотна на болотах глубиной до 4 м, на засоленных грунтах, орошаемых землях, в районах подвижных песков.

Геометрическая форма поперечных профилей дорог I—III категорий разработана обтекаемого и необтекаемого очертания. Насыпи и выемки обтекаемого очертания, имеющие пологие откосы, сопрягающиеся круговыми кривыми малого радиуса с обочиной и прилегающей поверхностью земли, дном резерва или кювета, способствуют: незаносимости дороги снегом; повышению безопасности движения, так как водитель чувствует себя уверенней, когда видит весь откос, а не только бровку земляного полотна, и автомобиль, потерявший управление, имеет возможность съехать по пологому откосу насыпи; лучшему вписыванию в окружающий ландшафт, так как резко не выделяется на общем фоне местности.

Земляное полотно обтекаемого очертания рекомендуется во всех случаях, за исключением стесненных условий или при проложении дороги по ценным землям.

Типовые поперечные профили предусматривают крутизну откосов насыпей из песчаных и глинистых грунтов в обычных условиях в зависимости от высоты насыпи и категории дороги:

при $H_{нас} < 2$ м на дорогах I—III категорий — 1 : 4;

при $H_{нас} < 1$ м на дорогах IV—V категорий — 1 : 3;

при $H_{нас}$ от 2 до 6 м на дорогах I—III и при $H_{нас}$ от 1 до 6 м на дорогах IV—V категорий — 1 : 1,5;

при $H_{нас}$ от 6 до 12 м на дорогах I—V категорий верхнюю часть $H = 6$ м принимают 1 : 1,5, нижнюю — 1: 1,75.

Для выемок внутренний откос независимо от глубины выемки принимается 1 : 3.

Крутизна внешнего откоса выемки в зависимости от ее глубины принимается:

при $H_в < 1$ м обтекаемого очертания раскрытые или разделанные под насыпь — 1 : 4 ÷ 1 : 10; при необтекаемом очертании — 1 : 1,5 ÷ 1 : 3;

при $H_в$ от 1 до 5 м на снегозаносимых участках — 1 : 4 ÷ 1 : 6, на снегонезаносимых — 1 : 1,5;

при $H_в$ от 5 до 12 м — 1 : 1,5.

Выемки глубиной до 1 м при наличии необходимой полосы отвода предусматривают разделанными под насыпь.

При расположении земляного полотна на косогорах крутизной 1 : 10 ÷ 1 : 5 с нагорной стороны насыпей на расстоянии не менее 2 м предусматривают нагорную (водоотводную) канаву или резерв с нагорной канавой. При крутизне косогора 1 : 5 ÷ 1 : 3 с нагорной стороны насыпи предусматривают кювет треугольного сечения с нагорной канавой и банкетом, а под телом насыпи строят уступы высотой не менее 0,5 м, длиной не менее 2 м с уклоном 10—20‰. С нагорной стороны выемок на расстоянии не менее 5 м от бровки предусматривают нагорную канаву с банкетом.

При $H_{нас} > 1{,}5$ м при необтекаемом очертании поперечного профиля и при $H_{нас} > 2$ м при обтекаемом очертании между откосом насыпи и резервом предусматривают берму шириной не менее 2 м с уклоном от дороги не менее 20‰. В выемках бермы предусматривают между кюветом и подошвой внешнего откоса при $H_в > 2$ м в пылеватых и глинистых грунтах.

Типовые конструкции земляного полотна не разрешается применять и, следовательно, необходимо индивидуальное их проектирование в следующих случаях: при высоте насыпей и глубине выемок более 12 м; при устройстве насыпей на слабых грунтах, поймах рек, болотах глубиной более 4 м или при меньшей глубине, когда не предусматривается выторфовывание или когда уклон дна болота более 1 : 10; при расположении земляного полотна на очень крутых или неустойчивых склонах; при устройстве выемок в неблагоприятных гидрологических условиях; если предусматривается устройство земляного полотна взрывным способом или методом гидромеханизации.

Грунт из выемок, как правило, должен предусматриваться для возведения насыпей. Если грунт из выемки непригоден для насыпи или его нецелесообразно транспортировать вдоль дороги в расположенные поблизости насыпи, им уполаживают откосы земляного полотна насыпей или заполняют расположенные вблизи пониженные участки местности. При невозможности использования грунта для указанных целей предусматривают его укладку на обрезе дороги параллельно бровке выемки на расстоянии не ближе 3 м в кавальер высотой не более 3 м, которому придают правильное геометрическое очертание.

Земляное полотно должно проектироваться на основании материалов инженерно-геологического обследования грунтов, на которых оно будет возводиться, и грунтов, из которых оно будет сооружаться. Насыпи по возможности следует предусматривать из однородных грунтов. При проектировании насыпей из неоднородных грунтов должны соблюдаться следующие условия: необходимо предусматривать постепенный переход от тяжелых грунтов в основании к более легким вверху; поверхность слоев из менее дренирующих грунтов, расположенных под слоями из более дренирующих грунтов, должна иметь уклон 40–100‰ от оси насыпи к краям; откосы не должны прикрываться менее дренирующими грунтами.

Для земляного полотна не допускаются: глинистые грунты избыточного засоления или с влажностью, превышающей допустимую; ил, торф, мелкие пески и глинистый грунт с примесью ила и органических вяжущих; верхний почвенный слой, содержащий в большом количестве корни растений; тальковый грунт и трепел на сырых и мокрых участках.

Верхнюю часть земляного полотна на 1,2 м от поверхности цементобетонных покрытий и на 1 м от поверхности асфальтобетонных покрытий во II дорожно-климатической зоне и на 1,0—0,8 м соответственно в III зоне следует предусматривать из непылеватых песчаных или легких супесчаных грунтов. При их отсутствии допускаются пучинистые грунты IV—VI групп с устройством морозозащитного слоя.

Требуемая прочность земляного полотна считается обеспеченной, если низ дорожных одежд возвышается над расчетным уровнем грунтовых и поверхностных вод, а также над уровнем поверхности земли на мокрых и сырых участках не менее, чем указано в табл. 4.1. При технико-экономическом обосновании допускается уменьшение высоты насыпи на мокрых и сырых участках за счет устройства водонепроницаемых прослоек в земляном полотне.

На всех поперечных профилях двойной линией показывают укрепление откосов и обочин земляного полотна. Тип укрепления принимают с учетом высоты насыпи и глубины выемки, природных и других местных условий.

Площадь укрепления откосов земляного полотна подсчитывают участками насыпей и выемок по длине дороги в соответствии с принятыми типами укрепления (табл. 5.1). Наибольшее распространение имеет укрепление механизированным посевом многолетних трав, предохраняющее земляное полотно от разрушающего действия дождевых и талых вод, ветра и температурных воздействий. Укрепление железобетонными и бетонными плитами предусматривают для защиты откосов насыпей от размывов при больших скоростях течения воды и волновых воздействиях на участках подходов к мостам через реки, а также на участках, проходящих вдоль крупных водохранилищ. Укрепление каменными материалами (каменная наброска) предусматривается повсеместно независимо от климатических условий для защиты постоянно и периодически подтопляемых откосов насыпей.

Конструкцию укрепления земляного полотна для сложных участков выбирают на основании технико-экономического сравнения вариантов в соответствии с конкретными условиями.

На обочинах дорог I—IV категорий вдоль кромок проезжей части предусматривают устройство краевых укрепительных полос путем соответствующего уширения покрытия. Ширину укрепительных полос принимают для дорог I и II категорий 0,75 м, III категории 0,5 м, IV категории 0,3 м. Тип укрепления остальной части обочин зависит от интенсивности, характера движения, грунтов земляного полотна и особенностей климата.

Таблица 5.1. **Ведомость укрепления откосов земляного полотна**

Проектный км	Участок пк . . +. . Насыпь	Участок пк . . +. . Выемка	Расстояние L, м	Средняя рабочая отметка $H_{ср}=\frac{\Sigma h}{n}$, м: Насыпь	Средняя рабочая отметка $H_{ср}=\frac{\Sigma h}{n}$, м: Выемка	Коэффициент заложения откоса m	Удвоенная длина образующей откоса $2l=2H_{ср}\times\sqrt{1+m^2}$: Насыпь	Удвоенная длина образующей откоса $2l=2H_{ср}\times\sqrt{1+m^2}$: Выемка	Площадь укрепления откосов $S=L2l$, м²: засевом трав: Насыпь	засевом трав: Выемка	бетонными плитами: Насыпь	бетонными плитами: Выемка	Каменная наброска	Всего: засевом травы	Всего: бетонными плитами
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I	0+00	—	1000	1,30	—	4	10,72	—	10720	—	—	—	—	10 720	—
	10+00	—													
2	10+00	—	117	0,77	—	4	6,35	—	743	—	—	—	—	743	—
	11+17	—													
	—	11+17	90	—	0,27	4	—	2,23	—	200	—	—	—	200	—
	—	12+07													
	12+07	—	793	1,57	—	4	12,95	—	10267	—	—	—	—	10 267	—
	20+00	—													

При проектировании поперечные профили земляного полотна составляют как типовые для данной дороги. В чертеж включают типовые поперечные профили с внесением в них необходимых изменений с учетом местных условий, т. е. привязывают типовые поперечные профили к конкретным участкам проектируемой дороги.

Привязка типовых поперечных профилей включает в себя их подбор по типовому проекту в соответствии:

с участками продольного профиля (высоты насыпи или глубины выемки и расположения земляных масс, указывающих на необходимость в резервах для насыпей);

с участками плана трассы (поперечного уклона местности и ситуации, позволяющей или не позволяющей предусматривать обтекаемые очертания поперечного профиля, боковые резервы для устройства насыпей);

с гидрогеологическими условиями (с кюветами, нагорными канавами, водонепроницаемыми прослойками или без них);

с видом грунта земляного полотна (из однородных или неоднородных грунтов);

с необходимым типом укрепления откосов и обочин.

Привязанные типовые поперечные профили вычерчивают в масштабе 1 : 100 (рис. 5.1 и 5.2) с указанием: номера типа конструкции земляного полотна по типовому проекту; основных размеров дорожного полотна; поперечных уклонов проезжей части, обочин, дна резервов и берм; кюветов, резервов, нагорных канав. Контур поперечных профилей вычерчивают основной сплошной линией. Пунктирной линией показывают снимаемый слой растительного грунта и верх

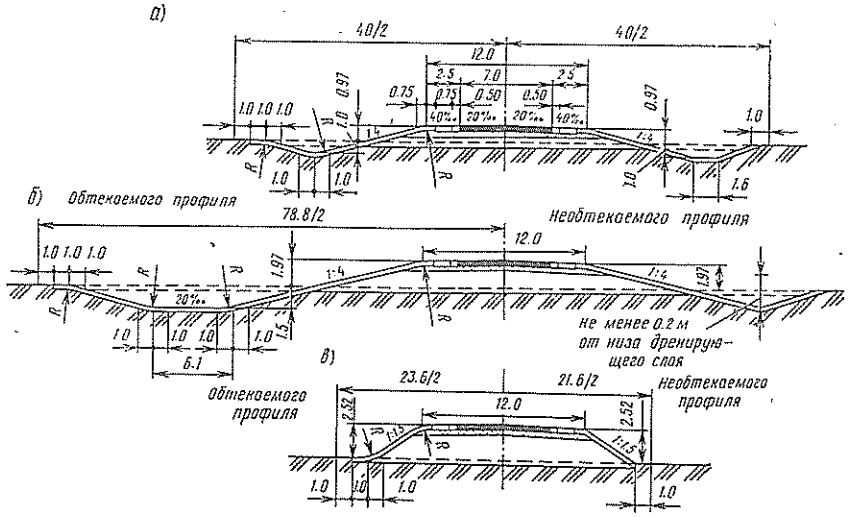


Рис. 5.1. Поперечные профили насыпей:

а — тип 1 — насыпи высотой до 1 м, пк 41, H=0,97 м; *б* — тип 3 — насыпи высотой 1—2 м, пк 10, H=1.97 м; *в* — тип 4 — насыпи высотой 2—6 м из привозного грунта, пк 31, H=2,52 м

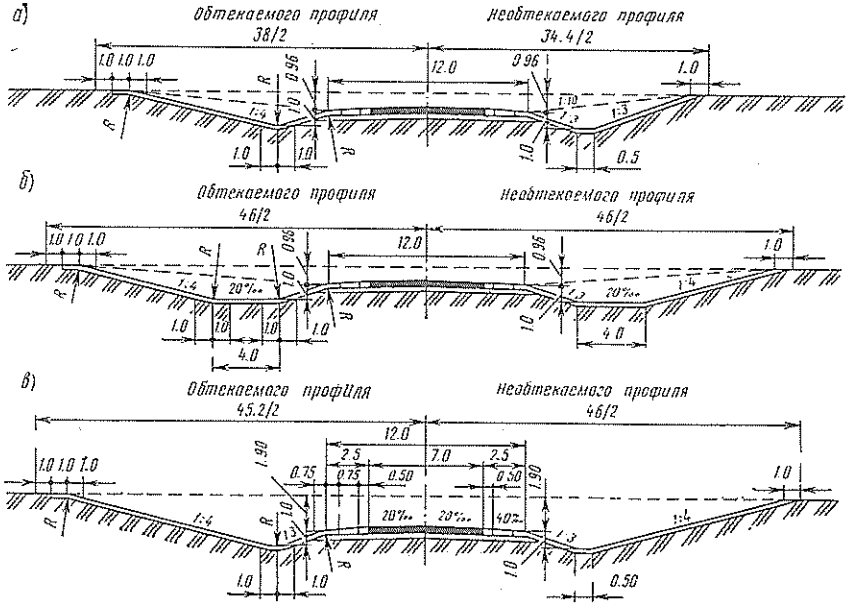


Рис. 5.2. Поперечные профили выемок:

а — тип 8 — выемки глубиной до 1 м раскрытые, пк 33, H=0,96 м; *б* — тип 8 — выемки глубиной до 1 м, разделанные под насыпи; *в* — тип 9 — выемки глубиной 1—5 м на снегозаносимых участках, пк 33+40, H=1,90 м

выемок. Слева и справа указывают границу постоянной полосы отвода.

Размеры боковых резервов и водоотводных канав устанавливают расчетом.

5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ РЕЗЕРВОВ

Резервы предусматривают в случаях, когда они не нарушают общей планировки местности и грунт резервов необходим для устройства насыпи.

Если насыпь строят на косогоре при косогорности менее 1 : 10, резервы можно предусматривать с двух сторон насыпи, при косогорности 1 : 10 ÷ 1 : 5 — только с верховой стороны.

Глубину разеревов принимают не более 1,5 м. Дну придают уклон 20‰ от дороги (рис. 5.3, *а*). При ширине дна резерва более 10 м назначают двухскатный кювет — резерв (рис. 5.3, *б*).

Крутизну внутреннего откоса резерва принимают равной крутизне откоса насыпи. Если предусматривается берма, крутизна внутреннего откоса резерва может быть 1 : 1,5.

Крутизна внешнего откоса принимается 1 : 4 ÷ 1 : 6. В стесненных условиях при необтекаемом очертании поперечного профиля крутизна внешнего откоса принимается 1 : 1,5.

Ширина резерва определяется из необходимого условия равенства площади сечения резерва и среднего значения площади насыпи для рассматриваемого участка длины земляного полотна.

Среднее значение площади насыпи определяют по средней ее высоте с учетом поправки на устройство дорожной одежды, краевых полос и укрепления обочин

$$H_{ср} = \frac{\Sigma H}{n}, \qquad (5.1)$$

где ΣH — сумма рабочих отметок на рассматриваемом участке насыпи; n — количество рабочих отметок;

$$F_{ср} = BH_{ср} + mH^2_{ср} - (b + 2C')\, h_{д.о} - 2C'''\, h_у, \qquad (5.2)$$

где B — ширина земляного полотна; m — коэффициент заложенного откоса; b — ширина проезжей части; C' — ширина краевой полосы; $h_{д.о}$ — толщина дорожной одежды; C''' — ширина обочины за краевой полосой; $h_у$ — толщина укрепления обочины.

Площадь резерва

$$\omega = l_1 h + \frac{h^2}{2}(m_1 + n), \qquad (5.3)$$

где l_1 — ширина резерва понизу; h — средняя глубина резерва; m_1 и n — соответственно коэффициент заложения внутреннего и внешнего откосов (см. рис. 5.3).

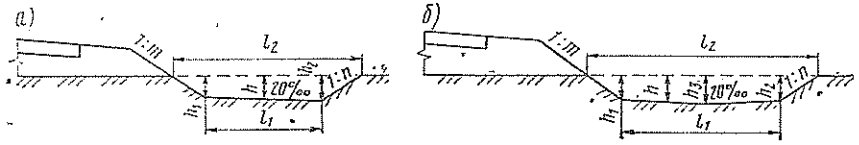


Рис. 5.3. Схема резерва:
а — односкатного; *б* — двухскатного

При двусторонних резервах площадь сечения одного резерва должна равняться половине площади сечения земляного полотна:

$$\omega = \frac{F_{ср}}{2} \text{ или } l_1 h + \frac{h^2}{2}(m_1 + n) = \frac{F_{ср}}{2},$$

откуда

$$l_1 = \frac{F_{ср}}{2h} - \frac{h}{2}(m_1 + n). \quad (5.4)$$

Для одностороннего резерва ширина понизу

$$l_1 = \frac{F_{ср}}{h} - \frac{h}{2}(m_1 + n). \quad (5.5)$$

Глубина резерва у подошвы внутреннего откоса:
для односкатного (см. рис. 5.3, *а*)

$$h_1 = h - \frac{l_1}{2} i = h - 0{,}01 l_1; \quad (5.6)$$

для двухскатного (см. рис. 5.3, *б*):

$$h_1 = h - \frac{l_1}{4} i = h - 0{,}005 l_1. \quad (5.7)$$

Глубина резерва у подошвы внешнего откоса:
для односкатного

$$h_2 = h + \frac{l_1}{2} i = h + 0{,}01 l_1; \quad (5.8)$$

для двухскатного при незначительном уклоне поверхности земли $h_2 = h_1$.

Глубина двухскатного резерва посредине

$$h_3 = h + \frac{l_1}{4} i = h + 0{,}005 l_1. \quad (5.9)$$

Ширина резерва поверху

$$l_2 = l_1 + m_1 h_1 + n h_2. \quad (5.10)$$

Пример. Определить размеры резерва для участка дороги с пк 0 + 00 до пк 7 + 00 (см. рис. 2.12 и 4.13). Конструкция краевой полосы аналогична конструкции дорожной одежды. Укрепление обочин за краевой полосой предусматривается растительным грунтом с засевом травой.

По плану трассы видно, что поперечный уклон поверхности земли на рассматриваемом участке дороги незначительный и ситуация местности позволяет предусматривать двусторонний резерв.

Расчет ведется в следующей последовательности.

1. Определяют среднюю высоту насыпи на рассматриваемом участке земляного полотна:

$$H_{ср} = \frac{\Sigma H}{n} = \frac{0{,}34 + 1{,}41 + 1{,}46 + 0{,}92 + 0{,}19 + 1{,}09 + 1{,}05 + 1{,}05 + 1{,}32}{9} =$$

$$= 0{,}98 \text{ м}.$$

2. Устанавливают коэффициент заложения откоса земляного полотна. Так как дорога III категории, при $H_{ср} = 0{,}98$ м $m = 4$.

3. Определяют среднее значение площади сечения насыпи. Так как укрепление обочин предусмотрено грунтом, поправку на укрепление не учитывают:

$$F_{ср} = BH_{ср} + mH_{ср}^2 - (b + 2C')\, h_{д.о} = 12 \cdot 0{,}98 + 4 \cdot 0{,}98^2 -$$

$$-(7 + 2 \cdot 0{,}5)\, 0{,}31 = 13{,}12 \text{ м}.$$

4. Назначают среднюю глубину резерва и коэффициенты заложения откосов. Принимаем: $h = 0{,}7$ м; $m_1 = m = 4$; $n = 4$.

5. Определяют ширину резерва понизу:

$$l_1 = \frac{F_{ср}}{2h} - \frac{h}{2}(m_1 + n) = \frac{13{,}12}{2 \cdot 0{,}7} - \frac{0{,}7}{2}(4 + 4) = 9{,}37 - 2{,}8 = 6{,}57 \text{ м}.$$

Так как $l_1 < 10$ м принимаем односкатный резерв.

6. Определяют глубину резерва у подошвы внутреннего и внешнего откосов:

$$h_1 = h - 0{,}01 l_1 = 0{,}7 - 0{,}01 \cdot 6{,}57 = 0{,}63 \text{ м};$$

$$h_2 = h + 0{,}01 l_1 = 0{,}7 + 0{,}01 \cdot 6{,}57 = 0{,}77 \text{ м}.$$

7. Определяют ширину резерва поверху:

$$l_2 = l_1 + m_1 h_1 + n h_2 = 6{,}57 + 4 \cdot 0{,}63 + 4 \cdot 0{,}77 = 12{,}17 \text{ м}.$$

5.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ЗЕМЕЛЬ, ПОДЛЕЖАЩИХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Рекультивация заключается в восстановлении земель, нарушенных в процессе строительства дороги. Основными видами работ по рекультивации являются: снятие и хранение плодородного слоя; вертикальная планировка земель; осушение земель; нанесение плодородного слоя; мероприятия по предотвращению водной и ветровой эрозии и др.

Для определения площадей земель, подлежащих рекультивации, необходимо иметь поперечные профили полосы отвода под строительство дороги и график занимаемых земель.

На поперечных профилях полосы отвода выделяют полосу постоянного отвода земель под дорогу и притрассовую полосу временного отвода.

Полоса постоянного отвода под дорогу включает площади под насыпи, выемки, водоотводные сооружения и предохранительные полосы шириной 1 м с каждой стороны дороги.

Таблица 5.2. Ведомость объема по рекультивации резервов

№ п/п	Местоположение резерва: от пк+	Местоположение резерва: до пк+	Протяжение резерва, м	Средняя глубина резерва, м	Ширина резерва поверху, м	Площадь резерва, м²	Средняя мощность растительного грунта, м	Объем снимаемого грунта, м³	Объем растительного грунта для восстановления площади резерва, м³	Удобрение, вспашка, боронование и посев трав, м²
1	0+00	7+00	700	0,70	12,17	8 519	0,10	852	864	8 640
2	12+50	16+75	425	0,80	14,39	6 116	0,10	612	620	6 201
3	20+00	29+31	931	0,80	10,79	10 046	0,10	1005	1023	10 232
4	36+00	41+70	570	0,70	14,36	8 185	0,10	819	829	8 288

Притрассовая полоса временного отвода включает площади боковых резервов, площади под временные отвалы растительного грунта и землевозные дороги. Ширину полосы временного отвода вдоль земляного полотна, необходимую для складирования и хранения растительного грунта, проезда и маневрирования землеройной техники, принимают равной 10—12 м (без учета ширины боковых резервов).

Все земли полосы временного отвода подлежат рекультивации. Объем работ по рекультивации резервов подсчитывают и вносят в ведомость (табл. 5.2).

После окончания строительных работ временно занимаемые площади должны быть спланированы, растительный слой из временных отвалов равномерно распределен по восстанавливаемой площади. При необходимости вносят органические и минеральные удобрения, производятся вспашка и боронование почвы с посевом трав или посадкой саженцев.

На графике занимаемых земель показывают схему полосы отвода земель по трассе и схему отвода внетрассовых земель. На схеме отвода внетрассовых земель показывают земли, постоянно занимаемые снегозащитными полосами, линейными зданиями и другими постоянными сооружениями, и временно занимаемые карьерами грунтов и строительных материалов, временными зданиями и сооружениями. На графике выделяют земли постоянного и временного отвода с разделением земель полосы отвода на участки и указание расстояний от оси дороги до границы полосы отвода.

Расстояния от оси дороги до границы постоянной полосы отвода под дорогу определяют в соответствии с нормами отвода земель для автомобильных дорог (СН 467—74).

На свободном месте помещают таблицу занимаемых земель, в которой приводят подсчитанные по данным графика занимаемых земель площади постоянного и временного отвода по видам земельных угодий.

5.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Земляное полотно по форме своего объема соответствует геометрическому телу — призматоиду с трапецеидальным основанием.

Объем земляного полотна определяют участками между смежными поперечниками (рис. 5.4), рабочие отметки для которых определены на продольном профиле:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} L - \frac{m (H_1 - H_2)^2}{6} L, \tag{5.11}$$

$$\text{или } V = F_{ср} L + \frac{m (H_1 - H_2)^2}{12} L, \tag{5.12}$$

где F_1 и F_2 — площади сечения смежных поперечных профилей земляного полотна; L — расстояние между поперечниками; m — коэффициент заложения откоса земляного полотна; H_1 и H_2 — рабочие отметки смежных поперечников; $F_{ср}$ — средняя площадь поперечного сечения земляного полотна, соответствующая средней рабочей отметке $H_{ср} = \frac{H_1 + H_2}{2}$.

В формулах (5.12) и (5.11) выражения

$$\frac{m (H_1 - H_2)^2}{6} L \tag{5.13}$$

$$\text{и } \frac{m (H_1 - H_2)^2}{12} L \tag{5.14}$$

являются поправками на разность рабочих отметок. Значения их малы. При $H_1 - H_2 \leqslant 1{,}0$ их не учитывают, и объем земляных работ определяют по упрощенным формулам:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} L \tag{5.15}$$

$$\text{или } V = F_{ср} L. \tag{5.16}$$

Для облегчения и ускорения подсчета объемов земляных работ по формуле (5.16) Н. А. Митиным составлены таблицы [20], которые используют при поперечном уклоне местности менее 100‰. Для определения объема земляных работ по таблицам необходимо знать: $H_1 + H_2$ — сумму рабочих отметок смежных поперечников; B — ширину земляного полотна проектируемой дороги; m и n — коэффициенты заложения откосов земляного полотна; L — расстояние между поперечниками; $h_к$ — глубину кювета выемки.

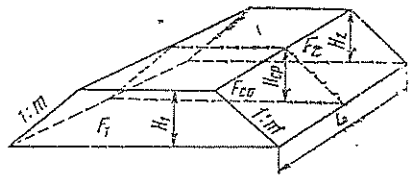


Рис. 5.4. Схема для определения объема земляного полотна

При поперечном уклоне местности более 100‰ объем земляных работ подсчитывают по формуле (5.15). Для этого вычерчивают поперечные профили, площади которых определяют обводкой планиметром или расчетом, разбив их на правильные геометрические фигуры.

Найденные по таблицам или формулам объемы насыпей и выемок составляют профильный объем земляных работ.

К профильным объемам земляных работ необходимо вводить поправки на разность смежных рабочих отметок и на устройство проезжей части.

Поправка на разность рабочих отметок, учитываемая при $H_1 - H_2 > 1{,}0$ м, определяется по таблицам Н. А. Митина (табл. 17) или по формулам (5.13) или (5.14) и прибавляется к объему насыпей и выемок.

Поправка на устройство проезжей части учитывает строительство дорожной одежды, краевых полос, укрепление обочин (рис. 5.5):

$$\Delta V = [S_1 - (S_2 + S_3 + S_4)]\, L, \tag{5.17}$$

где S_1 — площадь сточной призмы (выпуклости, создаваемой за счет земляного полотна) проезжей части (рис. 5.5, *а*);

$$S_1 = C^2 i_0 + b\left(Ci_0 + \frac{bi_{\text{п}}}{2}\right); \tag{5.18}$$

S_2 — площадь сечения дорожной одежды на ширине проезжей части;

$$S_2 = bh_{\text{д.о}}; \tag{5.19}$$

S_3 — площадь сечения краевых полос;

$$S_3 = 2C'\, h_{\text{кп}}; \tag{5.20}$$

S_4 — площадь сечения укрепления обочин;

$$S_4 = 2C'''\, h_{\text{у}}; \tag{5.21}$$

C, C', C''', b — соответственно ширина обочины, краевой полосы, обочины за краевой полосой, проезжей части; i_0, $i_{\text{п}}$ — уклоны обочины и проезжей части; $h_{\text{до}}$, $h_{\text{кп}}$ $h_{\text{у}}$ — толщина дорожной одежды, краевой полосы, укрепления обочины за краевой полосой.

Если $S_1 > (S_2 + S_3 + S_4)$, поправка на устройство проезжей части прибавляется к объему насыпей и вычитается из объема выемок, если $S_1 < (S_2 + S_3 + S_4)$ — вычитается из объема насыпей и прибавляется к объему выемок.

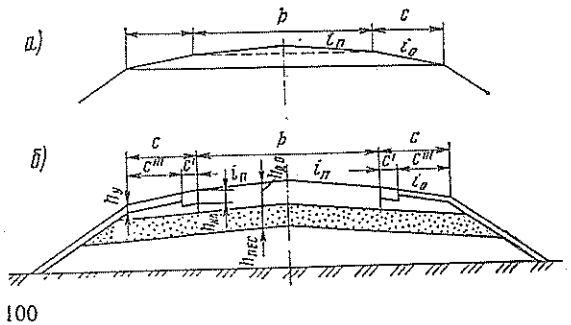


Рис. 5.5. Схемы для определения поправок на устройство проезжей части:

а — сточной призмы; *б* — дорожной одежды и укрепления обочин

Если в конструкции дорожной одежды предусмотрен дополнительный песчаный слой основания или слой из грунта повышенной плотности, их объем учитывают в профильном объеме земляного полотна. В этом случае при определении площади сечения дорожной одежды S_2 толщину ее принимают без толщины этих слоев.

Если укрепление обочины за краевой полосой (C''') предусматривается растительным грунтом с засевом травой, поправку S_4 не учитывают.

В объеме земляных работ, кроме профильного объема, необходимо учитывать дополнительные объемы по снятию растительного слоя, торфа или пучинистого грунта с заменой обычным грунтом, а также объем переуплотнения грунта в насыпи относительно естественного залегания его в резервах.

При подсчете объемов разрывы земляного полотна, образованные мостами длиной менее 4 м, и отверстия в земляном полотне, образованные трубами, не учитывают, считая их как бы заполненными землей. Разрывы, образованные мостами длиной более 4 м, из объема земляных работ исключаются, для чего необходимо определить методом интерполяции рабочие отметки в точках начала и конца моста (НМ и КМ).

Подсчет объемов земляных работ при проектировании земляного полотна выполняют в ведомостях попикетного и покилометрового объемов земляных работ (табл. 5.3 и 5.4).

Пример. Определить объем земляных работ для участка насыпи с пк 0 до пк 0 + 55. $H_{\text{пк0}} = 0{,}34$ м; $H_{\text{пк0 + 55}} = 1{,}41$ м; $L = 55$ м; $B = 12$ м; $h_{\text{с}} = 0{,}10$ м.

Так как проектируемая дорога III категории, а высота насыпи меньше 2 м, коэффициент заложения откоса $m = 4$.

По таблицам для подсчета объемов земляного полотна [20] в табл. 6 для значений $\Sigma H = 1{,}75$ м; $B = 12$ м и $L = 50 + 5$ определяем профильный объем насыпи:

$$V_{\text{пр}} = 678 + 68 = 746 \text{ м}^3.$$

Объем срезки растительного грунта под насыпью на 1 м длины участка пк 0—пк 7:

$$V_{\text{с.н1}} = [B + 2m\,(H_{\text{ср}} + h_{\text{с}})]\, h_{\text{с}}\, l = [12 + 2 \cdot 4\,(0{,}98 + 0{,}10)]\, 0{,}1 \cdot 1 = 2{,}06 \text{ м}^3.$$

На участке насыпи $L = 55$ м

$$V_{\text{с.н}} = V_{\text{с.н1}}\, L = 2{,}06 \cdot 55 = 113 \text{ м}^3.$$

Объем срезки растительного грунта на двустороннем резерве на длине резерва 1 м

$$V_{\text{ср1}} = 2\,(l_1 + m_1 h_{\text{ср}} + nh_{\text{ср}})\, h_{\text{с}}\, l = 2l_2\, h_{\text{с}}\, l;$$

$$V_{\text{ср1}} = 2 \cdot 12{,}39 \cdot 0{,}1 \cdot 1 = 2{,}48 \text{ м}^3,$$

где l_2 и $h_{\text{ср}}$ — ширина резерва поверху и его средняя глубина установлены в примере определения размеров резервов.

На участке насыпи $L = 55$ м:

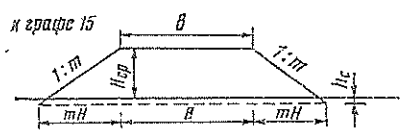
$$V_{\text{ср}} = V_{\text{ср1}}\, L = 2{,}48 \cdot 55 = 136 \text{ м}^3.$$

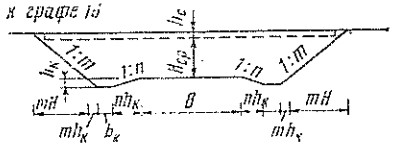
Таблица 5.3. Ведомость попикетного подсчета объемов земляных работ

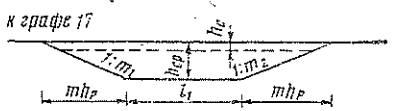
Километры	Пикеты	Плюсы	Расстояния, м	Рабочая отметка, м: Насыпь	Рабочая отметка, м: Выемка	Сумма рабочих отметок, м: Насыпь	Сумма рабочих отметок, м: Выемка	Площадь по поперечникам, м²: Насыпь	Площадь по поперечникам, м²: Выемка	Полусумма смежных площадей $F_{ср}$, м²: Насыпь	Полусумма смежных площадей $F_{ср}$, м²: Выемка	Профильный объем, м³: Насыпь	Профильный объем, м³: Выемка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	00	55	0,34	—	1,75	—	—	—	—	—	746	—
	0	55	45	1,41	—	2,87	—	—	—	—	—	1145	—
	1	00	100	1,46	—	2,38	—	—	—	—	—	1994	—
	2	00		0,92	—								
2	11	00	17	0,33	—	0,33	—	—	—	—	—	36	—
	11	17	53	0,00	0,00	—	0,84	—	—	—	—	—	1036
	11	70	30	—	0,84	—	1,06	—	—	—	—	—	680
	12	00	7	—	0,22	—	0,22	—	—	—	—	—	90
	12	07	43	0,00	0,00	1,44	—	—	—	—	—	460	—
	12	50		1,44	—								
	18	00	39	1,88	—	5,48	—	—	—	—	—	1721	—
	18	39	11	3,60	—	МОСТ							
	18	50		3,66	—								
	19	00	50	1,41	—	5,07	—	—	—	—	—	2003	—
	20	00	100	1,40	—	2,81	—	—	—	—	—	2476	—
Итого: на 2 км													
3	20	00		1,40			—	—	—	—	—		

Срезка растительного грунта, м³: Под насыпями	На выемках	На резервах	Объем грунта взамен срезанного под насыпями, м³	Разность рабочих отметок, м	Поправка на разность рабочих отметок, м³	Поправка на устройство проезжей части, м³: Насыпь	Поправка на устройство проезжей части, м³: Выемка	Итого земляных работ, м³: Насыпь	Итого земляных работ, м³: Выемка: Общий объем	Итого земляных работ, м³: Выемка: В том числе растительный грунт	Итого земляных работ, м³: Объем отвалов растительного грунта	Распределение по видам разработки
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
113	—	136	113	1,07	21	—57	—	823	—	—	249	
93	—	112	93	—	—	—47	—	1191	—	—	205	
206	—	248	206	—	—	—104	—	2096	—	—	454	
24	—	—	24	—	—	—18	—	42	—	—	24	
—	138	—	—	—	—	—	55	—	1091	138	138	
—	78	—	—	—	—	—	31	—	711	78	78	
—	18	—	—	—	—	—	7	—	97	18	18	
80	—	—	80	—	—	—45	—	495	—	—	80	
135	—	—	135	1,72	14	—41	—	1829	—	—	135	
МОСТ												
165	—	—	165	2,25	32	—52	—	2148	—	—	165	
240	—	—	240	—	—	—104	—	2512	—	—	240	
2046	234	612						20 422	1899	234	2 781	

Примечания: 1. Срезка растительного грунта определяется по участкам на каждом километре по средним значениям для каждого участка высоты насыпи, глубины выемок и резервов:







$V_{сн} = [B + 2m(H_{ср} + h_c)]\, lh_c$ $\quad V_{св} = (B + 2nh_к + 2b_к + 2mh_к + 2mH_{ср})\, lh_c$

$V_р = (l_1 + m_1 h_{ср} + m_2 h_{ср})\, lh_c$

2. В графу 18 ставят значение графы 15.
3. Объем насыпи в графе 23=графа 13+графа 18+графа 20±графа 21.
4. Общий объем выемки в графе 24=графа 14+графа 20±графа 22.
5. В графу 25 ставят значение графы 16.
6. Объем в графе 26=графа 15+графа 16+графа 17.
7. Графа 27 заполняется на основании проектирования организации работ по строительству земляного полотна.

Таблица 5.4. Пикетажная ведомость объемов земляных работ

Километры	Объемы земляных работ, м³			Грунт насыпи, м³				Грунт выемки, м³						Всего оплачиваемых земляных работ (графы 6+11+12+14+15+16)
	Насыпь	Выемка		Коэффициент относительного уплотнения	Всего с коэффициентом уплотнения	В том числе		Объем отвала растительного грунта с площади насыпи и резервов, м³	Объем отвала растительного грунта с площади выемки	В насыпь	В кавальер	Объем песка для подстилающего слоя дорожной одежды	Растительный грунт укрепления откосов и обочин	
		Общий объем	В том числе, годный для насыпи			из выемки	из резерва							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	22 635	—	—	1,1	24 899	—	18 691	4736	1472	2324	—	—	—	—	—	27 223
2	20 422	1899	1665	1,1	22 464	1665	15 025	4309	1465	2658	234	1665	—	426	56	25 838
3	17 595	1921	1827	1,1	19 355	1827	11 956	4409	1163	2885	147	1827	—	327	62	22 776
4	18 411	6333	6049	1,1	20 252	6049	9 431	3774	998	2472	679	6949	—	961	224	24 588
5	2 844	—	—	1,1	3 128	—	2 115	805	208	255	—	—	—	—	—	3 383
																103 808

Примечания. 1. В графы 2 и 3 вносят данные из граф 23 и 24 пикетной ведомости.
2. В графу 4 вносят данные графы 24 — графы 25 пикетной ведомости и минус объем других непригодных в насыпь грунтов, если такие имеются в выемке.
3. В графе 8 указывают «из бокового резерва» или номер сосредоточенного резерва.
4. В графах 9 и 15 записывают объем песка для слоя основания дорожной одежды, если он предусматривается конструкцией дорожной одежды.
5. Для граф 10 и 16 объемы определяют с учетом данных табл. 5.1 — графы 10, 11 и 4 плюс объем укрепления обочин $V_{р.гр} S_{гр\,10/11} h_{ук} + 2C'' L_{гр.4} h_{ук}$.
6. Значения для граф 11 и 12 берут по данным пикетной ведомости — графы 15, 16 и 17.

Поправка на разность рабочих отметок для $m = 4$ в табл. 17 [20] отсутствует, поэтому определяется по формуле

$$\Delta V = \frac{m(H_{0+55} - H_0)^2}{12} L = \frac{4(1{,}41 - 0{,}34)^2}{12} 55 = 21 \text{ м}^3.$$

Поправка на устройство проезжей части на длине 1 м насыпи

$$\Delta V_1 = [S_1 - (S_2 + S_3 + S_4)]\, l.$$

Площадь сточной призмы

$$S_1 = C^2 i_0 + b\left(Ci_0 + \frac{bi_п}{2}\right) = 2{,}5^2 \cdot 0{,}040 + 7\left(2{,}5 \cdot 0{,}040 + \frac{7 \cdot 0{,}020}{2}\right) = 1{,}44 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения дорожной одежды на ширине проезжей части (без учета песчаного слоя)

$$S_2 = bh_{д.о} = 7 \cdot 0{,}31 = 2{,}17 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения краевых полос

$$S_3 = 2C'\, h_{кп} = 2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}31 = 0{,}31 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения укрепления обочин не учитывается, так как укрепление предусмотрено растительным грунтом,

$$\Delta V_1 = [1{,}44 - (2{,}17 + 0{,}31)]\, 1{,}0 = -1{,}04 \text{ м}^3.$$

На участке насыпи $L = 55$ м:

$$\Delta V = \Delta V_1 L = (-1{,}04)\, 55 = -57{,}20 \text{ м}^3.$$

Итого земляных работ с учетом объема грунта взамен срезанного под насыпью на рассматриваемом участке насыпи

$$V_н = V_{пр} + V_{с.н} + \Delta V - \Delta V = 746 + 113 + 21 - 57 = 823 \text{ м}^3.$$

Объем отвала растительного грунта

$$V_{р.гр} = V_{с.н} + V_{с.р} = 113 + 136 = 249 \text{ м}^3.$$

Пример. Определить объем земляных работ для участка выемки с пк 11 + 70 до пк 13 · H_{11+70} = 0,84 м; H_{12} = 0,22 м.

Так как в дорожной одежде предусмотрен дренирующий слой, дно кювета должно быть ниже его не менее чем на 0,2 м.

Толщина дорожной одежды $h_{д.о}$ = 0,60 м. Принимаем глубину кювета $h_к$ = 0,8 м.

По таблицам для подсчета объемов земляного полотна [20] в табл. 8 для ΣH = 1,06 м; B = 12 м; L = 30 м и $h_к$ = 0,8 м определяем профильный объем выемки:

$$V_{пр} = 468 + \frac{141 + 282}{2} = 680 \text{ м}^3.$$

Объем срезки растительного грунта на 1 м длины выемки

$$V_{с.в1} = (B + 2nh_к + 2b_к + 2mh_к + 2mH_{ср})\, h_с\, l =$$

$$= \left(12 + 2 \cdot 3 \cdot 0{,}8 + 2 \cdot 0{,}4 + 2 \cdot 4 \cdot 0{,}8 + 2 \cdot 4\, \frac{0 + 0{,}84 + 0{,}22 + 0}{4}\right) 0{,}1 \cdot 1 = 2{,}61 \text{ м}^3.$$

На участке выемки L = 30 м:

$$V_{с.в} = V_{с.в1} L = 2{,}61 \cdot 30 = 78{,}30 \text{ м}^3.$$

Поправка на устройство проезжей части $L = 30$ м

$$\Delta V = \Delta V_1 L = 1{,}04 \cdot 30 = 31{,}20 \text{ м}^3.$$

Итого объем земляных работ

$$V_в = V_{пр} + \Delta V_{\pm} + \Delta V = 680 + 0 + 31 = 711 \text{ м}^3,$$

где $\Delta V_{\pm}$ — поправка на разность рабочих отметок.

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДООТВОДА

Устойчивость и прочность земляного полотна и дорожной одежды существенно зависят от наличия сооружений, обеспечивающих отвод поверхностных и грунтовых вод от дороги. Такие сооружения составляют систему дорожного водоотвода. В нее входят:

поверхностный водоотвод для отвода воды атмосферных осадков — канавы (боковые, водоотводные, нагорные), резервы, лотки, испарительные бассейны;

подземный водоотвод для отвода грунтовых вод — дренаж, капилляропрерывающие прослойки;

водоотвод дорожной одежды — дренирующие слои, трубчатый дренаж.

6.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООТВОДНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Для того чтобы установить на проектируемом участке дороги, где и какие водоотводные сооружения необходимы, нужно иметь план трассы в горизонталях, продольный профиль и принятые типы поперечных профилей.

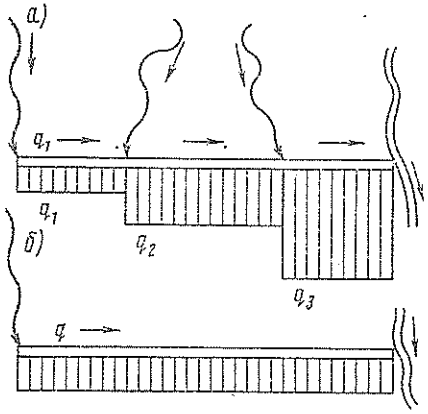


Рис. 6.1. Схемы притока воды к канаве:

а — русла примыкают к канаве в нескольких местах; *б* — русло примыкает в начале канавы

На плане трассы намечают водоотводные сооружения и определяют их водосбо(рные бассейны и уклон лога рис. 6.1—6.4).

В соответствии с принятыми типами поперечных профилей и продольным профилем устанавливают, где могут быть использованы для отвода воды резервы у насыпей, где располагаются выемки, требующие устройства нагорных канав. При этом необходимо знать геологические условия, в которых будут находиться водоотводные сооружения

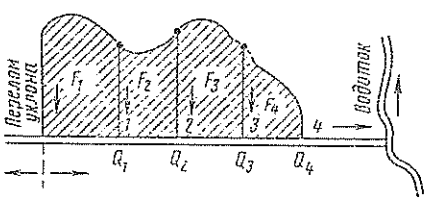


Рис. 6.2. Водосборная площадь канавы

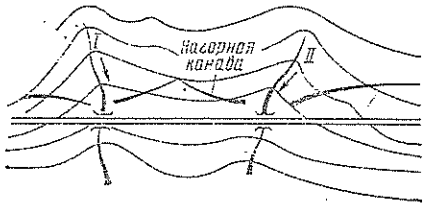


Рис. 6.3. Перехват воды с косогора нагорными канавами

(виды грунтов на площади водосборного бассейна и соответствующие допускаемые скорости течения потока для них). Необходимо также знать гидрологические условия (глубину залегания грунтовых вод и направление их течения, расположение водоносных слоев и глубину залегания водоупоров).

Геологические и гидрологические данные приводятся в задании на проектирование дороги по результатам инженерно-геологических обследований трассы.

Для проектирования системы водоотвода исходной величиной является расчетный расход воды. Поперечные размеры водоотводных устройств поверхностного водоотвода устанавливаются по расчетному расходу заданной нормами вероятности превышения паводка

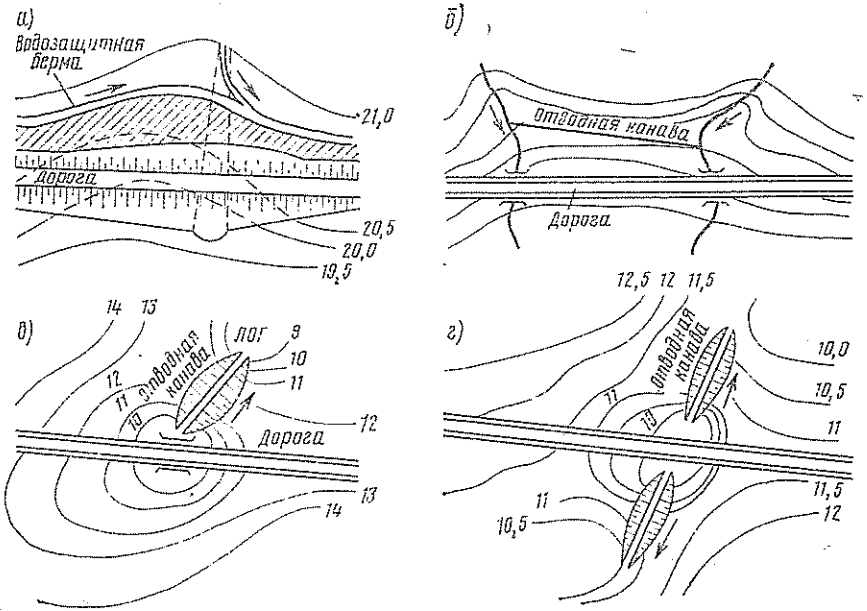


Рис. 6.4. Водоотводные канавы:

а — сбор водоотводной канавой воды из мелких логов; *б* — отвод воды из малого лога; *в, г* — отвод воды из бессточной впадины

Таблица 6.1. Вероятность превышения расчетных расходов

Категория дороги	Вероятность превышения расчетных расходов, %, для	
	кюветов, нагорных канав, водосбросов	прочих водоотводных (продольных и поперечных) канав
I	2	3
II—III	3	6
IV—V	5	10

(табл. 6.1), который можно определить по формуле полного стока

$$Q = 87{,}5 a_{ч} F \alpha, \qquad (6.1)$$

где $a_{ч}$ — интенсивность ливня часовой продолжительности (см. табл. 3.2); F — площадь водосбора, км^2; α — коэффициент стока (см. табл. 3.4).

Если вода в канаву поступает только в ее начале, расход по всей длине канавы будет постоянный (см. рис. 6.1, *б*), а если с нескольких бассейнов (см. рис. 6.1, *а*), то ее рассчитывают отдельными участками по соответствующим суммарным расходам, поступающим с отдельных бассейнов.

Если протяжение водоотвода велико, а бассейн, прилегающий к водоотводу, значительно изменяется, расход воды определяют по характерным участкам. При этом для каждого участка канавы определяют расход по площади бассейна, соответствующей протяжению канавы от ее начала до конца данного расчетного участка (см. рис. 6.2).

Расчетный расход воды для дренажа

$$Q = ql, \qquad (6.2)$$

где q — приток воды на 1 м длины дрены; l — длина рассчитываемого участка дренажа.

Приток воды на 1 м длины дренажа

$$q = Khi_{в}, \qquad (6.3)$$

где K — коэффициент фильтрации, определяемый испытанием образцов грунта; h — глубина воды в слое; $i_{в}$ — уклон водоносного слоя (средний уклон кривой депрессии).

Исходные данные для проектирования сооружений водоотвода заносят в табл. 6.2.

6.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СООРУЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДООТВОДА

Проектирование сооружений поверхностного водоотвода включает в себя: назначение вида водоотводного сооружения; определение продольного уклона; определение размеров поперечного сечения; определение скорости течения воды в сооружении; назначение типа укрепления водоотводных сооружений.

Таблица 6.2. Исходные данные для проектирования водоотвода

№ п/п	Место расположения сооружения: от пк +	Место расположения сооружения: до пк +	Вид водоотводного сооружения	Поверхностный водоотвод										Подземный водоотвод							
				Вл, %	Номер ливневого района	Часовая интенсивность дождя $a_{ч}$	Площадь водосборного бассейна F, км^2	Уклон поверхности земли по трассе водоотвода $i_{з}$, ‰	Грунт покрытия водосборного бассейна	Допускаемая скорость, м/с	Коэффициент α	Расчетный расход Q, м^3/с	Коэффициент фильтрации K	Глубина воды в водоносном слое h, м	Уклон водоносного слоя $i_{в}$, ‰	Глубина залегания водоупора от бровки земляного полотна, м	Приток на 1 м q, м^3/с	Расчетный расход Q, м^3/с	Примечания
1	0+55	3+50	Водоот-водная канава	6	4	0,56	0,12	—	Тяжелый суглинок	1,8	0,70	4,12	—	—	—	—	—	—	—

Назначение вида водоотводного сооружения

Поверхностную воду отводят от дороги в пониженные места рельефа местности или к водопропускным сооружениям продольными или поперечными водоотводными канавами, нагорными канавами, резервами, лотками.

Продольные водоотводные канавы предусматриваются: с нагорной стороны насыпей без резервов; с обеих сторон дороги при поперечном уклоне местности менее 20‰ и высоте насыпи менее 1,5 м, а также на болотах. Расстояние между подошвой откоса насыпи и внутренней бровкой канавы для участков земляного полотна, расположенных на сырых и мокрых местах, назначают из условия, что между бровкой канавы и кромкой проезжей части должно быть не менее 7 м при насыпях из супесей и не менее 3 м — из суглинков и глин.

Для участков, расположенных на сухих местах, при $H_{нас} < 0{,}8$ м разрешается строить водоотводные канавы треугольной формы без берм.

Поперечные водоотводные канавы предусматриваются: для отвода воды из бессточных впадин; для сброса воды в сторону из продольных водоотводных канав на затяжных спусках или с пониженных мест на водоразделах; для отвода воды к поглощающим колодцам и испарительным бассейнам; для подвода или отвода воды у заглубленных труб.

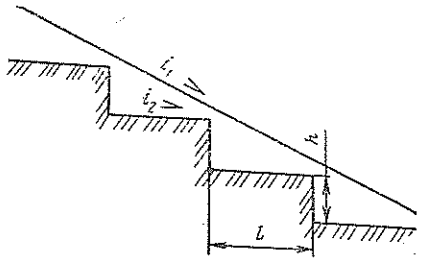


Рис. 6.5. Схема перепада:
l — длина ступени; h — высота ступени; i_1 — уклон поверхности земли; i_2 — уклон дна ступени

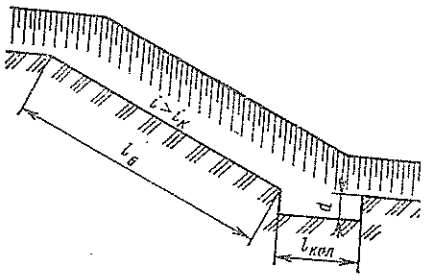


Рис. 6.6. Схема быстротока

Нагорные канавы предусматриваются: вдоль выемок, расположенных на косогоре; вдоль насыпей без резервов, расположенных на косогоре, имеющих значительную площадь водосборного бассейна. Расстояние от бровки нагорной канавы до бровки выемки должно быть не менее 5 м, до подошвы насыпи не менее 2 м.

При значительном уклоне местности и возможности большого притока воды строят две или более нагорные канавы.

Кюветы устраивают с обеих сторон земляного полотна в выемках и насыпях высотой до 1 м.

Можно не делать кюветы в дренирующих грунтах в районах с засушливым климатом. При больших уклонах дна канав

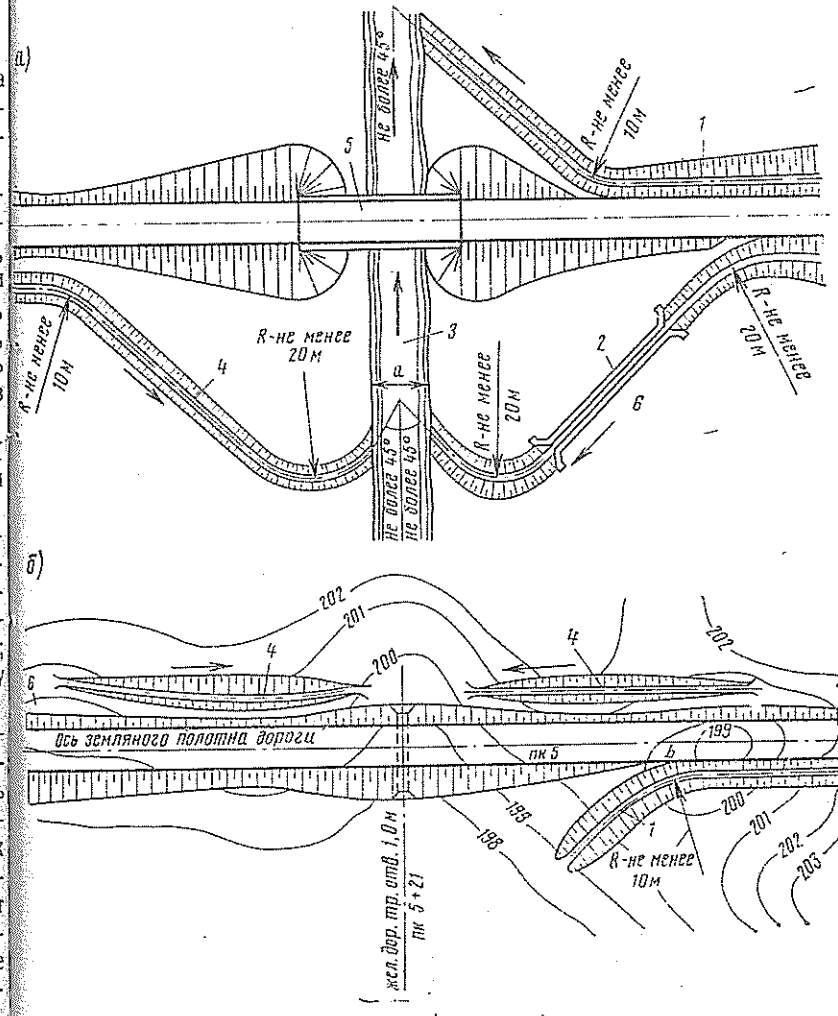


Рис. 6.7. Расположение водоотводных устройств в плане:
а — отвод воды из кюветов и канав в водотоки; *б* — перепуск воды из мелкой лощины к искусственному сооружению; *1* — кювет; *2* — перепады или быстроток; *3* — водоток; *4* — водоотводная канава; *5* — мост; *6* — планировка бермы с уклоном к канаве

и кюветов им придают ступенчатый продольный профиль, устраивая перепады (рис. 6.5). Без гидравлического расчета ориентировочно можно принимать: одноступенчатые перепады без гасителей энергии при продольном уклоне, обеспечивающем получение высоты ступени $h \leqslant 0{,}5$ м; многоступенчатые перепады без гасителей энергии при продольном уклоне 50—60‰; многоступенчатые перепады с гаси-

телями энергии колодезного типа при продольном уклоне более $60‰$ и расходе более 1 м³/с.

Уклон дна ступени перепада, не требующим укрепления, обычно принимают равным $20‰$. Расстояние между уступами

$$l = h/(i_1 - i_2). \quad (6.4)$$

Количество перепадов на длине участка L

$$n = L/l. \quad (6.5)$$

На отдельных участках канав и кюветов, где продольные уклоны в соответствии с уклоном местности принимаются больше критического уклона, необходимо устройство быстротоков (рис. 6.6). Резервы служат для отвода воды с нагорной стороны насыпей при косогорности до 1 : 5.

Лотки строят вдоль кромки дорожной одежды на дорогах I—III категорий на насыпях высотой более 4 м при затяжном продольном уклоне более $30‰$. Через 50—100 м необходимо предусматривать сброс воды из лотков в водоприемные колодцы или лотками по откосам насыпей.

Поглощающие колодцы и испарительные бассейны устраивают в равнинной местности для отвода воды из замкнутых понижений рельефа местности. Если на глубине 3—5 м залегает водопроницаемый грунт, предусматривают водопоглощающие колодцы. В южных степных районах вода сбрасывается в испарительные бассейны.

Выпуск воды из кювета и лотков должен осуществляться в нагорные, водоотводные канавы или в пониженные места рельефа, если это не вызовет заболачивания и застоя воды у земляного полотна. Выпуск воды из канав, резервов и кюветов на склоны лугов допускается при отсутствии угрозы развития оврагов. Спуск воды в кюветы выемок из нагорных канав и резервов, как правило, не допускается. На выпуске канавы раскрываются с уположением откосов.

Повороты канав в плане должны выполняться плавными кривыми радиуса не менее 10 м, а на участках подходов к мостам, трубам, перепадам или быстротокам — не менее 20 м (рис. 6.7).

Если канава примыкает к существующему водотоку, угол между направлением канавы и направлением течения водотока не должен превышать 45°.

Определение продольного уклона сооружений водоотвода

Уклон водоотводных и нагорных канав определяется по плану в горизонталях после назначения вида водоотводных сооружений и нанесения их осей на плане (см. рис. 6.3 и 6.4). Каждый последующий участок канавы должен иметь равный или больший продольный уклон, чем предыдущий: $i_2 \geqslant i_1$. Если $i_2 \leqslant i_1$, во избежание заиливания и перелива воды из канавы перелом продольного профиля дна канавы должен смещаться вниз по течению на длину

$$l = (h_2 - h_1)/i_1. \quad (6.6)$$

Если расход и размеры канавы заданы, продольный уклон дна канавы

$$i = v^2/W^2 = Q^2/\omega^2 W^2, \quad (6.7)$$

где Q — расход, м³/с; W — скоростная характеристика, м/с; ω — площадь живого сечения канавы, м².

Уклон кюветов и лотков насыпей равен продольному уклону тех участков земляного полотна, где они расположены.

Во всех случаях продольный уклон дна канав должен быть не менее $5‰$ (в исключительных случаях $3‰$).

При проектировании следует стремиться к назначению продольных уклонов канав, не вызывающих укреплений их дна и откосов.

Определение размеров поперечного сечения водоотводных сооружений

Размеры поперечного сечения водоотводного сооружения должны соответствовать расчетному расходу, который может пропустить сооружение, и продольному уклону дна.

В зависимости от геометрической формы поперечного сечения основные его размеры определяются по формулам (табл. 6.3).

Ширина по дну принимается равной 0,6 м для нагорных и водоотводных канав и 0,4 м для кюветов. Бровка канавы должна быть не менее чем на 0,2 м выше уровня поверхности воды в канаве, т. е. глубина канавы $H = h + 0{,}2$.

Глубина потока определяется в соответствии с расчетным расходом, продольным уклоном дна, состоянием поверхности дна и стенок русла (коэффициент шероховатости n) методом подбора.

Принимают глубину h и устанавливают:

площадь живого сечения ω, м²;

смоченный периметр χ, м;

гидравлический радиус

$$R = \omega/\chi, \text{ м}; \quad (6.8)$$

коэффициент шероховатости n (табл. 6.4);

скоростную характеристику W, м/с (табл. 6.5);

среднюю скорость

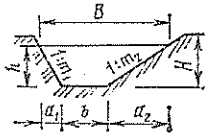
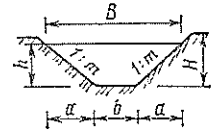
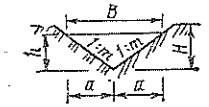
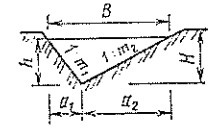
$$v = W\sqrt{i}, \text{ м/с}; \quad (6.9)$$

расход воды

$$Q = \omega v, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (6.10)$$

Сравнивают полученный расход с расчетным и, если разница больше 5 % от расчетного расхода, принимают новое значение глубины потока, и расчет повторяют. Подбор глубины заканчивается,

Таблица 6.3

№ п/п	Геометрическая форма поперечного сечения	Площадь живого сечения	Смоченный периметр	Ширина свободной поверхности потока	Заложение откоса
1		$(b+mh)\,h$	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	$b+2mh$	mh
2		$\left(b+\frac{m_1+m_2}{2}h\right)h$	$b+h\left(\sqrt{1+m_1^2}+\sqrt{1+m_2^2}\right)$	$b+(m_1+m_2)h$	$a_1=m_1h$ $a_2=m_2h$
3		mh^2	$2h\sqrt{1+m^2}$	$2mh$	mh
4		$\frac{h^2}{2}(m_1+m_2)$	$h\sqrt{1+m_1^2}+h\sqrt{1+m_2^2}$	$(m_1+m_2)\,h$	$a_1=m_1h$ $a_2=m_2h$

когда разница между полученным расходом и расчетным будет меньше 5 %.

При использовании резервов как нагорных канав должны производиться гидравлические расчеты их сечений.

При проектировании необходимо стремиться к минимальным размерам сооружений, т. е. к минимальному объему земляных работ. Принимаемые или полученные по расчету размеры должны быть не менее минимально допустимых: ширина по дну после укрепления — не менее 0,5 м для нагорных и водоотводных канав и не менее 0,4 м для кюветов; глубина — не менее 0,6 м для нагорных и водоотводных канав и не менее 0,3 м для кюветов; крутизна откосов должна соответствовать принятым типам поперечных профилей земляного полотна и быть не круче 1 : 1,5.

Таблица 6.4. Коэффициенты шероховатости

Укрепление	Величина n	Укрепление	Величина n
Засев травой или одерновка	0,025	Бетонные плиты	0,017
Мощение	0,020	Неукрепленные канавы	0,030

Таблица 6.5. Скоростные характеристики W

R	Скоростные характеристики при коэффициенте шероховатости								
	0,012	0,014	0,017	0,020	0,025	0,030	0,033	0,040	0,05
0,10	19,1	15,6	12,0	9,75	7,10	5,54	5,60	4,45	3,36
0,12	21,4	17,6	13,6	11,1	8,14	6,36	6,40	5,10	3,86
0,14	23,6	19,5	15,1	12,4	9,15	7,19	7,15	5,71	4,36
0,16	25,6	21,3	16,6	13,6	10,1	7,98	7,90	6,32	4,86
0,18	27,8	23,0	17,9	14,8	11,0	8,76	8,60	6,90	5,75
0,20	29,8	24,8	20,6	16,0	12,0	9,54	9,27	7,50	6,00
0,22	31,8	26,4	21,8	17,1	12,9	10,2	9,95	8,04	6,49
0,24	33,4	27,8	22,0	18,1	13,7	10,9	10,6	8,57	6,62
0,26	35,2	29,4	23,2	19,2	14,5	11,7	11,2	9,12	7,01
0,28	37,0	30,8	24,0	20,3	15,4	12,3	11,9	9,60	7,47
0,30	38,6	32,3	25,2	21,4	16,2	13,1	12,5	10,1	7,88
0,32	40,2	33,6	26,8	22,2	17,0	13,7	13,1	10,7	8,27
0,34	41,8	35,1	27,9	23,2	17,8	14,4	13,7	11,2	8,67
0,36	43,4	36,4	29,0	24,2	18,6	15,0	14,2	11,7	9,05
0,38	44,8	37,6	30,1	25,2	19,3	15,7	14,8	12,1	9,46
0,40	46,4	39,2	31,2	26,2	20,2	16,3	15,4	12,6	9,85
0,45	49,9	42,1	33,8	28,4	21,9	17,9	16,9	13,8	10,8
0,50	53,5	44,6	36,4	30,6	23,8	19,4	18,1	14,9	11,7
0,55	56,8	48,0	39,0	32,6	25,6	20,8	19,4	16,0	12,6
0,60	60,2	51,0	41,4	34,8	27,3	22,4	20,6	17,0	13,5
0,65	63,1	57,3	43,6	36,8	29,0	23,8	22,0	18,1	14,3
0,70	66,1	56,4	45,8	38,7	30,6	25,1	23,2	19,2	15,2
0,75	69,3	59,0	48,1	40,6	32,2	26,6	24,3	20,2	16,0
0,80	72,4	61,6	50,4	42,7	33,9	28,8	25,4	21,2	16,8
0,85	75,1	64,3	52,6	44,5	35,4	29,4	26,7	22,2	17,7
0,90	78,1	66,7	54,8	46,5	37,0	30,8	27,8	23,1	18,4
0,95	80,5	69,0	56,8	48,1	38,5	32,1	28,9	24,1	19,2
1,00	83,3	71,4	58,8	50,0	40,0	33,3	30,0	25,0	20,0

Определение скорости течения воды в водоотводных сооружениях

Скорость течения потока зависит от расхода, продольного уклона дна, размеров поперечного сечения, состояния поверхности дна и откосов.

При известном расходе и размерах живого сечения потока

$$v=Q/\omega, \qquad (6.11)$$

где Q — расход, м³/с; ω — площадь живого сечения потока, м².

Таблица 6.6. **Допускаемые (неразмывающие) скорости для связных грунтов**

Грунт	Разновидность грунта	Донная неразмывающая скорость $v_{доп}$, м/с	Средние неразмывающие скорости v, м/с, при значениях σ для естественных русел		Средние неразмывающие скорости, м/с, при плоском равномерном движении воды и глубине русел, м			
			0,7	0,9	0,2—0,5	1	2	3 и более
Супесь	Малоплотная	0,20	0,30	0,20	0,20	0,25	0,30	0,35
	Среднеплотная	0,30	0,45	0,35	0,30	0,40	0,45	0,50
	Плотная	0,40	0,55	0,45	0,40	0,50	0,55	0,60
	Очень плотная	0,50	0,70	0,55	0,50	0,60	0,70	0,80
Глина и суглинок	Малоплотные	0,35	0,50	0,40	0,35	0,40	0,45	0,50
	Среднеплотные	0,70	1,00	0,80	0,70	0,85	0,95	1,10
	Плотные	1,00	1,40	1,10	1,00	1,20	1,40	1,50
	Очень плотные	1,40	2,00	1,55	1,55	1,40	1,90	2,10
Лёсс	Малоплотный	0,30	0,45	0,35	0,30	0,40	0,45	0,50
	Среднеплотный	0,60	0,85	0,65	0,60	0,70	0,80	0,85
	Плотный	0,80	1,15	0,90	0,80	1,00	1,20	1,30
	Очень плотный	1,10	1,55	1,20	1,10	1,30	1,50	1,70

Таблица 6.7. **Допускаемые скорости течения воды для укреплений**

Тип укрепления	Размер камня, см	Допускаемые скорости течения, м/с, при средней глубине потока, м			
		0,4	1,0	2,0	3,0
Одерновка плашмя	—	0,9	1,1	1,3	1,4
» в стенку	—	1,5	1,8	2,0	2,2
Каменная наброска из булыжника с галькой	7,5	2,0	2,4	2,8	3,1
Грунты, укрепленные битумом	—	2,3	2,7	3,0	3,3
Одиночное мощение на щебне	15	2,5	3,0	3,5	4,0
То же	20	3,0	3,5	4,0	4,5
»	25	3,5	4,0	4,5	5,0
Одиночное мощение с подбором лица и грубым приколом на щебне	20	3,5	4,5	5,0	5,5
То же	25	4,0	4,5	5,5	5,5
»	30	4,5	5,0	6,0	6,0
Двойное мощение из рваного камня на щебне	15—20	3,5	4,5	5,0	5,5
Бутовая кладка из известняка	—	3,0	3,5	4,0	4,5
Бетон марки 150	—	6,0	7,0	8,0	9,0
Бутовая кладка из камня крепких пород	—	6,5	8,0	10,0	12,0
Бетонные лотки	—	12,0	14,0	16,0	18,0

При известном уклоне и размерах живого сечения потока скорость определяют по формуле (6.9).

Расчетное значение скорости потока должно соответствовать виду грунта русла. Для различных видов грунтов установлены допустимые (неразмывающие) средние скорости течения $v_{доп}$ (табл. 6.6).

Если расчетная скорость потока будет больше $v_{доп}$, принимают тип укрепления русла водоотвода, допускаемая скорость для которого соответствует расчетной скорости v (табл. 6.7).

Приведенные в таблицах допускаемые скорости интерполировать не следует. Для промежуточных глубин допускаемые скорости принимаются по ближайшему табличному значению глубины.

Назначение типа укрепления водоотводных сооружений

Чтобы поток воды не размывал русло, при скоростях течения в канавах и кюветах, превышающих допустимые скорости для грунта, предусматривают его укрепление. Назначение типа укрепления зависит от скорости протекания воды, наличия местных материалов, климатических условий (табл. 6.7).

В районах с умеренным и влажным климатом при грунтах, пригодных для произрастания трав, при скорости воды до 1 м/с принимают укрепление засевом травой.

В благоприятных грунтовых и климатических условиях при скорости воды до 3,5 м/с при экономической целесообразности принимают укрепление бетонными плитами, а при агрессивных потоках воды — укрепление грунтом, укрепленным битумом, или асфальтобетонными плитами.

Если сечение канав или кюветов назначают не по гидравлическому расчету, тип укрепления выбирают в зависимости от величины продольного уклона, основываясь на опыте многолетней практики: при продольном уклоне до $10‰$ в песчаных грунтах и до $20‰$ в суглинистых — без укрепления; при уклоне до $30‰$ — одерновка; от 30 до $50‰$ — мощение; более $50‰$ — перепады и лотки.

6.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДРЕНАЖА

Дренаж устраивают в случаях недостаточного возвышения поверхности дорожной одежды над расчетным уровнем грунтовых вод или над поверхностью земли на участках с необеспеченным стоком (см. табл. 4.1), а также в случаях, когда грунтовые воды могут нарушить прочность и устойчивость земляного полотна.

Наиболее распространенными дренажными устройствами земляного полотна являются капилляропрерывающие прослойки (поглощающие, дренирующие и изолирующие) и продольный закрытый трубчатый дренаж.

Дерн или растительный грунт под капилляропрерывающими прослойками необходимо удалить, поверхность спланировать и тщательно уплотнить. При устройстве поглощающих прослоек поверхности должен придаваться продольный уклон не менее $3^0/_{00}$.

Продольный закрытый трубчатый дренаж может быть совершенного и несовершенного типов. Совершенный дренаж служит для перехвата грунтовых вод в основании земляного полотна при залегании водоупора на глубине до 3 м от бровки земляного полотна. При залегании водоупора на глубине более 3 м от бровки земляного полотна предусматривают дренаж несовершенного типа для понижения уровня грунтовых вод под земляным полотном. Трубчатые дрены представляют собой перфорированные трубы диаметром 0,1—0,3 м или трубофильтры, не требующие фильтрующей засыпки.

Наименьший уклон дренажа должен быть в песчаных грунтах $3^0/_{00}$, в глинистых грунтах $2^0/_{00}$. Наибольший уклон должен соответствовать максимально допустимой скорости 1 м/с.

Дренаж можно располагать под откосом насыпи, у подошвы насыпи или в кювете. В выемке дренаж можно располагать в кювете, на берме или откосе.

В проектирование дренажа входят гидрологические расчеты по определению притока воды в дренаж и определению глубины его залегания. Трубчатый дренаж рассчитывается по формулам равномерного движения.

Дренажными устройствами дорожной одежды являются дренирующие слои, устраиваемые из песка, гравия, шлака и других фильтрующих местных материалов. Дренирующие слои предусматриваются: в выемках и невысоких насыпях при неглубоком залегании грунтовых вод; при длительном подтоплении земляного полотна поверхностными водами; на участках с затяжными продольными уклонами и вогнутыми кривыми продольного профиля; при большом количестве осадков.

Дренирующие слои устраивают на всю ширину земляного полотна. На дорогах I—III категорий дренирующий слой может быть устроен на ширину проезжей части и укрепительных полос, а для отвода воды из дренирующего слоя вдоль укрепительной полосы укладывают продольные дрены, из которых вода сбрасывается поперечными дренами. Расстояние между ними определяется расчетом (но не менее чем через 50 м).

На участках с затяжными уклонами для перехвата и отвода воды из дренирующего слоя предусматривают перпендикулярно проезжей части дрены или валики из крупнопористых материалов.

Примеры проектирования системы водоотвода

Пример. Запроектировать сооружения системы водоотвода на II варианте трассы дороги (см. рис. 2.12).

В соответствии с планом трассы и продольным профилем (см. рис. 4.13) намечены необходимые сооружения системы водоотвода (табл. 6.8).

Ведомость укрепления кюветов приведена в табл. 6.9.

Таблица 6.8. **Ведомость сооружений системы водоотвода**

№ п/п	Тип сооружения водоотвода	Участок				Протяженность, м	Примечания
		От пк +		До пк +			
		слева	справа	слева	справа		
1	Двусторонний резерв	0+00	0+00	7+00	7+00	700	
		12+50	12+50	16+75	16+75	425	
		20+00	20+00	29+31	29+31	931	
		36+00	36+00	41+70	41+70	570	
2	Водоотводная канава	—	0+55	—	3+50	295	Взамен трубы
		12+50	—	14+25	—	175	Из бессточной впадины
3	Нагорная канава	—	26+00	—	29+00	300	
4	Кювет	7+00	7+00	8+00	8+00	100	
		8+00	—	11+17	—	317	
		11+17	11+17	12+07	12—07	90	Выемка
		16+75	16+65	18+35	18+35	160	»
		29+31	29+31	30+18	30+18	87	»
		32+78	32+78	34+63	34+63	185	
		34+63	—	36+00	—	137	

Пример. Определить расход воды для водоотводной канавы на пк 0 + 55—пк 3 + 50 II варианта трассы дороги (см. рис. 2.12).

1. Площадь водосборного бассейна

$$F = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{0{,}75 \cdot 0{,}18}{2} + \frac{0{,}35 \cdot 0{,}30}{2} = 0{,}12 \text{ км}^2.$$

2. Вероятность превышения расчетного расхода ВП = $6^0/_{00}$ (см. табл. 6.1).

3. Ливневый район 4 (см. рис. 3.6).

4. Интенсивность ливня часовой продолжительности $a_ч = 0{,}56$ (см. табл. 3.2).

5. Коэффициент стока для тяжелосуглинистого грунта $\alpha = 0{,}70$ (см. табл. 3.4).

6. Расчетный расход воды

$$Q_р = 87{,}5 a_ч F \alpha = 87{,}5 \cdot 0{,}56 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}7 = 4{,}12 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Пример. Определить размеры водоотводной канавы на пк 0 + 55 пк 3 + 50 II варианта трассы, если расчетный расход $Q_р = 4{,}12$ м³/с, а уклон дна канавы принят $3^0/_{00}$.

1. Принимаем трапецеидальную форму канавы (рис. 6.8, *а*) с коэффициентом заложения откосов $m = 1{,}5$, глубиной потока в канаве $h = 1{,}25$ м,

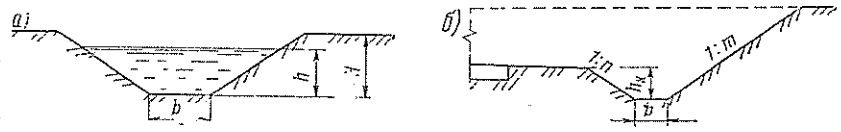


Рис. 6.8. Поперечный разрез:
а — канавы; *б* — кювета выемки

Таблица 6.9. **Ведомость укрепления кюветов**

№ п/п	Участок: От пк +	Участок: До пк +	Участок: Расстояние, м	Уклон	Грунт	Средний периметр, м	Укрепление кюветов	Перепады: Длина l, м	Перепады: Количество n, шт.	Быстротоки	Примечание
1	7+00	8+00	100	23	Суглинок	2,87	Одернов-ка	—	—	—	$h_к=0,3$; $b=0,4$; $m=4$
2	9+00	10+00	100	21	»	2,20	»	—	—	—	$h_к=0,5$; $b=0,4$; $m=1,5$
3	10+00	11+17	117	39	»	2,87	Мощение	—	—	—	$h_к=0,3$; $b=0,4$; $m=4$
4	16+75	18+35	160	51	»	3,28	—	16	10		$l=\frac{0,5}{0,051-0,02}$ $n=160:16$
5	34+63	36+00	137	25	»	2,87	Одернов-ка	—	—	—	$h_к=0,3$; $b=0,4$; $m=4$

шириной дна канавы $b = 0,75$ м и определим для этих значений гидравлические характеристики потока.

2. Площадь живого сечения потока $\omega = h(b + mh) = 1,25(0,75 + 1,5 \cdot 1,25) = 3,28$ м².

3. Смоченный периметр

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} = 0,75 + 2 \cdot 1,25\sqrt{1+1,5^2} = 5,26 \text{ м}.$$

4. Гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{3,28}{5,26} = 0,624 \text{ м}.$$

5. Коэффициент гидравлической шероховатости для неукрепленных канав (см. табл. 6.4) $n = 0,03$.

6. Скоростная характеристика $W = 23,3$ м/с (см. табл. 6.5).

7. Скорость потока

$$v = W\sqrt{i} = 23,3\sqrt{0,003} = 1,28 \text{ м/с}.$$

8. Расход воды в канаве

$$Q = \omega v = 3,28 \cdot 1,28 = 4,20 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Сравниваем полученную величину расхода с расчетной. Разность составляет меньше 5 % от расчетного расхода

$$Q - Q_р = 4,2 - 4,12 = 0,08 < 0,05Q_р = 0,05 \cdot 4,12 = 0,21.$$

Принятая величина глубины потока соответствует расчетному расходу.

9. Глубина канавы

$$H = h + 0,25 = 1,25 + 0,25 = 1,50 \text{ м}.$$

10. Ширина канавы поверху $B = b + 2mh = 0,75 + 2 \cdot 1,5 = 5,25$ м.

Пример. Определить расход воды, который сможет пропустить кювет (рис. 6.8, *б*) в выемке на пк 11 + 17—пк 12 + 07, если принятые размеры кювета: $h_к = 0,8$ м; $b = 0,4$ м; $n = 3$; $m = 4$.

1. Уклон дна кювета (см. рис. 4.13)

$$i = \frac{H_2 - H_1}{l} = \frac{172,69 - 171,35}{90} = 0,015.$$

2. Глубина воды в кювете

$$h = h_к - 0,2 = 0,8 - 0,2 = 0,6 \text{ м}.$$

3. Площадь живого сечения потока

$$\omega = h\left(b + \frac{n+m}{2}h\right) = 0,6\left(0,4 + \frac{3+4}{2}0,6\right) = 1,5 \text{ м}^2.$$

4. Смоченный периметр

$$\chi = b + h(\sqrt{1+n^2} + \sqrt{1+m^2}) = 0,4 + 0,6(\sqrt{1+3^2} + \sqrt{1+4^2}) = 4,77 \text{ м}.$$

5. Гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{1,5}{4,77} = 0,31 \text{ м}.$$

6. Коэффициент гидравлической шероховатости $n = 0,030$.

7. Скоростная характеристика $W = 13,3$ м/с.

8. Скорость потока

$$v = W\sqrt{i} = 13,3\sqrt{0,015} = 1,63 \text{ м/с}.$$

9. Расход воды, который сможет пропустить кювет,

$$Q = \omega v = 1,5 \cdot 1,63 = 2,45 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Пример. Определить уклон, который нужно придать дну нагорной канавы на участке трассы II варианта от пк 26 до пк 29, если расчетный расход воды в канаве $Q_р = 0,57$ м³/с, принятые размеры канавы $H = 0,6$ м; $b = 0,5$ м; $m = 1,5$, форма канавы трапецеидальная.

1. Глубина воды в канаве

$$h = H - 0,2 = 0,6 - 0,2 = 0,4 \text{ м}.$$

2. Площадь живого сечения потока

$$\omega = h(b + mh) = 0,4(0,5 + 1,5 \cdot 0,4) = 0,44 \text{ м}^2.$$

3. Смоченный периметр

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} = 0,5 + 2 \cdot 0,4\sqrt{1+1,5^2} = 1,94 \text{ м}.$$

4. Гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{0,44}{1,94} = 0,23 \text{ м}.$$

5. По площади водосборного бассейна видно (см. рис. 2.12), что уклон вдоль трассы меньше 20‰, т. е. предусматривать укрепление нагорной канавы не требуется. Коэффициент гидравлической шероховатости $n = 0,030$.

6. Скоростная характеристика $W = 10,65$ м/с.

7. Уклон, который нужно придать дну канавы,

$$i = \frac{Q_р^2}{\omega^2 W^2} = \frac{0,57^2}{0,44^2 \cdot 10,65^2} = 0,015 = 15‰.$$

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Дорожные одежды по механическим свойствам разделяются на жесткие (основной слой обладает значительным стабильным сопротивлением изгибу) и нежесткие (сопротивление изгибу зависит от температуры и влажности и значительно меньше, чем у жесткой одежды).

Жесткие дорожные одежды состоят из железобетонных плит (цементобетонные покрытия), уложенных на песчаное или другое основание. Проектирование жестких дорожных одежд основано на теории плит, лежащих на упругом основании. Определение размеров плит сводится к определению изгибающих моментов, срезывающих и нормальных сил при воздействии на нее расчетной нагрузки. Без детального расчета толщину плит можно принимать ориентировочно следующих размеров.

Категория дороги	I	II	III
Толщина плиты см	22—24	20—22	18—20

Толщина песчаного основания назначается в пределах 15—35 см в зависимости от вида грунта земляного полотна и дорожно-климатической зоны.

К нежестким относятся все дорожные одежды, кроме цементобетонных. Проектирование нежестких дорожных одежд основано на использовании теории упругости и сводится к расчетам по трем критериям — сдвигу, растяжению при изгибе и упругому прогибу с установлением толщины каждого конструктивного слоя.

Конструкция дорожных одежд разработана в типовом проекте «Дорожные одежды автомобильных дорог общей сети СССР».

В данной главе рассматривается проектирование нежестких дорожных одежд.

7.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Исходными данными для проектирования дорожных одежд являются: категория проектируемой дороги; перспективная интенсивность и состав движения; ежегодный рост интенсивности в процентах; местные природные условия района проектирования — дорожно-климатическая зона; тип местности по характеру поверхностного стока и степени увлажнения; вид грунта земляного полотна, на котором будет располагаться дорожная одежда; наличие местных дорожно-строительных материалов; тип дорожного покрытия; группа расчетного автомобиля, соответствующая проектируемой категории дороги.

Установление типа местности по характеру увлажнения изложено в п. 4.1.

Вид грунта земляного полотна и наличие местных дорожно-строительных материалов устанавливают по заданию, а при реальном проектировании — по данным инженерно-геологического обследования трассы.

Интенсивность и ее ежегодный рост, а также состав движения устанавливают в задании на проектирование дороги по материалам экономических изысканий.

Тип дорожного покрытия принимают в соответствии с категорией дороги, интенсивностью и составом движения:

усовершенствованный капитальный — на автомобильных дорогах I, II категорий, а при экономическом обосновании и на дорогах III и IV категорий;

усовершенствованный облегченный — на дорогах III категории и на дорогах IV категории при интенсивности движения более 500 авт./сут;

переходный — на дорогах IV категории при интенсивности менее 500 авт./сут;

низший тип — на дорогах V категории.

Для автомобильных дорог I—III категорий за расчетный принимают автомобиль группы А с параметрами:

$T=100$ кН — статическая нагрузка на одиночную ось;

$P=0{,}6$ МПа — давление на покрытие;

$D=37$ см — расчетный диаметр следа колеса.

Для IV и V категорий дорог за расчетный принимают автомобиль группы Б с параметрами $T=60$ кН; $P=0{,}5$ МПа; $D=32$ см.

Для приведения разных марок автомобилей к расчетному установлены коэффициенты приведения.

7.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И ТРЕБУЕМОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ

Расчет дорожных одежд производится на расчетный период, который принимают равным: для усовершенствованных покрытий капитального типа 15 лет; для усовершенствованных покрытий облегченного типа 10 лет; для переходных покрытий 8 лет.

Таблица 7.1. Коэффициент увеличения интенсивности движения m

Год эксплуатации дороги	Величина m при ежегодном росте интенсивности движения, %											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	1,08	1,17	1,27	1,37	1,48	1,59	1,72	1,85	1,98	2,14	2,30	2,48
10	1,11	1,22	1,34	1,48	1,63	1,79	1,97	2,16	2,36	2,59	2,84	3,11
15	1,16	1,35	1,56	1,80	2,08	2,40	2,76	3,17	3,64	4,18	4,79	5,47
20	1,22	1,49	1,81	2,19	2,65	3,21	3,87	4,66	5,60	6,73	8,06	9,65

Таблица 7.2. Расчетные характеристики для различных марок автомобилей

Марка транспортного средства	Грузоподъемность, т	Нагрузка на покрытие от колеса, кН				Расстояние между осями задней тележки трехосных автомобилей L, м	Среднее давление от заднего колеса на покрытие P, МПа	Диаметр следа заднего колеса для расчета дорожной одежды на действие автомобиля, см		Суммарный коэффициент для приведения автомобиля к расчетным нормированным нагрузкам для групп	
		переднего		заднего							
		неподвижного $Q_н^п$	движущегося $Q_д^п$	неподвижного $Q_н$	движущегося $Q_д$			неподвижного $D_н$	движущегося $D_д$	А $S_{сум.\ А}$	Б $S_{сум.\ Б}$
Грузовые автомобили											
УАЗ-451	1,0	12	156	15,0	19,5	—	0,27	27	30	0,00	0,06
ГАЗ-53А	4,0	9	118	28,0	36,3	—	0,53	26	30	0,08	0,74
ЗИЛ-133Г1	8,0	20,9	27,1	27,5	35,8	1,40	0,35	32	36	0,30	2,43
ЗИЛ-130	5,0	12,9	16,7	34,8	45,2	—	0,60	27	31	0,20	1,94
Урал-4320	5,0	21,8	28,3	2,27	29,5	1,40	0,32	30	34	0,14	1,14
КрАЗ-257Б1	12,0	23,0	29,9	45,0	58,5	1,40	0,50	34	39	2,71	—
МАЗ-516Б	14,5	28,5	37,0	45,0	58,5	1,46	0,55	32	37	2,46	—
МАЗ-500А	8,0	2,41	31,4	50,0	65,0	—	0,65	31	36	1,04	—
ЗИЛ-130-76	6,0	13,1	17,1	39,5	51,4	—	0,60	29	33	0,36	—
КамАЗ-5320	8,0	21,9	28,5	27,3	35,5	1,32	0,45	28	32	0,27	2,25
КрАЗ-2556	7,5	27,2	35,4	35,6	46,2	1,40	0,35	36	41	1,10	—
Седельные тягачи											
КамАЗ-5410	8,1	20,8	27,1	27,4	35,6	1,32	0,45	28	32	0,27	2,21
Урал-377СН	7,5	18,2	23,7	27,3	35,5	1,40	0,36	31	35	0,28	2,22
МАЗ-504А	7,75	21,9	28,4	50,0	65,0	—	0,65	31	36	1,03	—
КАЗ-608Б	4,5	14,0	18,2	29,6	38,5	—	0,60	25	29	0,10	0,98
Урал-375С-К1	5,5	20,2	26,3	22,7	29,5	1,40	0,32	30	34	0,13	1,07
ЗИЛ-157КВ	4,35	14,7	19,1	18,2	23,6	1,12	0,35	26	29	0,05	0,41
КрАЗ-255В	8,0	27,4	35,6	33,4	43,4	1,40	0,35	35	40	0,83	—
ЗИЛ-131В	5,0	17,8	23,1	20,3	26,4	1,25	0,30	29	34	0,09	0,72
КрАЗ-258Б1	12,0	22,1	28,7	43,7	56,8	1,40	0,50	33	38	2,34	—
Автомобили-самосвалы											
ГАЗ-САЗ-53Б	3,50	9,0	11,7	28,0	36,4	—	0,53	26	30	0,08	0,74
ЗИЛ-ММЗ-554	4,00	13,9	18,1	32,5	42,2	—	0,60	26	30	0,15	1,46
КамАЗ-5511	10,00	22,4	29,1	36,1	47,0	1,32	0,45	32	37	1,05	—
МАЗ-503А	8,00	26,2	34,1	50,0	65,0	—	0,65	31	36	1,06	—
КрАЗ-256Б1	12,00	22,6	29,4	47,1	61,3	1,40	0,50	35	40	3,48	—
Прицепы общего назначения											
ГКБ-817	5,50	20,1	26,1	20,1	26,1	—	0,60	21	24	0,04	0,34
МАЗ-8926	8,00	30,0	39,0	30,0	39,0	—	0,55	26	30	0,21	2,00
ГКБ-8350	8,00	14,4	18,7	14,4	18,7	—	0,38	22	25	0,01	0,08
Полуприцепы общего назначения											
ОдАЗ-9370	14,20	—	—	27,5	35,8	1,32	0,36	31	36	0,30	2,38
КАЗ-717	11,50	—	—	27,5	35,8	1,37	0,30	34	39	0,32	2,53
МАЗ-5245	13,50	—	—	50,0	65,0	—	0,48	36	42	1,00	—
Автобусы											
ПАЗ-3201	—	13,2	17,2	22,6	29,4	—	0,30	31	35	0,03	0,31
ЛАЗ-695Н	—	19,9	25,9	37,2	48,4	—	0,50	31	35	0,29	—
ЛАЗ-699Н	—	23,4	30,4	39,8	51,7	—	0,50	32	36	0,40	—
ЛАЗ-4202	—	20,5	26,7	46,5	60,5	—	0,75	28	32	0,75	—
ЛиАЗ-677	—	28,7	37,3	41,6	54,1	—	0,675	28	32	0,53	—
Икарус-250	—	28,0	36,4	47,9	62,3	—	0,650	31	35	0,91	—

Примечания: 1. Для седельных тягачей в гр. 2 вместо грузоподъемности указана максимальная допустимая нагрузка на седельно-сцепное устройство.

2. Прочерк в гр. 11 или 12 означает, что данное транспортное средство не следует приводить к расчетной интенсивности воздействия нагрузок транспортных средств групп А или Б, поскольку наибольшая нагрузка на колесо данного транспортного средства превышает нормированную более чем на 20%.

Суммарная интенсивность движения в обоих направлениях на конец расчетного периода

$$N_{\text{сум, п}} = \frac{N_{20}}{m_{20}} m_n, \qquad (7.1)$$

где N_{20} — перспективная интенсивность движения на 20-й год; m_{20}, m_n — коэффициент, показывающий увеличение интенсивности движения данного года (20-го или n-го) относительно интенсивности первого года эксплуатации дороги (табл. 7.1).

За расчетную принимают интенсивность движения в сутки по одной наиболее загруженной полосе проезжей части. Расчетная интенсивность движения зависит от числа полос движения и принимается: $N_{\text{рас}} = N_{\text{сум.п}}$ — для дорог с однополосной проезжей частью; $N_{\text{рас}} = 0{,}7N_{\text{сум.п}}$ — для двух- и трехполосной проезжей части; $N_{\text{рас}} = 0{,}35N_{\text{сум.п}}$ — для четырехполосной проезжей части.

Расчетная, приведенная к расчетному автомобилю, интенсивность движения

$$N_{\text{рас.пр}} = N_{\text{рас}} P_1 S_1 + N_{\text{рас}} P_2 S_2 + \ldots, \qquad (7.2)$$

где P_1, P_2 — относительная часть автомобилей разных марок в общем составе движения, доли процента; S_1, S_2 — коэффициенты приведения автомобилей разных марок к расчетному автомобилю (табл. 7.2).

Нагрузка от массы автомобиля передается на дорожную одежду через площадь контакта колес. Для облегчения расчета принимают площадь контакта равной кругу, площадь которого эквивалентна (равна) площади давления колес.

Диаметр эквивалентного круга

$$D = 1{,}08\sqrt{\frac{Q}{p}}, \qquad (7.3)$$

где Q — нагрузка на колесо, кН; p — давление от автомобиля, МПа.

Под воздействием автомобиля дорожная одежда деформируется (прогибается). Деформация дорожной одежды состоит из упругой деформации, исчезающей после проезда автомобиля, и остаточной.

Относительная деформация выражает отношение измеренного прогиба l к диаметру эквивалентного круга:

$$\lambda_{\text{общ}} = \frac{l}{D}; \quad \lambda_{\text{упр}} = \frac{l_{\text{упр}}}{D}. \qquad (7.4)$$

Таблица 7.3. **Минимально допустимые значения $E_{\text{тр}}$**

Категория дороги	Количество расчетных автомобилей в сутки на одну полоску		Покрытие		
	Группа А	Группа Б	капитальное	усовершенствованное облегченное	переходное
I	500	—	230	—	—
II	150	—	200	180	—
III	70	—	180	160	—
IV	—	70	—	125	65
V	—	50	—	100	50

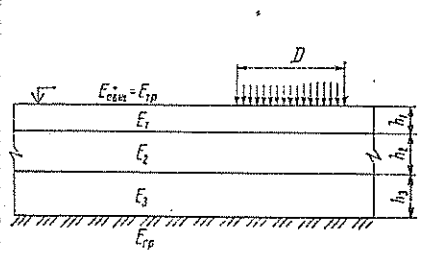


Рис. 7.1. Схема приведения многослойной конструкции к двухслойной

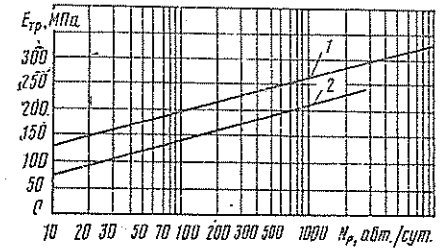


Рис. 7.2. Требуемые модули упругости:

1 — для нагрузки группы А; *2* — для нагрузки группы Б

Отношение удельного давления от автомобиля к вызываемой им упругой деформации называется модулем упругости

$$E = \frac{p}{\lambda_{\text{упр}}}. \qquad (7.5)$$

Каждый слой дорожной одежды имеет свой модуль упругости (рис. 7.1), соответствующий материалу, из которого он устроен, и характеризующий жесткость слоя, его прочность. Прочность многослойной дорожной одежды характеризует общий модуль упругости $E_{\text{общ}}$, который должен быть равным требуемому модулю упругости $E_{\text{тр}}$.

Требуемый модуль упругости может быть определен по номограмме (рис. 7.2) по значению $N_{\text{рас. пр}}$.

Требуемые модули упругости, полученные по номограмме, сравнивают с минимально допустимыми значениями модулей упругости (табл. 7.3) и за расчетный принимают большее значение.

7.3. НАЗНАЧЕНИЕ ВАРИАНТОВ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

При проектировании автомобильных дорог назначают не менее двух вариантов конструкции дорожной одежды и на основании технико-экономического сравнения принимают лучший из них.

Варианты конструкции дорожной одежды следует принимать по типовому проекту в соответствии с намеченным типом покрытия, требуемым модулем упругости, дорожно-климатической зоной, типом местности по характеру увлажнения, видом грунта земляного полотна, наличием дорожно-строительных материалов. При этом необходимо принимать конструкцию, у которой число слоев, составляющих дорожную одежду, и их толщина были бы по возможности меньшими, а соотношение модулей упругости смежных слоев в пре-

делах 1,5—3,5, но не более 6. Толщина слоев должна быть не менее минимально допустимых значений, при которых обеспечивается их нормальная работа:

Асфальтобетон или дегтебетон крупнозернистый, см	6—7
То же мелкозернистый, см	4—5
» песчаный, см	3—4
Щебеночные (гравийные) материалы и грунты, обработанные органическими вяжущими, см	8
Щебень, обработанный по способу пропитки, см	8
Щебеночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими, см:	
на песчаном основании	15
на прочном основании (каменном или из укрепленного грунта)	8
Грунты и малопрочные каменные материалы, обработанные органическими или неорганическими вяжущими, см	10

Примечание. Большие толщины асфальтобетонных покрытий — для дорог I—II категорий, меньшие — для дорог III—IV категорий.

7.4. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПО УПРУГОМУ ПРОГИБУ

Расчет выполняют с использованием номограммы (рис. 7.3), составленной на основании решения задачи теории упругости для двухслойного полупространства. Каждый слой дорожной одежды последовательно рассматривается как верхний слой со своим значением модуля упругости $E_в$, а вся нижележащая конструкция соответственно для каждого слоя —как нижний слой с модулем упругости $E_н$ (рис. 7.4).

Номограмма связывает величины модулей упругости верхнего $E_в$ и нижнего $E_н$ слоев, относительную величину верхнего слоя $h_в/D$ и величину общего модуля упругости на поверхности двухслойной системы $E_{общ}$.

Зная отношения $h_в/D$ и $E_н/E_в$, по номограмме можно найти отношение $E'_{общ}/E_в = n$ (рис. 7.5, *а*), откуда $E_{общ} = nE_в$.

Если известны отношения $h_в/D$ и $E_{общ}/E_в$, можно найти по номограмме отношение $E'_{общ}/E_в = n'$ (рис. 7.5, *б*), откуда $E'_{общ} = n'E_в$.

Если известны отношения $E_н/E_в$ и $E_{общ}/E_в$, можно найти по номограмме отношение $h_б/D = n''$ (рис. 7.5, *в*), откуда $h_в = n''D$.

В зависимости от поставленной задачи расчет конструкций дорожных одежд можно вести с верхних слоев к нижним с определением толщины нижнего слоя или в обратном направлении с определением общего модуля упругости конструкции дорожной одежды, а также определить толщину промежуточного слоя, ведя расчет сверху до рассчитываемого слоя, а затем снизу.

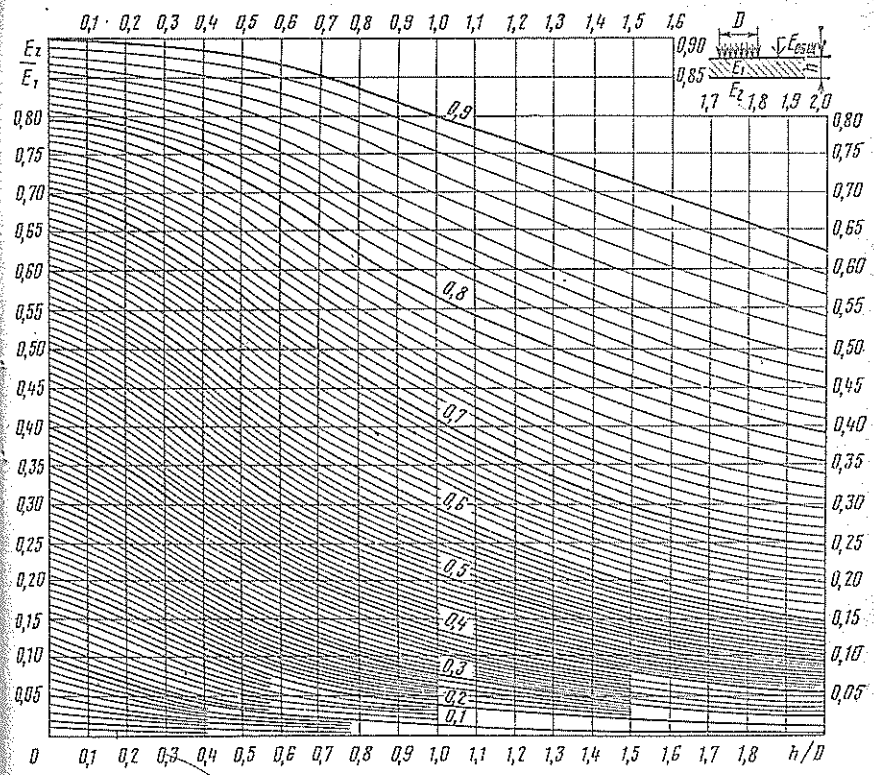


Рис. 7.3. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{общ}$ двухслойной системы (цифры на кривых обозначают отношение модуля упругости двухслойной системы к модулю верхнего слоя)

Рис. 7.4. Схема к расчету дорожной одежды по номограмме 7.3

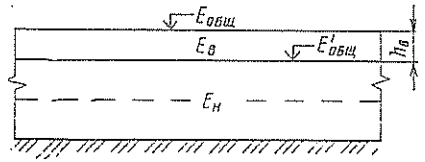
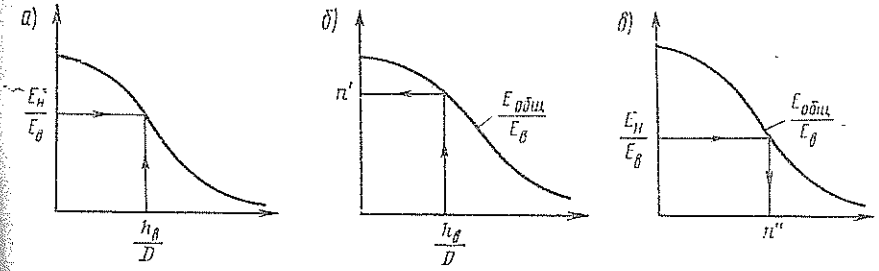


Рис. 7.5. Схемы для получения определяемых значений по номограмме 7.3



7.5. РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА СДВИГ

В процессе эксплуатации дорожной одежды сдвиг может произойти в подстилающем грунте земляного полотна и в промежуточных конструктивных слоях дорожной одежды из слабосвязанных материалов (гравийных, песчаных и грунтов, укрепленных жидкими вяжущими).

Условие прочности при расчете на сдвиг

$$K_{пр} \leqslant K_{сдв} = \frac{T_{доп}}{T}, \qquad (7.6)$$

где $K_{пр}$ — минимальное значение коэффициента прочности, соответствующее проектному уровню надежности $K_н$ (табл. 7.4); $K_{сдв}$ — коэффициент прочности на сдвиг; $T_{доп}$ — допускаемое напряжение сдвига, обусловленное сцеплением в грунте или слабосвязном материале слоя; T — активное напряжение сдвига от действующей кратковременной нагрузки.

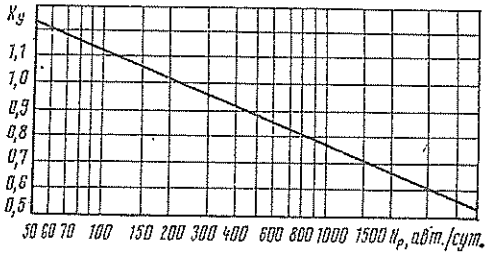


Рис. 7.6. График для определения коэффициента усталости K_2

Рис. 7.7. Номограмма для определения активных напряжений сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы

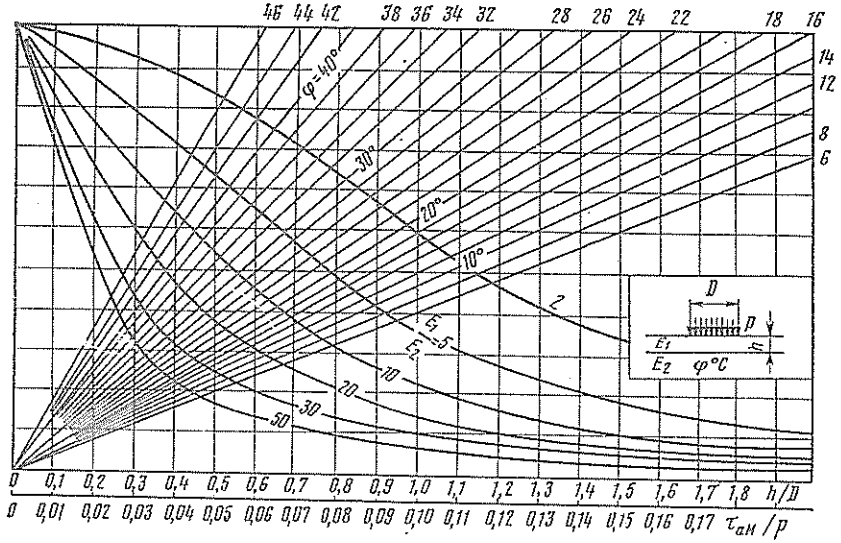
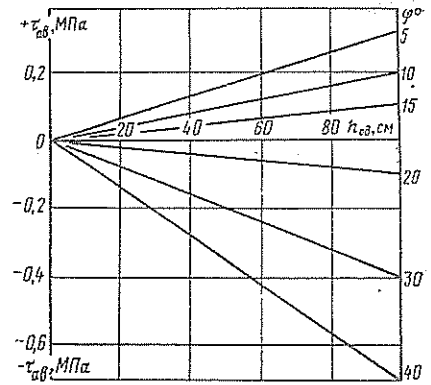


Рис. 7.8. График для определения активных напряжений сдвига от соответственной массы одежды



Допускаемое напряжение сдвига

$$T_{доп} = CK_1 K_2 K_3, \qquad (7.7)$$

где C — расчетное сцепление в активной зоне;

$$C = \overline{C}(1 - \theta\nu_c); \qquad (7.8)$$

$\overline{C}$ — сцепление; $\nu_c = 0{,}15$ — коэффициент вариации сцепления; $K_1 = 0{,}6$ — коэффициент, учитывающий снижение сопротивления сдвигу; K_2 — коэффициент неоднородности условий работы одежды, определяют по графику (рис. 7.6); K_3 — коэффициент, учитывающий особенности работы грунта в конструкции; принимается в зависимости от грунта земляного полотна:

Глинистые грунты (глины, суглинки, супеси, кроме крупной)	1,5
Пески пылеватые, супеси крупные	4,0
Пески:	
мелкие	6,5
средней крупности	8,0
крупные	9,2

Активное напряжение сдвига определяется как сумма напряжения сдвига от временной нагрузки $t_н$ и напряжения сдвига от собственной массы дорожной одежды $t_в$:

$$T = t_н + t_в, \qquad (7.9)$$

где $t_н$ — определяют по номограмме (рис. 7.7); $t_в$ — определяют по графику (рис. 7.8).

Таблица 7.4. **Величины уровня надежности и коэффициента прочности**

Тип одежды и покрытия	Категория дороги	$K_н$	$K_{пр}$
Капитального типа с усовершенствованным покрытием	I, II III	0,95 0,90	1,0 0,94
Облегченного типа с усовершенствованным покрытием	II III, IV	0,90 0,85	0,94 0,90
Переходные	IV, V	0,60	0,63

7.6. РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ

Под воздействием нагрузки дорожная одежда изгибается, а в слоях из монолитных материалов (асфальтобетона, дегтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими материалами и др.) возникает растяжение.

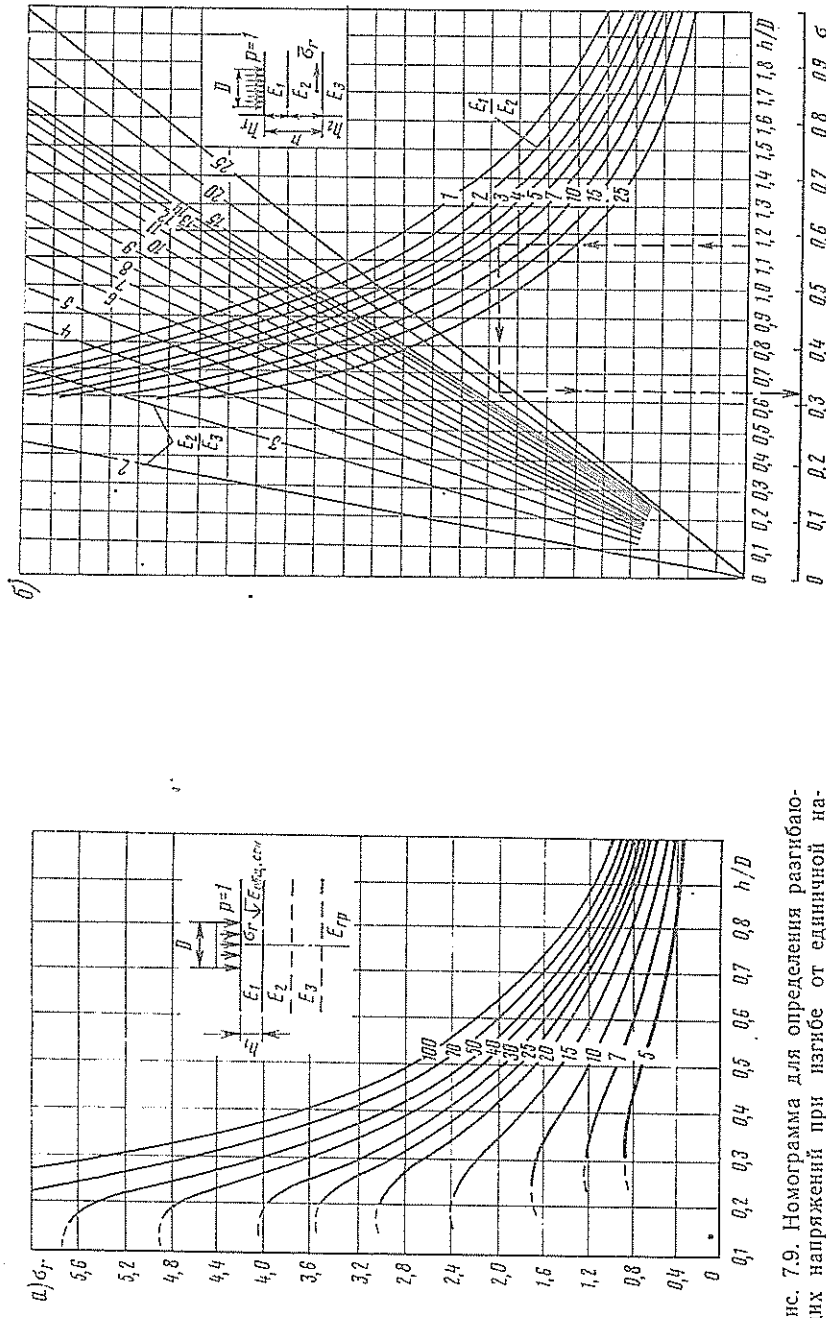


Рис. 7.9. Номограмма для определения разгибающих напряжений при изгибе от единичной нагрузки:
а — в верхнем монолитном слое (цифры на кривых — отношение $E_1/E_{общ.сл}$); *б* — в промежуточном монолитном слое (цифры на кривых — отношение E_1/E_2, а на двух кривых E_2/E_3)

Условие прочности монолитного слоя при растяжении во время изгиба одежды выражается зависимостью

$$K_{пр} \leqslant K_{изг} = \frac{R_н}{\sigma_r}, \qquad (7.10)$$

где $K_{изг}$ — коэффициент прочности на растяжение при изгибе; $R_н$ — предельно допустимое растягивающее напряжение материала слоя с учетом усталостных явлений (см. табл. 7.7 и 7.8); σ_r — наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое;

$$\sigma_r = p\bar{\sigma}_r, \qquad (7.11)$$

где p — давление на покрытие от расчетного автомобиля, МПа; $\bar{\sigma}_r$ — растягивающее напряжение; определяется по номограмме (рис. 7.9).

Пример проектирования дорожной одежды

Исходные данные

1. Категория проектируемой дороги — III.
2. Перспективная интенсивность движения на 20-й год N_{20} = 2400 авт./сут.
3. Состав движения: ЗИЛ-130 — 45 %; МАЗ-500А — 7; КамАЗ-5511 — 10; ЗИЛ-ММЗ-554 — 15; КрАЗ-256Б1 — 5; автобусы ЛиАЗ-677 — 7; легковые — 11 %.
4. Ежегодный рост интенсивности движения — 10 %.
5. Дорожно-климатическая зона — II.
6. Тип местности по характеру увлажнения — 1.
7. Вид грунта земляного полотна — тяжелый суглинок.
8. Наличие дорожно-строительных материалов — песок, гравийно-песчаная смесь, битум, цемент, асфальтобетон.
9. Тип дорожного покрытия, соответствующий условиям проектирования — усовершенствованный капитальный и облегченный.
10. Расчетный автомобиль группы А.
11. Требуемый уровень надежности и соответствующий ему коэффициент прочности (табл. 7.4):

$K_н$ = 0,90; $K_{пр}$ = 0,94 — для усовершенствованного капитального типа покрытия;

$K_н$ = 0,85; $K_{пр}$ = 0,90 — для усовершенствованного облегченного типа покрытия.

Определение расчетной интенсивности движения и требуемого модуля упругости

1. Интенсивность движения грузовых машин и автобусов на перспективный 20-й год

$$N_{20} = 2400 \cdot 0{,}89 = 2136 \text{ авт./сут.}$$

2. Суммарная интенсивность движения на конец расчетного периода

$$N_{сум15} = \frac{N_{20}}{m_{20}} m_{15} = \frac{2136}{6{,}727} 4{,}177 = 1326 \text{ авт./сут.}$$

3. Расчетная интенсивность движения на одну полосу

$$N_{рас} = 0{,}7 N_{сум15} = 0{,}7 \cdot 1326 = 928 \text{ авт./сут.}$$

4. Расчетная, приведенная к расчетному автомобилю, интенсивность движения

$$N_{\text{рас.пр}} = 928 \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}20 + 928 \cdot 0{,}07 \cdot 1{,}04 + 928 \cdot 0{,}1 \cdot 1{,}05 + \\ + 928 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}15 + 928 \cdot 0{,}05 \cdot 3{,}48 + 928 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}53 = 465 \text{ авт./сут.}$$

5. Требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}} = 237$ МПа (см. рис. 7.2).

6. Минимальный модуль упругости (см. табл. 7.3): $E_{\min} = 180$ МПа — для покрытия усовершенствованного капитального типа; $E_{\min} = 160$ МПа — для покрытия усовершенствованного облегченного типа.

Так как $E_{\text{тр}} > E_{\min}$, принимаем для проектируемой дорожной одежды $E_{\text{тр}} = 237$ МПа.

Назначение конструкции дорожной одежды

В соответствии с исходными данными, расчетной приведенной интенсивностью движения и требуемым модулем упругости по типовому проекту принимаем два варианта дорожной одежды:

вариант 1 — покрытие усовершенствованного капитального типа (покрытие — среднезернистый асфальтобетон $h_1 = 4$ см; крупнозернистый асфальтобетон $h_2 = 8$ см; основание — гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом $h_3 = 20$ см; песок $h_4 = 30$ см);

вариант 2 — покрытие усовершенствованного облегченного типа (покрытие — фракционированный щебень, обработанный вязким битумом $h_1 = 8$ см с одиночной поверхностной обработкой; основание — подобранный гравийный материал, укрепленный цементом $h_2 = 28$ см; песок $h_3 = 20$ см).

В качестве примера рассмотрим расчет первого варианта дорожной одежды. Характеристики материалов слоев дорожной одежды приведены в табл. 7.5.

Расчет дорожной одежды по упругому прогибу

Так как проектируемая дорога расположена во II дорожно-климатической зоне, толщину песчаного дренирующего слоя изменять нежелательно. Поэтому при расчете прочности дорожной одежды по упругому прогибу установим необходимую толщину третьего слоя из гравийно-песчаной смеси, укрепленной цементом.

1. Расчетное значение влажности грунта

$$W_{\text{р}} = \overline{W}(1 + 0\nu_{\text{м}}),$$

где $\overline{W}$ — нормативное значение влажности грунта (табл. 7.11); 0 — коэффициент нормативного отклонения зависит от уровня проектной надежности $K_{\text{н}}$:

$K_{\text{н}}$	0,85	0,90	0,95	0,98	0,99
0	1,06	1,32	1,71	2,19	2,49

$\nu_{\text{м}}$ — коэффициент вариации; $\nu_{\text{м}} \approx 0{,}1$.

$$W_{\text{р}} = 0{,}62(1 + 1{,}32 \cdot 0{,}1) = 0{,}70.$$

2. Расчетное значение модуля упругости грунта

$$E_{\text{гр}} = \overline{E}_{\text{гр}}(1 - 0\nu_E), \qquad (7.13)$$

где $\overline{E}_{\text{гр}}$ — нормативное значение модуля упругости грунта, соответствующее $W_{\text{р}}$ (см. табл. 7.10); ν_E — коэффициент вариации модуля упругости грунта (табл. 7.12).

$$E_{\text{гр}} = 41(1 - 1{,}32 \cdot 0{,}07) = 37 \text{ МПа}.$$

Таблица 7.5. Характеристики материалов

№ слоя	Материал слоя и грунтземляного полотна	Источник	Расчет по: упругому прогибу	Расчет по: сопротивлению сдвигу	Расчет по: сопротивлению растяжению при изгибе
1	Среднезернистый горячий асфальтобетон типа А, I марки, на битуме БНД 60/90	Табл. 7.6 10 °С 20 °С табл. 7.7	$E_1 =$ 3200 МПа — —	— $E_1 =$ $= 1800$ МПа —	— — $E_1 =$ $= 4500$ МПа $R_1 =$ $= 2{,}8$ МПа
2	Пористый горячий асфальтобетон на битуме БНД 60/90	Табл. 7.6 10 °С 20 °С табл. 7.7	$E_2 =$ 2000 МПа — —	— $E_2 =$ $= 1200$ МПа —	— — $E_2 =$ $= 2800$ МПа $R_2 =$ $= 1{,}6$ МПа
3	Гравийно-песчаная смесь неоптимального состава, укрепленная цементом (II класс прочности)	Табл. 7.8	$E_3 =$ $= 450$ МПа	$E_3 = 450$ МПа	$E_3 =$ $= 450$ МПа $R_3 = 0.25$
4	Песок средней крупности	Табл. 7.9	$E_4 =$ $= 120$ МПа	$E_4 = 120$ МПа; $\varphi_4 = 40°$; $C_4 = 0{,}005$	—
5	Суглинок тяжелый	Табл. 7.10	$E_{\text{гр}} =$ $= 41$ МПа	$E_{\text{гр}} = 41$ МПа; $\varphi_{\text{гр}} = 18°$; $C_{\text{гр}} = 0{,}019$	—

Таблица 7.6. Нормативные величины кратковременного модуля упругости

Материал	Марка битума	Модуль упругости при температуре покрытия, °С: 10	20	30	40	50 (60)
Плотный асфальтобетон:						
горячий	БНД 40/60	4400	2600	1300	690	430
	БНД 60/90	3200	1800	900	550	380
	БНД 90/130	2400	1200	660	440	350
теплый	БНД 130/200	1500	800	560	380	320
	БНД 200/300	1200	600	420	350	300

Продолж. табл. 7.6

Материал	Марка битума	Модуль упругости при температуре покрытия, °С				
		10	20	30	40	50 (60)
холодный	БГ 70/130	1000	400	350	300	300
	СГ 130/200	900	400	350	300	300
	СГ70/130	800	350	300	250	250
	МГ70/130	800	350	300	250	250
Пористый и высокопористый асфальтобетон:						
горячий, в том числе битумопесчаная смесь	БНД 40/60	2800	1700	900	540	430
	БНД 60/90	2000	1200	600	460	380
	БНД 90/130	1400	800	510	380	350
теплый	БНД 130/200	1100	590	410	340	320
	БНД 200/300	950	460	350	300	300
Плотный дегтебетон	—	3800	1500	800	500	350
Пористый дегтебетон	—	2000	800	400	350	300

Примечание. За расчетную температуру принимают при расчете по упругому прогибу 10 °С; при расчете по сдвигу во II дорожно-климатической зоне 20 °С, в III зоне 30 °С, в IV 40 °С, в V 50 °С.

Таблица 7.7. **Нормативные значения характеристик, используемых в расчетах на изгиб**

Материал	Марка битума	Модуль упругости E, МПа	Сопротивление растяжению при изгибе R, МПа
Плотный асфальтобетон I—II марки	БНД 40/60	6000	3,2
	БНД 60/90	4500	2,8
	БНД 90/130	3600	2,4
	БНД 130/200	2600	2,0
	БНД 200/300	2000	1,8
	БГ 70/130	1700	1,7
	СГ 130/200	1500	1,6
Пористый асфальтобетон:			
горячий	БНД 40/60	3600	1,8
	БНД 60/90	2800	1,6
	БНД 90/130	2200	1,4
теплый	БНД 130/200	1800	1,2
	БНД 200/300	1400	1,1
Высокопористый асфальтобетон из каменных материалов изверженных пород, в том числе битумопесчаная смесь	БНД 40/60	3000	1,1
	БНД 60/90	2100	1,0
	БНД 90/130	1700	0,9
Плотный дегтебетон	—	10 000	2,5
Пористый дегтебетон	—	5 000	1,5

Таблица 7.8. **Расчетные значения характеристик материалов и грунтов, укрепленных вяжущими**

Материал	Модуль упругости E, МПа	Прочность на растяжение при изгибе R, МПа
Щебеночный и гравийный, обработанный цементом марки:		
75	1000	0,7
60	900	0,6
40	700	0,5
Золошлаковая смесь, укрепленная вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	300—350	0,45—0,50
То же, укрепленная цементом в количестве, %:		
6	100	0,20
8	150	0,25
10	200	0,30
Крупнообломочные грунты и гравийно-песчаные смеси оптимального состава, укрепленные цементом:		
I класс прочности	800—550	0,46—0,34
II » »	530—350	0,33—0,25
III » »	320—280	0,22—0,20
То же, укрепленные активной золой уноса или гранулированным шлаком, известью и др.:		
I класс прочности	700—530	0,40—0,32
II » »	500—330	0,31—0,22
III » »	300—250	0,20—0,18
То же, укрепленные комплексными вяжущими:		
I класс прочности	900—700	0,45—0,55
II » »	650—500	0,42—0,32
III » »	450—300	0,25—0,32
То же, укрепленные вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	250—350	0,35—0,30
Крупнообломочные грунты и гравийно-песчаные смеси неоптимального состава, гравелистый, крупный и среднезернистый песок, укрепленные цементом:		
I класс прочности	700—500	0,40—0,30
II » »	480—330	0,28—0,22
III » »	300—250	0,19—0,18
То же, укрепленные комплексными вяжущими:		
I класс прочности	800—650	0,50—0,42
II » »	600—450	0,40—0,32
III » »	420—280	0,31—0,24
Малопрочный каменный материал и отходы камнедробления, укрепленные цементом в количестве, %:		
4	200	0,15
6	350	0,25
8	450	0,32
10	550	0,40

Продолж. табл. 7.8

Материал	Модуль упругости E, МПа	Прочность на растяжение при изгибе R, МПа
Пески мелкие и пылеватые, легкая супесь, укрепленные цементом:		
I класс прочности	450—480	0,35—0,26
II » »	450—300	0,25—0,18
III » »	260—220	0,16—0,13
Супеси тяжелые пылеватые, суглинки легкие и пылеватые, укрепленные минеральными вяжущими и цементом:		
I класс прочности	500—350	0,22—0,16
II » »	350—230	0,16—0,12
III » »	200—120	0,09—0,07

Таблица 7.9. Характеристики грунта при кратковременном нагружении

Грунт	Модуль упругости $E_{гр}$, МПа	Угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$, град	Сцепление $C_{гр}$, МПа
Песок крупный, гравелистый	130	42	0,005
» средней крупности	120	40	0,005
» мелкий	100	38	0,005
» одномерный (барханный)	75	33	0,005
Супесь легкая крупная	65	40	0,005

Таблица 7.10. Характеристики глинистых грунтов и пылеватых песков

Грунт	Обозначение и единица измерения характеристики	Значения характеристик при влажности грунта, доли									
		0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Супесь легкая	$\overline{E}_{гр}$, МПа	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
	$\varphi_{гр}$, град	37	36	36	36	35	35	34	34	33	33
	$\overline{C}_{гр}$, МПа	0,015	0,014	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007
Песок пылеватый, супесь пылеватая легкий пылеватый	$\overline{E}_{гр}$, МПа	96	90	84	78	72	66	60	54	48	43
	$\varphi_{гр}$, град	38	38	37	37	36	35	34	33	32	31
	$\overline{C}_{гр}$, МПа	0,026	0,024	0,022	0,018	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008
Суглинок легкий и тяжелый, глина	$\overline{E}_{гр}$, МПа	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
	$\varphi_{гр}$, град	32	27	24	21	18	15	13	11	10	9
	$\overline{C}_{гр}$, МПа	0,045	0,036	0,030	0,024	0,019	0,015	0,011	0,009	0,006	0,004
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый	$\overline{E}_{гр}$, МПа	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	$\varphi_{гр}$, град	32	27	24	21	18	15	13	11	10	9
	$\overline{C}_{гр}$, МПа	0,045	0,036	0,030	0,024	0,016	0,013	0,010	0,008	0,005	0,004

Примечание. $\overline{E}_{гр}$ — нормативный модуль упругости грунта; $\varphi_{гр}$ — углы внутреннего трения грунта; $\overline{C}_{гр}$ — сцепление грунта.

Таблица 7.11. Нормативные величины влажности грунта для равнинного рельефа

Дорожно-климатическая зона и подзона	Тип местности по условиям увлажнения	Влажность грунта			
		Супесь легкая	Песок пылеватый, супесь пылеватая	Суглинок легкий и тяжелый, глины	Супесь тяжелая пылеватая, суглинок пылеватый
II_1	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,63	0,65	0,68	0,73
	3	0,65	0,67	0,70	0,75
II_2	1	0,57	0,59	0,62	0,67
	2	0,60	0,62	0,65	0,70
	3	0,62	0,64	0,67	0,72
III	1	0,55	0,57	0,60	0,63
	2—3	0,59	0,61	0,63	0,67
IV	1	0,53	0,55	0,57	0,60
	2—3	0,57	0,58	0,60	0,64
V	1	0,52	0,53	0,54	0,57
	2—3	0,55	0,56	0,57	0,60

Примечание. Для горных и предгорных районов табличные значения увеличивают для II дорожно-климатической зоны на 5 %, для III на 10 %, для IV на 12 %, для V зоны на 5 %.

3. Общий модуль упругости на поверхности второго слоя:

$$\frac{h_1}{D}=\frac{4}{37}=0,11;\quad \frac{E_{общ}}{E_1}=\frac{237}{3200}=0,07.$$

По номограмме (см. рис. 7.3) находим

$$\frac{E'_{общ}}{E_1}=0,06;\quad E'_{общ}=0,06\cdot 3200=192\ \text{МПа}.$$

4. Общий модуль упругости на поверхности третьего слоя:

$$\frac{h_2}{D}=\frac{8}{37}=0,22;\quad \frac{E'_{общ}}{E_2}=\frac{192}{2000}=0,096.$$

Таблица 7.12. Коэффициент вариации модуля упругости грунта

Грунт	$\overline{\nu}\ E$ при влажности	
	0,6—0,75	0,75—0,90
Песок крупный, гравелистый, средней крупности, мелкий; песок барханный; супесь легкая, песок пылеватый, супесь тяжелая	0,005	0,06
Супесь легкая	0,006	0,07
Суглинок легкий и тяжелый, глины	0,007	0,08
Супесь пылеватая, суглинок легкий пылеватый	0,008	0,09

По номограмме находим

$$\frac{E''_{общ}}{E_2}=0,07;\quad E''_{общ}=0,07\cdot 2000=140\ МПа.$$

5. Общий модуль упругости на поверхности четвертого слоя:

$$\frac{h_4}{D}=\frac{30}{37}=0,81;\quad \frac{E_{гр}}{E_4}=\frac{37}{120}=0,31.$$

По номограмме находим

$$\frac{E'''_{общ}}{E_4}=0,57;\quad E'''_{общ}=0,57\cdot 120=68\ МПа.$$

6. Определим необходимую толщину третьего слоя:

$$\frac{E''_{общ}}{E_3}=\frac{140}{450}=0,31;\quad \frac{E'''_{общ}}{E_3}=\frac{168}{450}=0,15.$$

По номограмме находим

$$\frac{h_3}{D}=0,58;\quad h_3=0,58\cdot 37=22\ см.$$

7. Общая толщина дорожной одежды

$$h_{д.о}=4+8+22+30=64\ см.$$

Расчет сопротивления сдвигу в подстилающем грунте

1. Средний модуль упругости одежды

$$E_{ср}=\frac{E_1h_1+E_2h_2+E_3h_3+E_4h_4}{h_1+h_2+h_3+h_4};\qquad (7.14)$$

$$E_{ср}=\frac{1800\cdot 4+1200\cdot 8+450\cdot 22+120\cdot 30}{64}=473\ МПа.$$

2. Расчетное значение модуля упругости грунта

$$E_{гр}=\overline{E}_{гр}(1+\theta v_E)=41\,(1+1,32\cdot 0,07)=45\ МПа.$$

3. Напряжение сдвига от временной нагрузки:

$$\frac{E_{ср}}{E_{гр}}=\frac{473}{45}=10,5;\quad \frac{\Sigma h}{D}=\frac{64}{37}=1,73;\quad \varphi_{гр}=18°.$$

По номограмме (см. рис. 7.7) находим

$$t=\frac{t_н}{p}=0,007;\quad t_н=0,007\cdot 0,6=0,004.$$

4. Напряжение сдвига от массы одежды:
для $h_{до}=64$ см и $\varphi_{гр}=18°$ по графику (см. рис. 7.8) находим $t_в=0,003$.

5. Суммарное напряжение сдвига в грунте

$$T=t_н+t_в=0,004+0,003=0,007.$$

6. Расчетная величина сцепления в активной зоне

$$C_{гр}=\overline{C}_{гр}(1-\theta v_c)=0,019\,(1-1,32\cdot 0,15)=0,015.$$

7. Коэффициент неоднородности условий работы одежды:
для $N_{рас.\ пр}=465$ авт./сут по графику (см. рис. 7.6) находим $K_2=0,88$.

8. Коэффициент, учитывающий особенности работы грунта в конструкции: для тяжелого суглинка $K_3=1,5$.

9. Допускаемое сдвигающее напряжение в грунте

$$T_{доп}=C_{гр}K_1K_2K_3=0,015\cdot 0,6\cdot 0,88\cdot 1,5=0,012.$$

10. Коэффициент прочности по сдвигу

$$K_{сдв}=\frac{T_{доп}}{T}=\frac{0,012}{0,007}=1,7>K_{пр}=0,94.$$

Напряжение сдвига в грунте значительно меньше допускаемого сдвигающего напряжения.

Расчет сопротивления сдвигу в песчаном слое основания

1. Средний модуль упругости одежды, расположенной выше слоя песка

$$E_{ср}=\frac{1800\cdot 4+1200\cdot 8+450\cdot 22}{4+8+22}=\frac{26\,700}{34}=785\ МПа.$$

2. Напряжение сдвига от временной нагрузки:

$$\frac{E_{ср}}{E_{общ}}=\frac{785}{68}=11,5;\quad \frac{\Sigma h}{D}=\frac{34}{37}=0,92;\quad \varphi=40°.$$

По номограмме (см. рис. 7.7) находим

$$t=\frac{t_и}{p}=0,018;\quad t_н=0,018\cdot 0,6=0,011.$$

3. Напряжение сдвига от массы одежды:
для $h_{д.о}=34$ см и $\varphi=40°$ по графику (см. рис. 7.8) находим $t_в=0,0023$.

4. Суммарное напряжение сдвига в песчаном слое

$$T=t_н+t_в=0,011+0,0023=0,013.$$

5. Расчетная величина сцепления в активной зоне

$$C_н=C_4(1-\theta v_c)=0,005\,(1-1,32\cdot 0,15)=0,004.$$

6. Коэффициент неоднородности условий работы одежды $K_2=0,88$ (см. рис. 7.6).

7. Коэффициент, учитывающий особенности работы грунта в конструкции: для песка $K_3=8$.

8. Допускаемое сдвигающее напряжение в песке

$$T_{доп}=C_пK_1K_2K_3=0,004\cdot 0,6\cdot 0,88\cdot 8=0,017.$$

9. Коэффициент прочности по сдвигу

$$K_{\text{сдв}} = \frac{T_{\text{доп}}}{T} = \frac{0{,}017}{0{,}013} = 1{,}3 > K_{\text{пр}} = 0{,}94.$$

Устойчивость на сдвиг в песчаном слое обеспечена.

Расчет сопротивления растяжению при изгибе асфальтобетонного покрытия

1. Расчетная величина модуля упругости для слоев асфальтобетонного покрытия: $E_1 = 4500$ МПа; $E_2 = 2800$ МПа.

2. Средний модуль упругости двухслойного асфальтобетона

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_{\text{р1}} h_1 + E_{\text{р2}} h_2}{h_1 + h_2} = \frac{4500 \cdot 4 + 2800 \cdot 8}{4 + 8} = 3367 \text{ МПа}.$$

3. Растягивающее напряжение в асфальтобетоне:

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{общ}}} = \frac{3367}{140} = 24; \quad \frac{h_1 + h_2}{D} = \frac{12}{37} = 0{,}32.$$

По номограмме (см. рис. 7.9) находим $\bar{\sigma}_r = 2{,}6$ МПа; $\sigma_r = p\sigma_r = 0{,}6 \cdot 2{,}6 = 1{,}56$ МПа.

4. Допускаемое растягивающее напряжение для нижнего слоя асфальтобетонного покрытия

$$R_{\text{доп}} = \bar{R}\,(1 - 0v_R)\,K_{\text{у}}\,K_{\text{м}}, \qquad (7.15)$$

где $\bar{R}$ — нормативное значение сопротивления растяжению при изгибе (см. табл. 7.6); $v_k = 0{,}1$ — коэффициент вариации; $K_{\text{у}}$ — коэффициент усталости (рис. 7.10); $K_{\text{м}}$ — коэффициент снижения прочности от воздействия природных факторов; принимается для асфальтобетонных смесей I и II марок $K_{\text{м}} = 1$, для III марки — 0,8, для IV марки — 0,7;

$$R_{\text{доп}} = 1{,}6\,(1 - 1{,}32 \cdot 0{,}1)\,1{,}1 \cdot 1 = 1{,}53 \text{ МПа}.$$

5. Коэффициент прочности на растяжение при изгибе

$$K_{\text{изг}} = \frac{R_{\text{доп}}}{\sigma_r} = \frac{1{,}53}{1{,}56} = 0{,}98 > K_{\text{пр}} = 0{,}94,$$

т. е. устойчивость на растяжение при изгибе обеспечена.

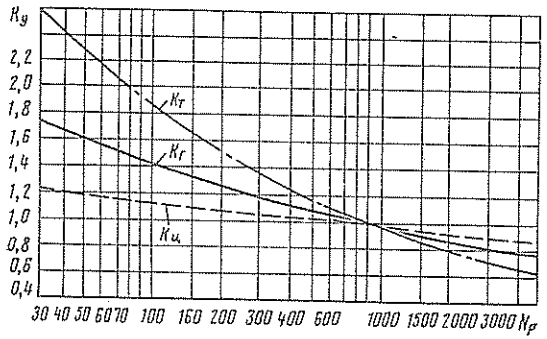


Рис. 7.10. Коэффициенты, учитывающие повторность нагружения:
$K_т$ — для теплого высокопористого асфальтобетона; $K_г$ — для горячего асфальтобетона; $K_ц$ — для материалов и грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими

Расчет сопротивления растяжению при изгибе промежуточного слоя одежды

1. Расчетное значение модуля упругости

$$E_{\text{р}} = E_{\text{з}} = 450 \text{ МПа}.$$

2. Средний модуль упругости верхних слоев

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_{\text{р1}} h_1 + E_{\text{р2}} h_2}{h_1 + h_2} = \frac{4500 \cdot 4 + 2800 \cdot 8}{4 + 8} = 3367 \text{ МПа}.$$

3. Растягивающее напряжение в слое:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{з}}} = \frac{3367}{450} = 7{,}5;$$

$$\frac{E_2}{E_{\text{з}}} = \frac{E_{\text{з}}}{E'''_{\text{общ}}} = \frac{450}{68} = 6{,}6; \quad \frac{\Sigma h}{D} = \frac{4 + 8 + 22}{37} = \frac{34}{37} = 0{,}92.$$

По номограмме (см. рис. 7.9, *б*) находим $\bar{\sigma}_r = 0{,}16$

$$\sigma_r = p\bar{\sigma}_r = 0{,}6 \cdot 0{,}16 = 0{,}096.$$

Допускаемое растягивающее напряжение для гравийно-песчаной смеси, укрепленной цементом (см. табл. 7.5), $R_{\text{доп}} = 0{,}25$ МПа, т. е. условие на растяжение при изгибе обеспечено.

Таблица 7.13. **Поперечные уклоны проезжей части**

Категория дороги и число полос движения	Поперечный уклон, ‰, в климатических зонах			
	I	II, III	IV	V
Дороги 1*а* и 1*б* категорий:				
а) при двухскатном поперечном профиле каждой полосы	15	20	25	15
б при односкатном профиле:				
первая и вторая полоса	15	20	20	15
третья и последующие полосы	20	25	25	20
Дороги II—IV категорий	15	20	20	15

Примечание. На гравийных и щебеночных покрытиях поперечный уклон принимают 25—30‰, а на покрытиях из грунтов, укрепленных местными материалами, 30—40‰.

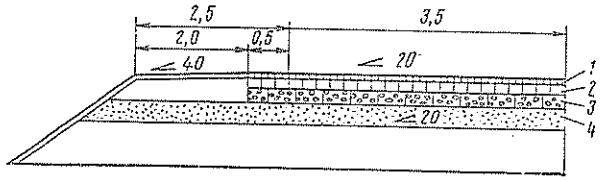


Рис. 7.11. Конструкция дорожной одежды:
1 — среднезернистый асфальтобетон 4 см; *2* — горячий пористый асфальтобетон 8 см; *3* — песчано-гравийная смесь, укрепленная цементом 22 см; *4* — песок 30 см

Детальное изображение конструкции запроёктированной дорожной одежды показано на рис. 7.11. Поперечный уклон проезжей части зависит от категории дороги и дорожно-климатической зоны (табл. 7.13).

7.7. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Сравнение вариантов дорожной одежды выполняют по суммарным затратам, приведенным к исходному году. За год приведения затрат принимают последний год строительства дороги. Срок сравнения для вариантов принимают одинаковым и равным сроку службы дорожной одежды до первого капитального ремонта наиболее долговечного варианта.

Суммарные приведенные затраты для каждого варианта дорожной одежды включают в себя следующие основные затраты, связанные непосредственно с самой дорогой.

1. Капитальные вложения в строительство дорожной одежды K_0.

2. Суммарные приведенные затраты на капитальный ремонт дорожной одежды

$$\sum_{1}^{n} K_{кр} \frac{1}{(1+E_{нп})^{t_{кр}}},$$

где n — количество капитальных ремонтов за срок сравнения; $K_{кр}$ — затраты на капитальный ремонт; $\frac{1}{(1+E_{нп})_t}$ — коэффициент приведения затрат будущих лет к исходному году; $E_{нп} = 0{,}08$ — нормативный коэффициент приведения; $t_{кр}$ — год осуществления капитального ремонта.

3. Суммарные приведенные затраты на средний ремонт дорожной одежды

$$\sum_{1}^{m} C_{ср.р} \frac{1}{(1+E_{нп})^{t_{ср.р}}},$$

где m — количество средних ремонтов за срок сравнения; $C_{ср.р}$ — затраты на средний ремонт; $t_{ср.р}$ — год осуществления среднего ремонта.

4. Суммарные приведенные затраты на текущий ремонт и содержание дорожной одежды

$$\sum_{1}^{t_{ср}} C_{тр} \frac{1}{(1+E_{нп})^{t}},$$

где $t_{ср}$ — срок сравнения; $C_{тр}$ — затраты на текущий ремонт и содержание; t — период времени от года приведения затрат до года, когда эти затраты осуществляются.

Для каждого варианта дорожной одежды суммарные приведенные затраты на 1000 м² могут быть ориентировочно определены по формуле, учитывающей не все единовременные и текущие затраты,

$$P_{пр} = \frac{E_н}{E_{нп}} \left[K_0 + \sum_{1}^{n} K_{кр} \frac{1}{(1+E_{нп})^{t_{кр}}} \right] + \sum_{1}^{m} C_{ср.р} \frac{1}{(1+E_{нп})^{t_{ср.р}}} + \sum_{1}^{t_{ср}} C_{тр} \frac{1}{(1+E_{нп})^{t}}, \qquad (7.16)$$

где $E_н = 0{,}12$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Чем меньше суммарные приведенные затраты, тем экономичн ее вариант.

Пример сравнения вариантов дорожной одежды

Исходные данные

1. Конструкция сравниваемых вариантов дорожной одежды: I вариант — среднезернистый асфальтобетон 4 см; крупнозернистый асфальтобетон 8 см; гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом 22 см; песок 30 см; II вариант — одиночная поверхностная обработка; черный щебень 8 см; гравий, обработанный цементом 28 см; песок 20 см.

Таблица 7.14. **Межремонтные сроки эксплуатации дорог**

Тип дорожных покрытий	Межремонтные сроки, лет		Тип дорожных покрытий	Межремонтные сроки, лет	
	капитальный ремонт	средний ремонт		капитальный ремонт	средний ремонт
Цементобетонные	30	10	Грунтовые, обработанные органическими вяжущими	9	3
Асфальтобетонные	18	6			
Из битумоминеральных смесей	12	4			
Щебеночные и гравийные	9	3	Грунтовые улучшенные	6	3

Таблица 7.15. Укрупненные показатели стоимости конструктивных слоев дорожной одежды

Наименование слоя	Стоимость 1000 м² при толщине слоя 10 см, тыс. руб.
Мелкозернистый горячий асфальтобетон	3,86
Среднезернистый » »	3,51
Крупнозернистый » »	3,04
Теплый асфальтобетон	3,16
Холодный »	2,93
Цементобетон	3,63
Горячий черный щебень	2,69
Щебень, обработанный по способу пропитки	2,11
Песок, обработанный битумной эмульсией в сочетании с цементом	1,05
Щебень, обработанный битумной эмульсией в сочетании с цементом	1,76
Гравийный материал, обработанный битумной эмульсией в сочетании с цементом	1,64
Щебень, обработанный цементом (5—7%)	1,87
Гравий, обработанный цементом (5—7%)	1,76
Гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом	1,64
Грунт, обработанный цементом (6—10%)	0,76
Песок, укрепленный цементом (5—6%)	0,94
Щебень, устраиваемый по способу заклинки	1,40
Гравий, » » » »	1,17
Гравийная смесь, укрепленная золами уноса (20%) и цементом (4—5%)	1,52
Песок, укрепленный золами уноса (20%) и цементом (5%)	0,82
Золошлаковые смеси, укрепленные цементом или известью (5—6%)	0,70
Подобранные гравийные смеси с добавлением 3% щебня	1,29
Гравийный материал, укрепленный гранулированным шлаком (20—30%)	1,05
Щебень, укрепленный золами уноса	1,40
Песчаные слои	0,59
Шлак по способу заклинки	0,94
Грунтощебень	0,94
Поверхностная обработка (без учета толщины слоя):	
одиночная	0,35
двойная	0,59
черной каменной мелочью	0,82

2. Год приведения затрат (срок окончания строительства дороги) — 1985 г.

3. Межремонтные сроки (табл. 7.14):

для капитального ремонта $t^{I}_{к.р} = 18$ лет; $t^{II}_{к.р} = 12$ лет;

для среднего ремонта $t^{I}_{ср.р} = 6$ лет; $t^{II}_{ср.р} = 4$ года.

4. Срок сравнения вариантов дорожной одежды $t_{ср} = 18$ лет, следовательно, расчетным будет 2003 г.

Расчет

1. Капитальные вложения в строительство дорожной одежды:

$$K_0 = \frac{C_1}{10} h_1 + \frac{C_2}{10} h_2 + \frac{C_3}{10} h_3 + \frac{C_4}{10} h_4,$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 — стоимость слоев дорожной одежды по укрупненным показателям на 1000 м² при толщине слоя 10 см (табл. 7.15); h_1, h_2, h_3, h_4 — толщина слоев.

$$K^{I}_0 = \frac{3,51}{10} 4 + \frac{3,04}{10} 8 + \frac{1,64}{10} 22 + \frac{0,59}{10} 30 = 9,21 \text{ тыс. руб.},$$

$$K^{II}_0 = 0,35 + \frac{2,69}{10} 8 + \frac{1,76}{10} 28 + \frac{0,59}{10} 20 = 8,61 \text{ тыс. руб.}.$$

2. Суммарные приведенные затраты на капитальный ремонт дорожной одежды.

За срок сравнения (18 лет) дорожная одежда как I^1, так и II вариантов будет ремонтироваться капитально только 1 раз соответственно через 18 и 12 лет ($t^{I}_{к.р} = 18$; $t^{II}_{к.р} = 12$).

Стоимость капитального ремонта 1 м² (табл. 7.16) для обоих вариантов одинакова: $K^{I}_{к.р} = K^{II}_{к.р} = 3,68$ руб/м².

Таблица 7.16. Расчетные показатели затрат на капитальный, средний и текущий ремонты и содержание дорожной одежды и обочин

Категория дороги	Покрытие	Стоимость нового строительства, руб/м²	Стоимость одного ремонта, руб/м²			Норма затрат на один ремонт, %, к стоимости строительства		
			капитального	среднего	текущего и содержание за год	капитальный	средний	текущий и содержание за год
II	Цементобетонное	14,42	4,93	0,59	0,04549	34,2	4,1	0,3155
	Асфальтобетонное	11,72	4,93	0,59	0,06486	42,0	5,1	0,5490
III	Асфальтобетонное	8,52	3,68	0,60	0,06092	43,2	7,0	0,7150
	Щебеночное, обработанное бутумом, с поверхностной обработкой	7,55	3,68	0,60	0,07385	48,7	7,9	0,9781
VI	Гравийное, обработанное битумом на месте, с поверхностной обработкой	4,50	2,23	0,38	0,08616	49,6	8,4	1,915
	Щебеночное с двойной поверхностной обработкой	4,48	2,38	0,40	0,07123	53,1	9,0	1,590

Таблица 7.17. Коэффициент для приведения затрат будущих лет к базисному году

t	$1:(1+E_{нп})^t$	t	$1:(1+E_{нп})^t$	t	$1:(1+E_{нп})^t$	t	$1:(1+E_{нп})^t$
1	0,926	6	0,630	11	0,429	16	0,292
2	0,858	7	0,583	12	0,397	17	0,270
3	0,794	8	0,540	13	0,368	18	0,250
4	0,735	9	0,500	14	0,340	19	0,232
5	0,681	10	0,463	15	0,315	20	0,215

Коэффициент приведения (табл. 7.17) для I варианта принимается на 18-й год, для II варианта на 12-й год.

Стоимость капитальных ремонтов 1000 м² дорожной одежды:

$$\sum_{1}^{n^{I}} K^{I}_{к.р} \frac{1}{(1+E_{нп})^{t^{I}_{к.р}}} = 3,68 \cdot 0,25 = 0,92 \text{ тыс. руб.};$$

$$\sum_{1}^{n^{II}} K^{II}_{к.р} \frac{1}{(1+E_{нп})^{t^{II}_{к.р}}} = 3,68 \cdot 0,397 = 1,46 \text{ тыс. руб.}$$

3. Суммарные приведенные затраты на средний ремонт дорожной одежды.

За срок сравнения (18 лет) дорожная одежда I варианта будет ремонтироваться средним ремонтом на 6-й и 12-й годы, II варианта — на 4-, 8- и 16-й годы эксплуатации. Соответственно для этих лет берутся и значения коэффициентов приведения (см. табл. 7.17).

Стоимость среднего ремонта 1 м² берется из табл. 7.16.

Суммарные приведенные затраты на средний ремонт 1000 м² дорожной одежды:

$$\sum_{1}^{2}\left[C^{I}_{ср.р}\frac{1}{(1+E_{нп})^{6}} + C^{I}_{ср.р}\frac{1}{(1+E_{нп})^{12}}\right] = 0,6\,(0,63+0,397) =$$

$$= 0,62 \text{ тыс. руб.};$$

$$\sum_{1}^{3}\left[C^{II}_{ср.р}\frac{1}{(1+E_{нп})^{4}} + C^{II}_{ср.р}\frac{1}{(1+E_{нп})^{8}} + C^{II}_{ср.р}\frac{1}{(1+E_{нп})^{12}}\right] =$$

$$= 0,6\,(0,735+0,54+0,292) = 0,94 \text{ тыс. руб.}$$

4. Суммарные приведенные затраты на текущий ремонт и содержание дорожной одежды.

Стоимость текущего ремонта и содержания 1 м² дорожной одежды берется из табл. 7.16.

За срок сравнения (18 лет) суммарные приведенные затраты на текущий ремонт и содержание 1000 м² дорожной одежды:

$$\sum_{1}^{18}\frac{C^{I}_{тр}}{(1+E_{нп})^{18}} = C^{I}_{тр}\left[\frac{1}{(1+E_{нп})^{1}} + \ldots + \frac{1}{(1+E_{нп})^{18}}\right] =$$

$$= 0,061 \cdot 9,37 = 0,57 \text{ тыс. руб.};$$

$$\sum_{1}^{18}\frac{C^{II}_{тр}}{(1+E_{нп})^{18}} = C^{II}_{тр}\left[\frac{1}{(1+E_{нп})^{1}} + \ldots + \frac{1}{(1+E_{нп})^{18}}\right] =$$

$$= 0,074 \cdot 9,37 = 0,69 \text{ тыс. руб.}$$

5. Суммарные приведенные затраты на 1000 м²:

$$P^{I}_{пр} = \frac{0,12}{0,08}(9,21+0,92)+0,62+0,57 = 16,39 \text{ тыс. руб.};$$

$$P^{II}_{пр} = \frac{0,12}{0,08}(8,61+1,46)+0,94+0,69 = 16,74 \text{ тыс. руб.}$$

Более экономичный I вариант дорожной одежды.

8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВА ДОРОГИ

При составлении проекта автомобильной дороги обязательно предусматривается комплекс мероприятий по обслуживанию, организации и обеспечению безопасности движения. В состав этого комплекса входят дорожные инженерные устройства и обстановка дороги.

К дорожным инженерным устройствам относятся: автобусные остановки, переходно-скоростные полосы, площадки для остановок и стоянок автомобилей, площадки отдыха и павильоны для ожидания автобусов, устройства для защиты дорог от снежных лавин, снежных и песчаных заносов, дорожная линия связи, освещение дорог.

К обстановке дороги относятся: дорожные знаки, ограждения и направляющие устройства, дорожная разметка, светофоры, оформление придорожной полосы (озеленение и т. д.).

8.1. ДОРОЖНЫЕ УСТРОЙСТВА

Автобусные остановки. Остановочные и посадочные площадки и павильоны для пассажиров предусматриваются в местах автобусных остановок. Ширина остановочных площадок обычно принимается равной ширине полосы движения, а длина — в зависимости от количества одновременно останавливающихся автобусов, но не менее 10 м [33].

Длина посадочной площадки соответствует длине остановочной площадки, а ширина — не менее 2 м. Ближайшая грань автопавильона должна находиться от кромки остановочной площадки не ближе 3 м. На посадочной площадке устраивается твердое покрытие.

На дорогах I категории автобусные остановки располагаются одна против другой и соединяются подземным переходом, а на

остальных дорогах смещаются по ходу движения не менее 30 м между ближайшими боковыми стенками павильонов.

На проектируемом участке дороги предусмотрена одна автобусная остановка в начальном пункте с автопавильонами (рис. 8.1, *а*), ширина остановочной площадки 3,5 м, а длина 20 м. Конструкция дорожной одежды на остановочной площадке такая же, как и на основной дороге. На посадочной площадке предусмотрено асфальтобетонное покрытие из мелкозернистой смеси толщиной 4 см по слою щебня 15 см. Площадь посадочной площадки $20 \times 2 = 40$ м², а остановочной («карман») $20 \times 3{,}5 = 70$ м². В целом для остановки эти площадки составляют 80 и 140 м².

Посадочная площадка приподнята над поверхностью остановочной площадки на 0,2 м и ограждена бордюрами. Смещение автобусных остановок относительно друг друга 50 м.

Переходно-скоростные полосы предусматриваются для обеспечения торможения и разгона автомобилей, выходящих из общего потока или входящих в него. Переходно-скоростные полосы предусматриваются на пересечениях и примыканиях дорог I и II категорий, в местах съездов и въездов на дорогах I категории при 25 авт./сут и более въезжающих и выезжающих с дороги на дорогах II категории при 50 авт./сут и более, а также и на дорогах III категории при количестве выходящих из потока и входящих в него 100 авт./сут и более.

Переходно-скоростные полосы предусматриваются также в местах расположения автобусных остановок, площадок отдыха и обзора местности, у бензозаправочных колонок.

Длина переходно-скоростных полос зависит от категории дороги и продольного уклона (табл. 8.1). Ширина их равна ширине полосы движения на основной дороге. Покрытие полос разгона и торможения принимается по типу основной дороги.

Переходно-скоростные полосы на всем протяжении отделяются от основных сплошной и пунктирной линией разметки, а отгоны — пунктирной линией (см. рис. 8.1).

На рассматриваемом участке дороги переходно-скоростные полосы предусмотрены на автобусной остановке (пк 0 + 00) и на при-

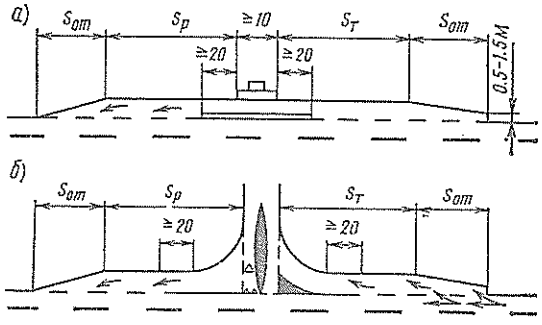


Рис. 8.1. Схемы переходно-скоростных полос:
а — в зоне автобусных остановок; *б* — на пересечениях; $S_р$ — длина полосы разгона; $S_т$ — полосы торможения; $S_{от}$ — полосы отгона

Таблица 8.1. **Длина переходно-скоростных полос**

Категория дорог	Продольный уклон, ‰	Длина полос полной ширины, м: для разгона	для торможения	Длина отгона полос разгона и торможения, м	Категория дорог	Продольный уклон, ‰	Длина полос полной ширины, м: для разгона	для торможения	Длина отгона полос разгона и торможения, м
I и II	—40	140	110	80	III	—40	110	85	60
	—20	160	105	80		—20	120	80	60
	0	180	100	80		0	130	75	60
	+20	200	95	80		+20	150	70	60
	+40	230	90	80		+40	170	65	60

мыкании к дороге на пк 41 + 70. На пересечении с местной дорогой на пк 6 + 10 переходно-скоростные полосы не проектируются, так как количество выходящих из потока и входящих в него менее 100 авт./сут.

Так как продольный уклон на пк 0 составляет 5‰, а на пк 41 + + 70 14‰, то в соответствии с табл. 8.1 с левой стороны дороги длина полос разгона равна соответственно 130 и 150 м, полос торможения — 75 и 70 м, а с правой стороны дороги эти величины равны соответственно для полос разгона 130 и 75 м, для полос торможения 120 и 80 м.

Длина отгона полос принята 60 м, отгон полос торможения начинается с уступа величиной 0,5 м.

Ширина переходно-скоростных полос 3,5 м. Для устройства переходно-скоростных полос предусмотрено уширение земляного полотна так, чтобы ширина обочины составляла не менее 1 м. От основных полос движения переходно-скоростные полосы отделены разделительной полосой шириной 0,5 м, обозначенной разметкой.

Площадки для остановок и стоянок автомобилей. Такие площадки проектируются около придорожных столовых, магазинов, достопримечательных мест и красивых видов на период осмотра, у площадок отдыха и т. д. Расстояние между ними определяется категорией дороги. Стоянки располагаются на дорогах I и II категорий не реже чем через 10—15 км, на дорогах III категории — через 20—30 км. Проектирование площадок ведется в соответствии с типовым проектом. Размеры площадок определяются исходя из количества одновременно стоящих автомобилей, но не менее пяти.

Здания и сооружения дорожной автотранспортной службы. Для организации службы по содержанию и ремонту дорог, обслуживанию пассажиров, техническому обслуживанию проходящих по дорогам транспортных средств в проектах автомобильных дорог необходимо предусматривать:

для дорожной службы — здания управления дорог, дорожно-ремонтных пунктов, жилых домов и т. д.;

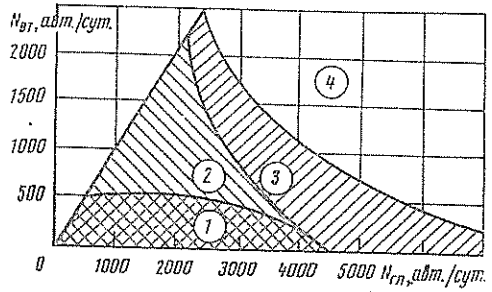


Рис. 8.2. График для выбора типа пересечения:

1 — простые пересечения в одном уровне; *2* — простые пересечения с направляющими островками на второстепенной дороге; *3* — пересечения с направляющими островками на обеих дорогах; *4* — пересечения в разных уровнях

для автотранспортной службы — здания и сооружения, обслуживающие пассажирские и грузовые перевозки (автопавильоны, пассажирские и грузовые автостанции, автовокзалы, контрольно-диспетчерские пункты), а также обслуживающие подвижной состав (станции технического обслуживания, автозаправочные станции, моечные пункты).

Кроме того, следует предусматривать гостиницы, общежития, рестораны, кафе, буфеты, предприятия бытового обслуживания и др.

Степень совершенства комплекса сооружений по обслуживанию движения зависит от его интенсивности, характера и объема перевозок, протяжения дороги или сети дорог и категории дороги.

Рассматриваемый в примере участок дороги короткий (4170 м), поэтому здания и сооружения дорожной и автотранспортной службы, так же как и площадки для остановки и стоянки автомобилей, не предусмотрены.

Пересечения и примыкания. На пересечениях автомобильных дорог интенсивность движения равна сумме интенсивностей по пересекающимся дорогам, поэтому условия движения на пересечениях осложняются и для обеспечения его четкой организации необходимо предусматривать специальные мероприятия.

Пересечения автомобильных дорог устраивают в одном и разных уровнях. Для выбора типа пересечения используется график, предложенный Е. М. Лобановым (рис. 8.2).

Пересечения автомобильных дорог I категории с дорогами всех категорий, дорог II категории с дорогами II и III категорий, а также дорог III категории между собой (при перспективной суммарной интенсивности на 20-й год на пересечении более 4000 авт./сут) следует проектировать в разных уровнях.

В одном уровне проектируются пересечения и примыкания автомобильных дорог II категории с дорогами IV и V категорий, а также дорог III, IV и V категорий с дорогами IV и V категорий при перспективной суммарной интенсивности движения на пересечении менее 4000 авт./сут.

Выбор типа и схемы пересечения или примыкания осуществляется на основе вариантного проектирования. Оценка вариантов производится по технико-экономическим показателям и показателям безопасности движения.

При расчетной интенсивности движения в узле от 1000 до 4000 авт./сут (в сумме для пересекающихся или примыкающих дорог) пересечения и примыкания в одном уровне проектируются с направляющими островками, переходно-скоростными полосами и зонами безопасности. При интенсивности движения менее 1000 авт./сут проектируются простые пересечения и примыкания в одном уровне.

Основные требования к профилю и плану дорог в зоне пересечения или примыкания в одном уровне:

пересечения располагаются в нулевых отметках или в насыпях не выше 1 м;

продольный уклон на пересекающихся дорогах на расстоянии видимости поверхности дороги не должен быть более 40‰;

на пересекающихся дорогах не рекомендуются выпуклые кривые;

угол пересечения должен быть близок к прямому;

главная дорога по возможности должна быть прямолинейной;

видимость пересечения обеспечивается из условия обгона, особенно по главной дороге;

продольный уклон второстепенной дороги на расстоянии 20 м от главной не должен превышать 20‰ в целях обеспечения устойчивого положения автомобиля.

Для повышения безопасности движения пересечения и примыкания в одном уровне предусматриваются на дорогах I и II категорий не чаще чем через 5 км, а на дорогах III категории не чаще чем через 2 км.

Полевые дороги и скотопрогоны должны пересекать дороги I—III категорий в местах расположения мостов и прямоугольных труб.

Для обеспечения торможения и разгона автомобилей в местах выездов и въездов проектируют переходно-скоростные полосы. Размеры переходно-скоростных полос принимают по табл. 8.1.

Все выезды и въезды на подходах к дорогам I—III категорий проектируют с твердым покрытием на протяжении от кромки проезжей части: при песчаных и супесчаных, легких суглинистых грунтах — 100 м; при глинистых и тяжелых суглинистых грунтах — 200 м. На дорогах IV категории на въездах и выездах твердое покрытие устраивают на протяжении в 2 раза меньшем, чем на дорогах I—III категорий.

На пересечениях и примыканиях радиусы сопряжений принимают при съездах с дорог I и II категорий не менее 25 м, с дорог III категории 20 м и с дорог IV и V категорий—15 м. На сопряжениях под тупым углом рекомендуются радиусы 30—50 м.

На пересечениях и примыканиях предусматриваются установка дорожных знаков, ограждений, направляющих устройств в виде сигнальных столбиков и дорожная разметка по ГОСТ 23457—79.

На рис. 8.3 и 8.4 представлены основные типы пересечений и примыканий в одном уровне по типовому проекту, позволяющие определить тип пересечения или примыкания для конкретных условий в зависимости от категории главной дороги, интенсивностей

Таблица 8.2. **Ведомость примыканий и пересечений**

№ п/п	Местонахождение пк +	Наименование и характеристика дорог (категория и тип покрытия)	Угол пересечения	Тип примыкания		Тип пересечения		Примечание
				влево	вправо	влево	вправо	
1	6+10	Грунтовая дорога V категории	85°	—	—	III-4-п с трубой	III-4-п	
2	41+70	Автомобильная дорога Окуловка — Боровичи, покрытие асфальтобетонное	78°	III-1-с	III-1-с			

Всего: пересечения по типу III-4-п — 1; по типу III-1-с—1.

движения пересекающихся дорог и суммарной интенсивности движения.

Данные о пересечениях и примыканиях на проектируемом участке дороги приводятся в ведомости примыканий и пересечений (табл. 8.2).

Пересечения автомобильных дорог с железными дорогами проектируют в одном и в разных уровнях. Пересечения автомобильных дорог I—III категорий с железными дорогами проектируют в разных уровнях. Пересечения автомобильных дорог IV и V категорий с железными дорогами следует проектировать в разных уровнях в случаях:

при пересечении трех и более главных железнодорожных путей;

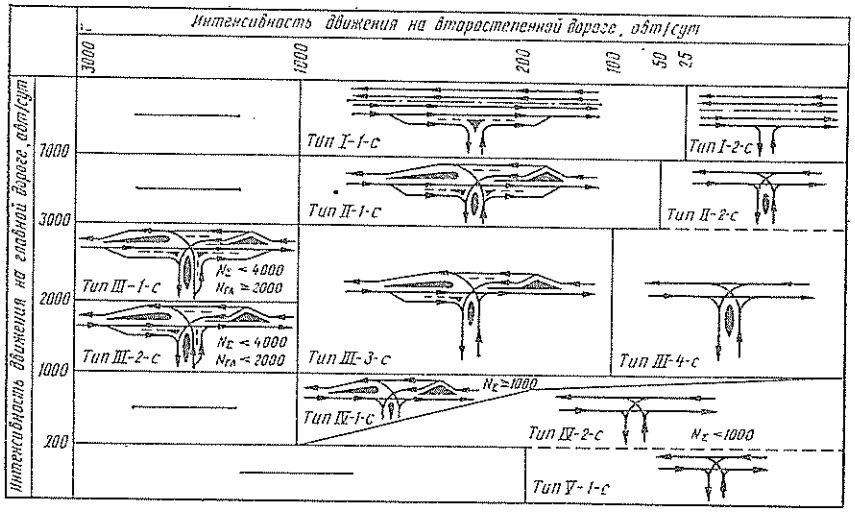


Рис. 8.3. Примыкания автомобильных дорог в одном уровне

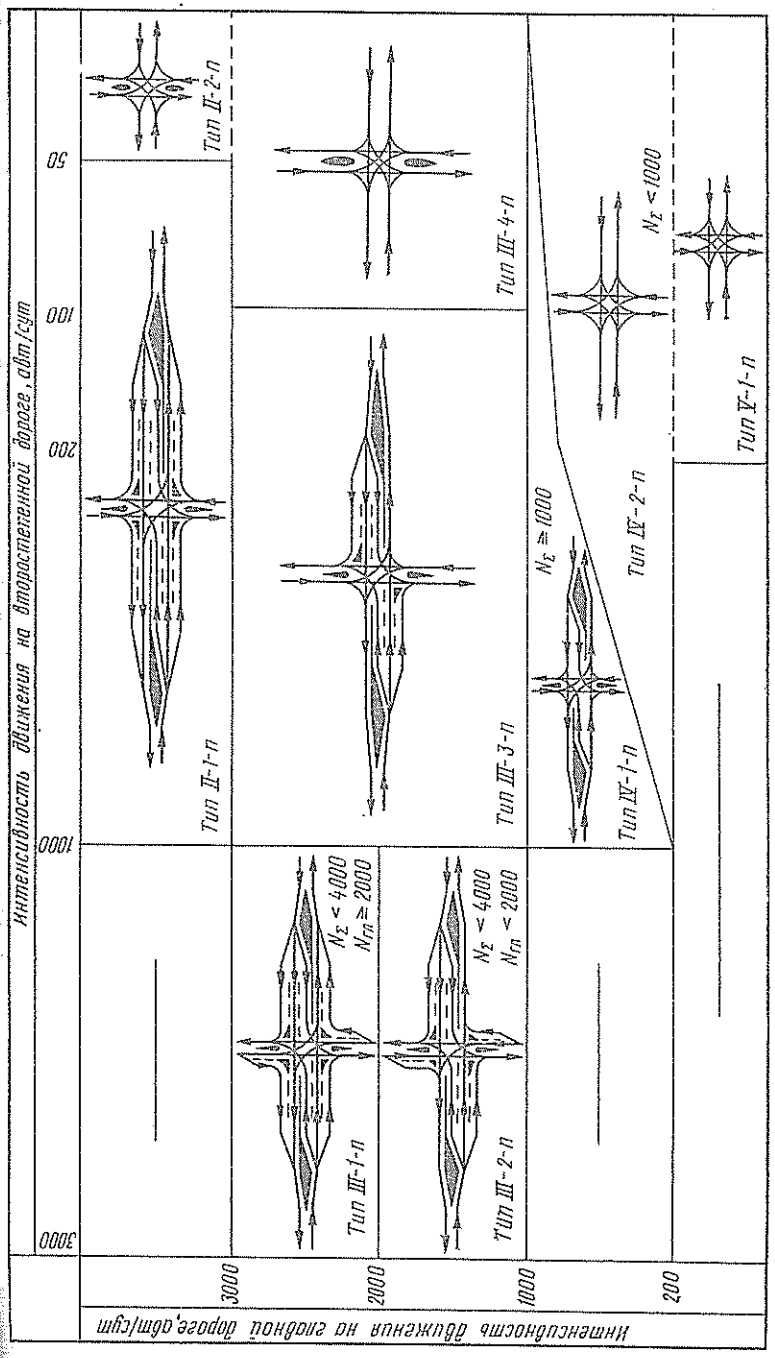


Рис. 8.4. Пересечения автомобильных дорог в одном уровне

при пересечении участков железных дорог со скоростным (больше 120 км/ч) движением;

при расположении железной дороги в выемке;

при необеспеченной видимости железнодорожного переезда.

В остальных случаях пересечения автомобильных дорог с железными дорогами устраивают в одном уровне.

Переезды в одном уровне устраивают только по согласованию с МПС, управлением автомобильной дорогой и Госавтоинспекцией.

Пересечения в одном уровне следует располагать вне пределов станций и путей маневрирования, преимущественно на прямых участках пересекающихся дорог. Угол пересечения должен быть не менее 60°. Подходы автомобильной дороги к пересечению на протяжении 50 м следует проектировать с продольным уклоном не более 30‰.

8.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

К техническим средствам организации дорожного движения относятся знаки, ограждения и направляющие устройства, дорожная разметка и светофоры.

Установлено семь групп дорожных знаков: 1 — предупреждающие; 2 — приоритета; 3 — запрещающие; 4 — предписывающие; 5 — информационно-указательные; 6 — сервиса; 7 — дополнительной информации (таблички).

Каждая группа знаков имеет характерную форму, цвет фона и каймы (прил. 2).

Дорожные знаки, предусмотренные на проектируемом участке дороги, приведены в ведомости дорожных знаков (табл. 8.3).

Дорожная разметка. Как и дорожные знаки, разметка применяется для упорядочения дорожного движения, повышения безопасности и улучшения информации водителей. Разметка производится в соответствии с требованиями ГОСТ 13508—74 и ГОСТ 23457—79. Она применяется самостоятельно и в сочетании с другими техническими средствами организации дорожного движения.

Различаются две группы разметки: горизонтальная и вертикальная.

Каждому виду разметки присвоен номер, состоящий из цифр. Первое число — номер группы, к которой принадлежит разметка (1 — горизонтальная, 2 — вертикальная), второе — порядковый номер в группе, третье — разновидность разметки.

В горизонтальную разметку входят линии, надписи, стрелы и другие обозначения на дорогах с усовершенствованными покрытиями. При этом горизонтальная разметка может быть продольной и поперечной.

В вертикальную разметку входят линии и обозначения, наносимые на элементах опор мостов, путепроводов, торцевых поверхно-

Таблица 8.3. Ведомость дорожных знаков

№ п/п	пк +	Предупреждающие		Приоритета		Запрещающие		Предписывающие		Информационно-указательные		Сервиса		Дополнительной информации		Примечание
		слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	40+20		1.6													
2	0+00	1.20														
3	4+10			2.31												
4	8+10				2.31											
5	18+45					3.11	3.11									
6	0+00									5.12	5.12					
7	0+00									5.16.1						
8	9+10									5.20.1						
9	3+10										5.20.1					
10	38+70										5.20.1					
11	6+00										5.21.1					
12	6+20									5.21.1						
13	41+60										5.21.1					
14	0+20									5.22						
15	0+00										5.28					
16	1+00										5.28					
17	2+00										5.28					
18	3+00										5.28					
19	4+00										5.28					
	Итого	1	1	1	1	1	1			5	10					

Всего дорожных знаков 21.

Примечание. В графах 3—16 указываются номера знаков по ГОСТ 10307—78.

стях туннелей, на парапетах, ограждениях, бордюрах, сигнальных столбиках и других дорожных сооружениях и элементах оборудования дорог с целью предупреждения наезда на них транспортных средств.

Для каждого вида разметки установлены размеры, цвет и правила применения (прил. 3). Виды разметки, предусмотренные на проектируемом участке дороги, представлены в ведомости разметки проезжей части (табл. 8.4).

Ограждения и направляющие устройства. Дорожные ограждения делятся на две группы. Ограждения первой группы (барьерные конструкции, парапеты и т. п.) предназначены для предотвращения съездов транспортных средств с земляного полотна, мостов, путепроводов, эстакад, столкновений с встречными транспортными средствами, наездов на предметы и сооружения, расположенные в полосе отвода дороги.

Таблица 8.4. Ведомость разметки проезжей части

№ п/п	От пк +	До пк +	Протяженность участка, м	Вид разметки по ГОСТ 23457—79	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	5+85	6+05	20	1.1	Перед пересечением
	6+15	6+35	20	1.1	То же
	41+45	41+65		1.1	»
	0+00	41+70	4170	1.1	Кромка проезжей части
2	5+35	5+85	50	1.6	Перед пересечением
	6+35	6+85	50	1.6	То же
	40+95	41+45	50	1.6	»
3	0+00	5+35	535	1.5	
	6+85	41+45	3460	1.5	
4	0+00	190	190	1.8	На автобусной остановке
	39+80	41+70	190	1.8	На пересечении
	40+30	41+70	140	1.8	То же
5	0+00	—	—	1.14	На автобусной остановке
6	18+10	—	—	2.1	Торцевая часть барьерного ограждения
	18+75	—	—	2.1	
7	18+10	18+75	65	2.5	Боковая поверхность барьерного ограждения

К ограждениям второй группы относятся сетки и конструкции перильного типа. Их назначение — упорядочить движение пешеходов и предотвратить выход животных на проезжую часть.

Направляющие устройства делятся на следующие виды: направляющие столбики, тумбы с искусственным освещением и островки безопасности.

Сигнальные столбики и тумбы обеспечивают видимость границ обочин и опасных препятствий в темное время суток и при неблагоприятных метеорологических условиях.

Таблица 8.5. Характеристика условий для ограждений первой группы

Число полос движения в обоих направлениях	Наличие на разделительной полосе опор освещения	Перспективная интенсивность движения, тыс. авт./сут, при ширине разделительной полосы, м	
		3—4	5—6
4	Отсутствуют	15	20
	Имеются	10	15
6	Отсутствуют	20	30
	Имеются	15	25

Примечание. При установке дорожных ограждений и направляющих устройств перспективная интенсивность движения принята на 5-летний период.

Островки безопасности предназначены для разделения транспортных потоков по направлениям и выделения на проезжей части зон для остановки пешеходов.

Дорожные ограждения первой группы необходимо устанавливать: вне населенных пунктов на разделительной полосе при условиях, указанных в табл. 8.5;

на обочинах дорог в пределах насыпей с крутизной откоса 1 : 1,5 и 1 : 2 при условиях, указанных в табл. 8.6;

Таблица 8.6. Условия размещения ограждений первой группы

Участки автомобильных дорог	Продольный уклон дороги, ‰	Перспективная интенсивность движения, тыс. авт./сут. не менее	Минимальная высота насыпи, м
Обочины прямолинейных участков и закруглений дорог в плане радиусом более 600 м	До 40	2	3,0
Обочина с внутренней стороны закруглений дороги в плане радиусом менее 600 м на спуске или после него	Более 40	2	2,5
Обочина с внешней стороны закругления дороги в плане радиусом менее 600 м на спуске или после него	До 40	2	2,5
Обочины на вогнутом закруглении дороги в продольном профиле, сопрягающем встречные уклоны с алгебраической разностью 50‰ и более	—	2	2,5
Обочина с внешней стороны закругления дороги в плане радиусом менее 600 м на спуске или после него	Более 40	0,2	2,0

на обочинах дорог, расположенных на склонах местности крутизной более 1 : 3 при перспективной интенсивности движения не менее 2000 авт./сут;

на обочинах дорог, расположенных параллельно железнодорожным линиям, болотам и водным потокам глубиной более 2 м, оврагам и горным ущельям на расстоянии до 25 м от кромки проезжей части при перспективной интенсивности движения не менее 2000 авт/.сут и до 15 м при перспективной интенсивности движения менее 2000 авт./сут;

на обочине или разделительной полосе у опор путепроводов, деревьев с диаметром стволов более 10 см, консольных или арочных опор информационно-указательных дорожных знаков, расположенных на расстоянии менее 4 м от кромки проезжей части, при перспективной интенсивности движения не менее 2000 авт./сут.

Ограждения первой группы включают: ограждения барьерного типа из металла, железобетона или синтетических материалов; тросовые ограждения; ограждения парапетного типа специального профиля; высокие бордюры. Расстояние от поверхности земли до верхнего края ограждения должно быть 0,8 м.

Ограждения первой группы располагаются: на мостах, путепроводах, эстакадах на расстоянии не менее 1 м от кромки проезжей части; на разделительных полосах — вдоль ее оси на расстоянии не менее 1 м от кромки проезжей части, а при наличии опор путепроводов, освещения, дорожных знаков — на ее середине; на обочине — на расстоянии от бровки земляного полотна не менее 0,5 м, а от кромки проезжей части не менее 1 м.

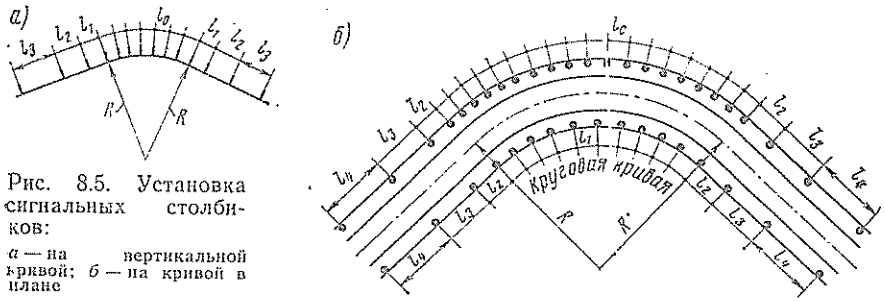


Рис. 8.5. Установка сигнальных столбиков:

а — на вертикальной кривой; *б* — на кривой в плане

К ограждениям второй группы относятся ограждения из стальных газовых труб и сеток на железобетонных, деревянных и металлических опорах. Высота ограждений этой группы в зависимости от назначения меняется от 1 до 1,8 м.

Ограждения второй группы устанавливаются на границе полосы отвода в пределах заповедников.

Направляющие устройства в виде сигнальных столбиков устанавливают на дорогах без искусственного освещения при условиях, когда не требуется установка ограждений первой группы:

в пределах вертикальных кривых в продольном профиле и на подходах к ним (по три столбика с каждой стороны дороги) при высоте насыпи не менее 2 м и интенсивности движения не менее 1000 авт./сут на расстояниях, указанных в табл. 8.7 (рис. 8.5, *а*),

в пределах закруглений дорог в плане и на подходах к закруглению (по три столбика с каждой стороны дороги) при высоте насыпи не менее 1 м на расстояниях, указанных в табл. 8.8 (рис. 8.5, *б*),

на прямолинейных участках дорог при высоте насыпи не менее 2 м и интенсивности движения не менее 1000 авт./сут через 50 м;

в пределах закруглений на пересечениях и примыканиях дорог в одном уровне на расстояниях, указанных в табл. 8.8 для внешней стороны закруглений;

на дорогах, расположенных на расстоянии до 15 м от болот и водотоков глубиной 1 —2 м, через 10 м;

Таблица 8.7. **Условия размещения сигнальных столбиков на вертикальных кривых**

Радиус закругления дороги в продольном профиле R, м	Расстояние между столбиками в пределах закругления l_0, м	Расстояние между столбиками на подходах к закруглению, м			Радиус закругления дороги в продольном профиле R, м	Расстояние между столбиками в пределах закругления l_0, м	Расстояние между столбиками на подходах к закруглению, м		
		l_1	l_2	l_3			l_1	l_2	l_3
1000	17	27	50	50	5000	40	50	50	50
2000	25	39	50	50	6000	45	50	50	50
3000	21	47	50	50	8000	50	50	50	50
4000	35	50	50	50					

Таблица 8.8. **Условия размещения сигнальных столбиков на горизонтальных кривых**

Радиус закругления дороги в плане R, м	Расстояние между столбиками в пределах закругления, м		Расстояние между столбиками на подходах к закруглению, м			Радиус закругления дороги в плане R, м	Расстояние между столбиками в пределах закругления, м		Расстояние между столбиками на подходах к закруглению, м		
	на внешней стороне	на внутренней стороне	l_2	l_3	l_4		на внешней стороне	на внутренней стороне	l_2	l_3	l_4
20	3	6	6	10	20	200	15	30	28	45	50
30	3	6	7	11	21	300	20	40	36	50	50
40	4	8	9	15	31	400	30	50	50	50	50
50	5	10	12	20	40	500	40	50	50	50	50
100	10	20	25	42	50	600 и более	50	50	50	50	50

у мостов и путепроводов по три столбика с двух сторон дороги до и после сооружения через 10 м;

у водопропускных труб по одному столбику с каждой стороны дороги вдоль трубы и по три столбика с двух сторон дороги до и после сооружения.

Сигнальные столбики располагаются на обочине на расстоянии 0,5 м от бровки земляного полотна.

Таблица 8.9. **Ведомость оградительных приспособлений**

№ п/п	От пк +	До пк +	Протяжение участка, м	Оградительные приспособления				Примечание
				Сигнальные столбики, шт.		Железобетонный брус, м		
				слева	справа	слева	справа	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	18+10	18+75	65	—	—	65	65	У моста
2	7+70	8+30	60	7	7			У трубы
3	30+95	31+55	60	7	7			То же
4	36+70	37+70	60	7	7			»
5	39+70	40+30	60	7	7			»
6	17+80	18+10	30	—	3			Перед мостом
7	17+80	18+10	30	3	—			То же
8	18+75	19+05	30	—	3			»
9	18+75	19+05	30	3	—			»
10	8+59	35+00	1926	26	64			На закруглениях дороги
11	6+10	—	—	26	26			На пересечении
12	41+70	—	—	13	13			На примыкании
Итого				99	137	65	65	

Всего: ограждения барьерного типа — 65 м; сигнальные столбики — 236 шт.

На проектируемом участке дороги ограждения устанавливаются в соответствии с ведомостью оградительных приспособлений (табл. 8.9).

8.3. ОЗЕЛЕНЕНИЕ ДОРОГИ

К озеленению автомобильной дороги относятся посадки деревьев и кустарников.

Проектирование мероприятий по озеленению позволяет решить следующие задачи:

технические — снегозащитные посадки, защита от эрозии (противоэрозионное озеленение), от песчаных заносов (пескозащитное озеленение), сильных ветров и пыльных бурь;

обеспечение безопасности движения и зрительного ориентирования, т. е. указание направления дороги за пределами видимости покрытия, подчеркивание направления уклона, поворота, устранение ослепления, защита от бокового ветра, частичная замена или усиление ограждающих устройств;

санитарно-гигиенические — улучшение микроклимата площадок и комплексов в придорожной зоне, защита от шума, пыли и вредных газов в местах стоянки и отдыха у дороги;

архитектурно-ландшафтные и эстетические — создание однородного фона в местах с пестрой растительностью, подчеркивание красивых ландшафтов, декорирование некрасивых мест.

В зависимости от местных условий необходимо посадкам придавать универсальное значение.

Снегозащитные насаждения. Для защиты автомобильных дорог от снежных заносов насаждения проектируют в зависимости от объема снегопереноса (табл. 8.10) и лесорастительных условий в виде живых изгородей или лесных полос.

Живая изгородь представляет собой густую двухрядную посадку деревьев или кустарников.

Снегозащитная лесная полоса состоит из нескольких рядов древесных пород и кустарниковой опушки, расположенной с полевой стороны лесной полосы.

Основные сведения о снегозащитных насаждениях и их конструкции приведены в табл. 8.11 и 8.12.

При проектировании участки дороги, подлежащие снегозащитному озеленению, устанавливаются с учетом признаков заносимости, указанных в табл. 8.13. Затем, используя табл. 8.11 и 8.12, назначаются конструкции снегозащитных насаждений. Подбор древесных и кустарниковых пород для снегозадерживающих насаждений производится с учетом лесорастительных условий района проложения трассы, а также биологических, хозяйственных, специфических снегозадерживающих свойств деревьев и кустарников.

Декоративное озеленение. Декоративные посадки органично объединяют дорогу с ландшафтом примыкающей местности и улуч-

Таблица 8.10. **Объем снегопереноса на территории СССР**

Район трудности снегоборьбы	Объем снегопереноса, м³/м дороги	Наименование республик, краев, областей
1	2	3
I — район легкой снегоборьбы	25—50, в отдельных случаях 100	Республики Прибалтики, Калининградская, Читинская, Амурская области, Краснодарский и Ставропольский края, Дагестанская, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская и Северо-Осетинская АССР, Южные части Калмыцкой АССР; Астраханской и Ростовской областей. Юго-Западная часть Хабаровского края. УССР и БССР
II — район средней трудности снегоборьбы	100—150	Ленинградская, Новгородская, Псковская, Костромская, Вологодская, Смоленская, Брянская, Калининская, Ярославская, Владимирская, Московская, Ивановская, Кировская, Пермская, Волгоградская, Тюменская, Свердловская, Иркутская, Челябинская и Курганская области. Карельская, Удмуртская, Тувинская, Бурятская и Якутская АССР (южнее Северного полярного круга). Южные части Архангельской обл. и Коми АССР. Северные части Омской, Ростовской, Астраханской, Горьковской и Калужской областей и Калмыцкой АССР. Хабаровский край (кроме юго-западной части), Приморский и Красноярский края (кроме юго-западной части Таймырского автономного округа).
III — район трудной снегоборьбы	250, в отдельных пунктах 400	Тульская, Орловская, Курская, Воронежская, Белгородская, Рязанская, Тамбовская, Пензенская, Саратовская, Новосибирская и Кемеровская области. Мордовская, Татарская, Марийская, Чувашская и Башкирская АССР. Центральные части Архангельской обл. и Коми АССР. Южные части Горьковской, Омской, Калужской и Мурманской областей и Заполярной территории Якутской АССР. Юго-западные части Красноярского края и Магаданской обл., Горно-Алтайская автономная область
IV — район очень трудной снегоборьбы	400—600, в отдельных пунктах 1000	Куйбышевская, Оренбургская, Сахалинская области и Алтайский край (кроме Горно-Алтайской автономной области). Северная и северо-восточная части Казахстана. Центральные части Магаданской обл. и Якутской АССР. Северные части Мурманской и Архангельской областей. Камчатская обл. (кроме Корякского автономного округа) и Коми АССР, Южная часть Ямало-Ненецкого автономного округа
V — район особенно трудной снегоборьбы	1000 и более	Остальные районы Крайнего Севера и северо-востока СССР.

Таблица 8.11. Число рядов лесных полос, их ширина и расстояние до бровки земляного полотна

Расчетный объем снегопереноса, м³ на 1 м дороги	Расстояние от бровки земляного полотна до лесонасаждений, м	Ширина полос земель для лесонасаждений, м	Число рядов кустарников и деревьев в полосе	Расчетный объем снегопереноса, м³ на 1 м дороги	Расстояние от бровки земляного полотна до лесонасаждений, м	Ширина полос земель для лесонасаждений, м	Число рядов кустарников и деревьев в полосе
10—26	15—25	4	2	126	60	17	6—8
50	30	9	4	150	65	19	6—8
75	40	12	6	200	70	22	8—10
100	50	14	6—8				

шают его. Кроме того, они выполняют определенную регулирующую роль в движении транспортных средств. По расположению и выполняемой роли декоративные посадки делятся на основные вдоль дорог, посадки у пересечений и примыканий, у искусственных сооружений, автобусных станций, площадок для стоянки и отдыха, на разделительных полосах и т. д.

Применяются три типа декоративного озеленения: групповые посадки деревьев и кустарников; линейные (аллейные или рядовые) посадки деревьев, а также деревьев с опушкой из кустарника и живых изгородей; комплексные посадки в выемках, у перекрестков, автобусных остановок, у входа дороги в лес и т. п.

Групповые посадки формируют из двух — четырех деревьев с опушкой из кустарника или без него. Назначение групповых посадок — избежать монотонность в оформлении дороги.

Таблица 8.12. Конструкции снегозащитных насаждений

Конструкции насаждений	Расчетный объем снегопереноса, м³/м
1	2
Однополосная 2-рядная посадка в виде живой изгороди из древесных пород с низкой и плотной кроной или высоких кустарников	До 25
Однополосная 4—6-рядная посадка из двух-четырех древесных и двух кустарниковых пород. Первый ряд (со стороны поля) создается из низких кустарников, второй — из высоких, а остальные ряды — из древесных пород с плотной и низкой кроной	50—75
Однополосная 6—8-рядная посадка из четырех-шести древесных и двух кустарниковых рядов. Первый ряд (со стороны поля) создается из низких кустарников, второй — из высоких, третий и последний ряды — из деревьев с плотной и низкой кроной, средние ряды — полосы из деревьев с плотной и высокой кроной	100—150
Однополосная 8—10-рядная посадка той же конструкции, что и для 100 м³/м. Различие — в расстоянии от бровки земляного полотна до лесной полосы	200

Таблица 8.13. Категории заносимости участков

Категория заносимости участков	Краткая характеристика участка
Сильнозаносимые	Нераскрытые выемки глубиной до 6,0—8,5 м и больше, если их подветренный откос не может вместить весь снег, приносимый зимой
Среднезаносимые	Выемки с уположенными откосами, разделанные под насыпь или раскрытые. Нулевые места и невысокие насыпи (ниже высоты снежного покрова в данной местности)
Слабозаносимые	Насыпи, высота которых находится в пределах от высоты снежного покрова в данной местности до высоты незаносимой насыпи $h_р$

Аллейные посадки допускаются на коротких прямых участках. Они целесообразны у подошвы высоких насыпей, при положении трассы в долинах рек и на затапливаемых участках (как указатель направления дороги), в районах искусственного орошения или при развитых полезащитных насаждениях, на участках дорог, ведущих к памятным местам и городам.

Посадки, предназначенные для зрительного ориентирования, могут быть направляющими, барьерными и декорирующими. Направляющие посадки применяются для указания изменения направления дороги, т. е. на кривых в плане. Как правило, такие посадки являются линейными.

Барьерные посадки показывают, что продолжать движение в том же направлении невозможно. Такие посадки необходимы против каждого примыкания. Барьерные посадки могут быть линейными и групповыми.

Декорирующие посадки позволяют привлечь внимание к наиболее важным местам развязки, обозначить границы развязки, комплексов обслуживания и усилить элементы рельефа. Например, можно создать впечатление высокого холма в равнинной местности у выпуклого перелома, поместив высокие посадки на вершине выпуклости или, наоборот, смягчить чрезмерно частые впадины.

На проектируемом участке дороги снегозащитными участками являются:

пк 2 — пк 4 — 200 м $h_{нас} < h_{рек}$;

пк 10 + 50 — пк 12 + 50 — 200 м $h_{нас} < h_{рек}$, раскрытая выемка;

пк 14 + 50 — пк 17 + 50 — 300 м $h_{нас} < h_{рек}$;

пк 25 — пк 30 + 50 — 550 м косогор, выемка;

пк 32 — пк 35 — 300 м выемка;

пк 37 + 50 — пк 34 + 50 — 200 м $h_{нас} < h_{рек}$

Итого 1550 м

Таблица 8.14. **Сводная ведомость объемов работ на строительство участка автомобильной дороги Тальковцы — Окуловка — Боровичи (15-й км)**

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Количество	Примечание (формула подсчета)
1	2	3	4	5
	1. Освоение трассы и подготовительные работы			
1	Восстановление трассы	км	4,17	L
2	Оформление отвода земель	га	$4170(26+13)=16{,}26$	$L(B_{осp}+B_{вр})$, где L — длина трассы; $B_{осp}$ — ширина постоянной полосы отвода; $B_{вр}$ — ширина временной полосы отвода;
3	Рекультивация земель, занимаемых во временное пользование	га	$4170\cdot13=5{,}42$	$\frac{L\ B_{вр}}{L\ B_{вр}\ h_р}$, где $h_р$ — толщина растительного слоя
		м³	$54200\cdot0{,}1=5420$	
	2. Земляное полотно			
1	Общий объем оплачиваемых земляных работ	м³	115 566	По покилометровой ведомости объемов земляных работ
2	Укрепление откосов земляного полотна засевом травами	м²	46 265	По ведомости укрепления откосов земляного полотна
3	Устройство перепадов	шт.	10	См. «Проектирование водоотвода»
	3. Искусственные сооружения			
1	Устройство сборного железобетонного моста со свайными опорами с заборной стенкой	шт./м	1/12,10	См. «Проектирование водопропускных сооружений»
2	Устройство круглых железобетонных труб:			
	$d=1{,}25$ м	шт./м	1/27,88	То же
	$2d=1{,}25$ м	шт./м	1/26,70	»
	$d=1{,}5$ м	шт./м	1/22,43	»
3	Устройство прямоугольной железобетонной трубы отверстием 2,5×2 м (скотопрогон)	шт./м	1/22,82	»
	4. Дорожная одежда			
1	Устройство основания из гравийно-песчаных смесей, укрепленных 8% портландцемента, толщиной 19 см	м/м²	4170/35716	$F=F_{пр}+\Sigma F_{ум}+\Sigma F_{авт}+\Sigma F_{пер}$, где $F_{пр}$ — площадь проезжей части с краевыми укрепительными полосами;

Продолж. табл. 8.14

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Количество	Примечание (формула подсчета)
1	2	3	4	5
2	Устройство основания из фракционного щебня, обработанного вязким битумом, толщиной 7 см	м/м²	4170/36716	$\Sigma F_{уш}$ — площадь уширения проезжей части на кривых в плане;
3	Устройство однослойного покрытия из горячей среднезернистой асфальтобетонной смеси толщиной 5 см	м/м²	4170/35716	$\Sigma F_{авт}$ — площадь уширения проезжей части на автобусных остановках;
	5. Дорожные устройства и обстановка дороги			$\Sigma F_{пер}$ — площадь переходно-скоростных полос на пересечениях
1	Установка дорожных знаков	шт.	21	См. гл. 8
2	Устройство барьерных ограждений	м	65	То же
3	Установка сигнальных столбиков	шт.	236	»
4	Устройство съездов	шт.	4	»
5	» автопавильонов	»	1	»
6	Устройство дорожной разметки	м	4170	»
7	Посадка насаждений:			
	снегозащитных	м	1550	»
	декоративных	шт. деревьев	15	»

Так как в области объем снегопереноса составляет 100—150 м³/м дороги, то принимается снегозащитная 8-рядная посадка из шести древесных и двух кустарниковых рядов. Декоративное озеленение предусмотрено на:

пк 9 — направляющие посадки на кривых в плане — группа из пяти деревьев, посадка линейная;

пк 18 — то же;

пк 13 + 50 — озеленение выпуклого перелома рельефа групповыми посадками (ворота) — на каждой стороне дороги одно дерево и четыре куста;

пк 41 + 70 — барьерная посадка против примыкания — группа из четырех деревьев с опушкой из кустарника.

Объемы работ по строительству запроектированной автомобильной дороги приведены в табл. 8.14.

9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОГ

Запроектированная автомобильная дорога должна быть проверена на обеспечение безопасного движения транспортных средств.

9.1. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ДОРОГАХ

Безопасность движения предусматривается при разработке проекта автомобильной дороги (проектировании плана трассы, продольного профиля, земляного полотна и т. д.).

В настоящее время для оценки обеспеченности безопасности движения применяются разработанные проф. В. Ф. Бабковым методы коэффициентов безопасности и коэффициентов аварийности.

Коэффициент безопасности

$$K_{без} = v_д / v_{пр}, \quad (9.1)$$

где $v_д$ — скорость движения, обеспечиваемая на данном участке дороги; $v_{пр}$ — максимальная скорость, которая может быть развита на предшествующем участке дороги.

По величине коэффициента безопасности участки дороги характеризуются:

Коэффициент безопасности	$\leqslant 0{,}4$	0,4—0,6	0,6—0,8	$\geqslant 0{,}8$
Характеристика условий движения на участке	очень опасные	опасные	малоопасные	практически неопасные

Для новых дорог недопустимы участки с $K_{без} < 0{,}8$. Их следует проектировать заново. При реконструкции и капитальном ремонте существующих дорог необходимо перепроектировать участки с величинами коэффициента безопасности менее 0,6.

Скорости для определения коэффициентов безопасности находят для легкового автомобиля, принятого за расчетный, по методам А. Е. Бельского или К. А. Хавкина. Расчеты скоростей ведут на ЭВМ по специальным программам. По полученным данным строят графики скоростей для обоих направлений движения и график изменения по длине дороги величин коэффициентов безопасности.

Метод коэффициентов аварийности основан на обобщении данных статистики дорожно-транспортных происшествий. Степень опасности участков дороги характеризуется итоговым коэффициентом аварийности

$$K_{итог} = K_1 K_2 K_3, \ldots, K_{17}, \quad (9.2)$$

где K_1, K_2, K_3, ..., K_{17} — частные коэффициенты аварийности.

Каждый частный коэффициент аварийности представляет собой отношение числа дорожно-транспортных происшествий при той или иной величине элемента плана и профиля дороги к числу дорожно-

транспортных происшествий на эталонном участке дороги. За эталонный принят горизонтальный прямой участок дороги с шириной проезжей части 7,5 м и укрепленными обочинами.

Величины коэффициентов аварийности:

Интенсивность движения, авт./сут	3000	5000	7000	9000
K_1	0,75	1,00	1,30	1,70
Ширина проезжей части, м	6	7	7,5	9
K_2 при укрепленных обочинах	1,35	1,05	1,00	0,80
K_2 при неукрепленных обочинах	2,50	1,75	1,50	1,00

Ширина обочин, м	0,50	1,5	2,0	3,0	4,0
K_3	2,2	1,4	1,2	1,0	0,8
Продольный уклон, ‰	20	30	50	70	80
K_4	1,0	1,25	2,5	2,8	3,0
Радиусы кривых в плане, м	100	150	200—300	400—600	
K_5	5,4	4,0	2,25	1,6	
Радиусы кривых в плане, м	1000—2000			более 2000	
K_5	1,25			1,0	
Видимость, м:	50	100	150	200	250
в плане	3,6	3,0	2,7	2,25	2,0
K_6 в профиле	5,0	4,0	3,4	2,5	2,4
Видимость, м:		350	400	500 и более	
в плане		1,45	1,2	1,0	
K_6 в профиле		2,0	1,4	1,0	
Ширина проезжей части мостов по отношению к проезжей части дорог		меньше на 1 м	равна	шире на 1 м	
K_7		6,0	3,0	2,0	
Ширина проезжей части мостов по отношению к проезжей части		шире на 2 м		равна ширине земляного полотна	
K_7		1,5		1,0	

Длина прямых участков, км	3	5	10	15	20	25 и более
K_8	1,0	1,1	1,4	1,6	1,9	2,0
Тип пересечения с примыкающей дорогой	в разных уровнях		кольцевые пересечения			в одном уровне при интенсивности движения на пересекаемой дороге, % от суммарной на двух дорогах: <10 10—20 >20
K_9	0,35		0,70			1,5 3,0 4,0
Пересечения в одном уровне, интенсивность движения по основной дороге, авт./сут	1600—3500		3500—5000			5000—7000 и более
K_{10}	2,0		3,0			4,0

Видимость пересечения в одном уровне с примыкающей дороги, м	более 60	60—40	40—30	30—20	менее 20
K_{11}	1,0	1,1	1,65	2,5	5,0
	23 без разметки	3 с разметкой	4 без разделительной полосы		4 с разделительной полосой

Число полос движения на проезжей части					
K_{12}	1,0	1,5	0,9	0,8	0,65
Расстояние проезжей части от застройки, м, и ее характеристика	более 50, населенный пункт с одной стороны			50—20, населенный пункт с одной стороны, имеются тротуары	
K_{13}	1,0			1,25	
	50—20 населенный пункт с двух сторон дороги, имеются тротуары и полосы местного движения			20—10 населенный пункт с двух сторон дороги, имеются тротуары и полосы местного движения	
K_{13}	2,5			5,0	
	более 10 для местного движения полосы отсутствуют, имеются тротуары			более 10 полосы для местного движения и тротуары отсутствуют	
K_{13}	7,5			10,0	
Длина населенного пункта, км	0,5	1	2	3	5	более 5
K_{14}	1	1,2	1,7	2,2	2,7	3,0
Длина участков на подходах к населенным пунктам, м	0—200		200—600		600—1000	
K_{15}	2,0		1,5		1,2	
Характеристика покрытий	скользкое, покрытое грязью	скользкое	чистое сухое		шероховатое	очень шероховатое
Коэффициент сцепления при скорости 60 км/ч	0,2—0,3	0,4	0,6		0,7	0,75
K_{16}	2,5	2,0	1,3		1,0	0,75
Ширина разделительной полосы, м	1	2	3	5	10	15
K_{17}	2,5	2,0	1,5	1	0,5	0,4

Указанные величины коэффициентов аварийности получены на основе обобщения материалов статистики дорожно-транспортных происшествий в СССР и за рубежом. Значения коэффициентов периодически уточняются по мере накопления новых данных.

В проектах новых дорог итоговый коэффициент допускается не более 15—20, а в проектах капитального ремонта или реконструкции не более 25—40 в зависимости от местных условий.

9.2. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА КОЭФФИЦИЕНТОВ АВАРИЙНОСТИ

График итоговых коэффициентов аварийности строят на основе продольного профиля и плана трассы на листе форматом 297 × 841 мм. Пример построения графика показан на рис. 9.1.

График строят в следующей последовательности.

1. Вычерчивают сетку графика. Размеры граф сетки по высоте указаны на рис. 9.1. Горизонтальный масштаб графика 1 : 10 000.

2. В сетку заносят исходные данные по рассматриваемому участку дороги: интенсивность движения; размеры элементов поперечного профиля дороги; размеры элементов плана и продольного профиля; расстояние видимости в плане и профиле; сведения о пересечениях в одном и разных уровнях; габариты мостов; характер застройки вдоль дороги и расстояние до нее.

3. На основе исходных данных устанавливают значения частных коэффициентов аварийности и записывают их в соответствующие строки с учетом протяжения участка дороги, на котором тот или иной коэффициент действует. Границы таких участков в каждой строке обозначают вертикальными линиями.

При установлении величины частного коэффициента аварийности интерполяция не производится, принимается его ближайшее значение.

Границы действия частных коэффициентов аварийности отмечают с учетом данных табл. 9.1.

4. Границы каждого из выделенных участков сносят в графу итоговых коэффициентов аварийности. В результате четко выделяются границы участков дороги, однородных по степени обеспеченности безопасности движения.

В пределах указанных границ последовательно определяют итоговые коэффициенты аварийности перемножением частных коэффициентов аварийности, действующих на данном участке по всем графам.

5. Строят график коэффициентов аварийности, пики которого характеризуют участки дороги, наиболее опасные для возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Таблица 9.1. Зоны влияния частных коэффициентов аварийности

Элементы дороги	Протяжение зоны влияния
Подъемы и спуски	100 м за вершиной подъема 150 м после подошвы спуска
Пересечения в одном уровне	По 50 м в каждую сторону
Кривые в плане с обеспеченной видимостью при $R>400$ м	То же
Кривые в плане при необеспеченной видимости при $R<400$ м	По 100 м в каждую сторону
Мосты и путепроводы	По 75 м в каждую сторону
Пересечения в разных уровнях	В пределах между примыканиями переходно-скоростных полос и правоповоротных съездов к основной дороге

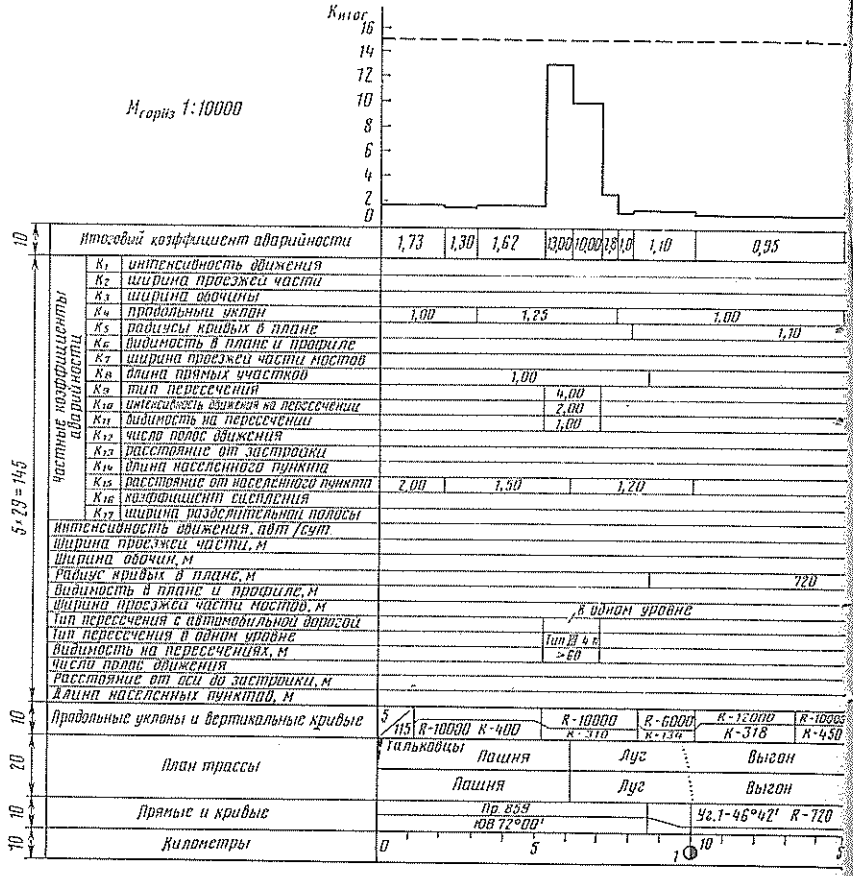
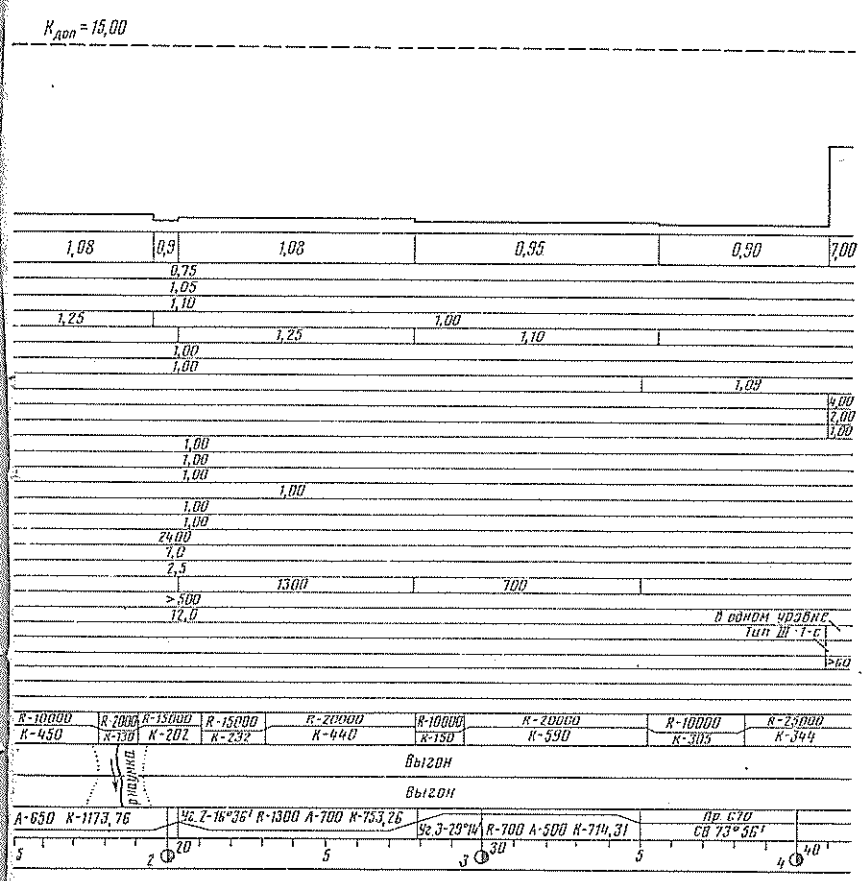


Рис. 9.1. График коэф



фициентов аварийности

Вертикальный масштаб графика коэффициентов аварийности назначается произвольно. На графике горизонтальной штриховой линией наносится значение допускаемого коэффициента аварийности. Участки дороги, на которых величина итогового коэффициента аварийности превышает допускаемую величину, подлежат перепроектированию, или намечаются дополнительные мероприятия, которые обеспечат безопасность движения. При этом сначала устанавливаются причины, из-за которых участок дороги является опасным, а затем намечаются конкретные мероприятия по их устранению (увеличение радиусов кривых в плане и профиле, снижение величины продольного уклона, обеспечение видимости и т. д.).

Как следует из рис. 9.1, на всем протяжении проектируемого участка дороги итоговый коэффициент аварийности не превышает допускаемую величину. Следовательно, дополнительных мероприятий по обеспечению безопасности движения на участке автомобильной дороги не требуется.

10. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Охрана окружающей среды является одной из важнейших и актуальных проблем. Она приобрела общегосударственное значение. Все решения партии и правительства по охране окружающей среды должны находить свое воплощение и в проектах автомобильных дорог.

По площади занимаемых земельных угодий дороги выделяются из других инженерных сооружений. Только на строительство 1 км

современной автомобильной магистрали требуется до 10 га площади. Дополнительная территория требуется для размещения глубоких выемок и высоких насыпей, транспортных развязок, сооружений обслуживания движения и зданий дорожной и автотранспортной службы, снегозащитных устройств, струенаправляющих дамб и траверсов, нагорных канав, срезок грунта и вырубки леса для обеспечения видимости, автобусных остановок с павильонами.

На период строительства отводятся земли, необходимые для размещения временных сооружений, отвалов растительного грунта и проезда транспортных средств. Много места требуют боковые резервы, которые не допускается устраивать на пашне, на орошаемых или осушенных землях, на земельных участках с многолетними плодовыми насаждениями и виноградниками. Изъятие из сельскохозяйственного использования земельной площади — наиболее важный фактор воздействия дорог на окружающую среду [22]. Излишнего отвода земель следует избегать и потому, что они служат рассадником сорняков. Между собственно земляным полотном дороги и сельскохозяйственными угодьями или лесом не должно быть запущенной переходной зоны.

Сохранение при строительстве дороги сельскохозяйственных угодий и заповедных мест достигается в первую очередь тщательным трассированием и обходом их границ. Уменьшить размеры площади отвода можно путем выбора рациональных решений — сокращения протяжения и высоты насыпей, глубины выемок, увеличения крутизны откосов, уменьшения числа транспортных развязок.

Земли, отводимые на период строительных работ под резервы, временные сооружения, подъездные пути, подлежат возврату землепользователям только после их рекультивации.

Постройка дороги всегда изменяет сложившееся экологическое равновесие местности. Особенно грубые нарушения окружающей среды происходят, если проектные решения не учитывают местные климатические условия района. Так, например, нарушение режима вечномерзлых грунтов на севере приводит к бурному развитию термокарстовых процессов, сплыванию откосов и активизации наледей.

В заболоченных районах постройка дорог часто нарушает поверхностный сток и фильтрацию воды в толще торфа. С нагорной стороны возможны застои воды, усиливающие процессы заболачивания. В осушаемых районах система дорожного водоотвода на болотах должна включаться в единую мелиоративную сеть и учитывать создаваемый на болотном массиве оптимальный водный режим.

В лесостепных и степных районах отрицательное воздействие дорог на окружающую среду проявляется в основном в нарушении принципов ландшафтной композиции дороги, т. е. размещение трассы между лесными массивами, ценность которых для ландшафта тем выше, чем реже они встречаются. Прорезание дорогой небольших рощ или расчистка подлеска у их опушек нарушает сложившийся в них микроклимат и может привести к засыханию деревьев, граничащих с дорогой.

В степных и лесостепных районах дороги могут стать причиной развития процессов эрозии — смыва почвенного слоя и образования оврагов у мест сосредоточенного сбрасывания воды с дороги. Загрязнение воды илом вследствие эрозии почв до такой степени замутняет воду, что водные растения и планктон погибают в результате их неспособности в этих условиях к фотосинтезу органической пищи, а это, в свою очередь, снижает уровень содержания кислорода в воде и приводит к массовой гибели промысловой рыбы и других организмов, служащих ей пищей. Там, где в полосе проложения дороги имеются пруды, их следует сохранять. Для этого трасса совмещается с существующей плотиной или пруд пересекается эстакадой, чтобы не изменить бытовых условий. При пересечении дорогой водотока или суходола выше пруда или водохранилища в проекте водопропускного сооружения предусматриваются меры против заиливания пруда. В верхнем бьефе сооружения устраиваются решетки и наносоуловители в виде приямков перед входом в трубу.

Дороги следует включать в комплексную с сельским хозяйством систему противоэрозионных мероприятий с устройством придорожных водохранилищ, обогащающих ландшафт и используемых для отдыха и сельскохозяйственных целей.

В засушливых песчаных пустынях постройка автомобильной дороги часто вызывает перенос песков, слабо закрепленных скудной растительностью, которая уничтожается на придорожной полосе при строительстве. Продуманные проектные решения могут способствовать закреплению песчаного рельефа.

В горных районах склоны обычно состоят из скальных пород, прикрытых продуктами выветривания, которые часто находятся в состоянии предельного равновесия. При строительстве дороги меняется нагрузка на эти склоны и происходит их подрезание, что активизирует оползневые явления. Поэтому в проектах предусматриваются мероприятия по повышению устойчивости склонов: устройство раздельного полотна автомагистралей и ступенчатого расположения проезжих частей; замена высоких насыпей эстакадами; осушение оползневых массивов; устройство подпорных стенок; закрепление оползневого массива сваями и др.

Для дорожного строительства охрана окружающей среды особенно актуальна потому, что со сдачей дороги в эксплуатацию места, ранее привлекающие к себе только немногочисленных жителей прилегающих населенных пунктов, становятся доступными миллионам людей. Это требует отражения в проектах дорог принципов технической эстетики—создания принятых, активизирующих работоспособность, условий восприятия дороги и придорожной обстановки водителями и пассажирами, а также мероприятий по защите придорожной полосы от всех нарушений, которые возможны при сосредоточении на ней большого числа людей.

Важной задачей охраны окружающей среды являются удаление сточных вод с проезжей части и их очистка. Дождевой, талый и поливомоечный сток загрязнен веществами неорганического и орга-

нического происхождения: нефтепродуктами, твердыми частицами из отработавших газов, противогололедными солями, пылью, маслами, частицами грунта, перенесенными на кузове или колесах автомобилей с окружающей территории. Все это наносит существенный ущерб водоемам окружающим дорогу землям, в которые он впитывается. Для очистки воды, сбрасываемой с площадок и стоянок автомобилей через ливневую канализацию в систему водостоков, устраивают грязевые ловушки и отстойники. Их проектируют в водоохранных зонах вблизих АЗС, СТО, стоянок автомобилей, моек и в других местах, где имеется сток с повышенным содержанием вредных примесей.

Постройка дороги отражается и на условиях жизни животного мира. Дорога, пересекая лес, нарушает привычные пути передвижения животных к местам кормежки и водопоя. В результате создается опасность тяжелых происшествий при наездах на неожиданно выбегающих на дорогу животных, а при пересечении заповедников, помимо этого, нарушаются необходимые для разведения животных естественные условия их обитания. Поэтому для сохранения единства пересекаемого массива предусматриваются ограждения дороги, замена труб мостами и переходы под насыпями.

Таким образом, к комплексу проблем защиты окружающей среды относятся охрана ландшафта, растительного и животного мира, памятников истории и культуры народов; борьба с шумом, загрязнением воздуха, почв, поверхностных и грунтовых вод; предупреждение эрозии, снижение потребности в грунте для возведения насыпей; полнота обслуживания движения с наименьшим в то же время ущербом для окружающей среды, а также обустройство придорожной полосы. Одним из основных способов охраны среды и в то же время повышения качества дорог становится архитектурно-ландшафтное проектирование, призванное упорядочить взаимосвязь элементов дороги друг с другом и с элементами ландшафта. Его основное направление — пространственное клотоидное трассирование, вписывание дороги в ландшафт и зрительное ориентирование. Вопросы охраны окружающей среды необходимо рассматривать на всех этапах составления проекта дороги: от трассирования до проектирования отдельных конструктивных элементов. Так, для рассматриваемого в качестве примера участка дороги вопросы охраны окружающей среды нашли свое отражение при проектировании трассы (использованы принципы увязки трассы с ландшафтом и клотоидное трассирование), продольного профиля и земляного полотна (насыпи и выемки запроектированы обтекаемого очертания с оптимальной высотой и глубиной, предусмотрена рекультивация земель, высокие насыпи предусмотрено отсыпать из привозного грунта, решены вопросы поверхностного водоотвода), оборудования и благоустройства дороги (количество транспортных развязок принято минимальным, предусмотрено снегозащитное и декоративное озеленение).

II. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

При проектировании автомобильных дорог рассматриваемые варианты дороги сравнивают по эксплуатационно-техническим и экономическим показателям. Наилучшим является вариант, который обеспечит лучшие дорожные условия для работы транспортных средств и будет более экономичным.

11.1. ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАПРОЕКТИРОВАННОЙ ДОРОГИ

Эксплуатационно-технические показатели (табл. 11.1) влияют на скорость и производительность автомобилей, которая оценивается объемом перевозок и грузооборотом. От производительности автомобилей зависит себестоимость перевозок, т. е. экономичность работы автотранспорта. Более высокие эксплуатационно-технические показатели запроектированной дороги позволяют меньшим количеством автомобилей перевозить больше грузов.

Из табл. 11.1 видно, что по эксплуатационно-техническим показателям лучшим является II вариант дороги.

Таблица 11.1. Эксплуатационно-технические показатели

№ п/п	Показатели	Варианты		Преимущества варианта	
		I	II	I	II
1	Длина трассы, км	4,18	4,17	—	+
2	Коэффициент удлинения	1,1	1,097	—	+
3	Средняя величина угла поворота	31°40′	30°51′	—	+
4	Минимальный радиус поворота, м	1000	700	+	—
5	Обеспечение видимости	Обеспечена		=	=
6	Максимальный уклон профиля, ‰	42	45	+	—
7	Минимальный радиус выпуклой кривой, м	10 000	10 000	=	=
8	Количество пересечений в одном уровне	1	1	=	=
9	Протяжение участков, неблагоприятных для устойчивости земляного полотна, м	0,33	0,15	—	+
10	Протяжение участков, проходящих по лесу, км	0,20	—	—	+
11	Протяжение участков, проходящих по сельскохозяйственным землям, км	1,3	0,7	—	+
12	Максимально итоговый коэффициент аварийности	13,4	13	—	+
13	Количество труб, шт./м	3/62,8	3/77,0	+	—
14	Количество мостов, шт./м	1/12,10	1/12,10	=	=
15	Объем оплачиваемых земляных работ, тыс. м³	113,84	115,57	+	—

11.2. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАПРОЕКТИРОВАННОЙ ДОРОГИ

Основными экономическими показателями запроектированной дороги являются:

1. Коэффициент эффективности E — количественный измеритель уровня эффективности капиталовложений в строительство дороги

$$E = \frac{C^{I} - C^{II}}{K^{II} - K^{I}}, \qquad (11.1)$$

где C^{I}, C^{II} — текущие затраты по вариантам дороги; K^{I}, K^{II} — капитальные вложения в строительство вариантов дороги.

Нормативный коэффициент эффективности $E_{н} = 0{,}12$.

2. Срок окупаемости капиталовложений в строительство дороги

$$T = \frac{K^{II} - K^{I}}{C^{I} - C^{II}}. \qquad (11.2)$$

Нормативный срок окупаемости $T_{н} = 8{,}4$ лет.

3. Годовой объем перевозок

$$Q = \frac{307 N q_{ср} \beta \gamma}{K}, \qquad (11.3)$$

где 307 — число дней работы автомобиля в году; N — интенсивность движения по дороге; $q_{ср}$ — средняя грузоподъемность автомобилей; β — коэффициент использования пробега автомобилей; принимается 0,60—0,65; γ — коэффициент использования грузоподъемности, принимается 0,90—0,95; K — коэффициент, учитывающий необъемные перевозки, принимается 1,1—1,2.

4. Количество транспортной работы за год (грузооборот)

$$T_{р} = QL, \qquad (11.4)$$

где L — длина дороги, км.

5. Сумма транспортных расходов на перевозку грузов автомобилями

$$C_{а} = C_{пер} + C_{пост} + З, \qquad (11.5)$$

где $C_{пер}$ — переменные транспортные расходы;

$$C_{пер} = \Sigma T_{р} \frac{K_{у} S_{пер}}{q \beta \gamma}, \qquad (11.6)$$

$C_{пост}$ — постоянные транспортные расходы;

$$C_{пост} = \Sigma T_{р} \frac{S_{пост}}{q v \beta \gamma}; \qquad (11.7)$$

$З$ — заработная плата водителей;

$$З = \Sigma T_{р} d; \qquad (11.8)$$

Таблица 11.2. Расчетные нормативы затрат на эксплуатацию автомобилей

Автомобили и их грузоподъемность	Нормативы, коп.		Заработная плата водителя на 1 машину, коп.
	переменные на 1 маш-км пробега	постоянные на 1 маш-ч работы	
1	2	3	4
I. Бортовые			
ГАЗ-53А (4 т)	5,78	39,0	53,9
ЗИЛ-130Г (5 т)	7,29	39,0	53,9
МАЗ-500 (7,5 т)	7,99	45,0	59,6
Урал-377 (7,5 т)	12,48	45,0	59,6
КрАЗ-257 (12 т)	12,73	55,0	65,9
II. Самосвалы			
ГАЗ-53Б (3,5 т)	6,67	36,0	59,6
ЗИЛ-ММЗ-555 (4,5 т)	7,94	39,0	59,6
МАЗ-500Б (7 т)	9,33	45,0	65,9
КрАЗ-256Б (11 т)	13,08	54,0	72,9
III. Автопоезда			
ЗИЛ-130 В1 с полуприцепом	10,94	45,0	72,9
Урал с полуприцепом ОдАЗ-935	17,59	59,0	72,9
МАЗ-504 с полуприцепом	12,49	59,0	72,9
ЗИЛ-130Г с прицепом	10,75	45,0	59,6
МАЗ-500 с прицепом	13,15	59,0	65,9
IV. Автобусы			
ПАЗ-652	6,64	36,0	67,0
ЛАЗ-697 Е «Турист»	8,55	52,0	75,4
V. Легковые			
Москвич-408	2,02	26,0	49,5
ГАЗ-24 «Волга»	3,30	27,0	51,2

Таблица 11.3. Сдельные расценки оплаты труда водителей

Грузоподъемность автомобиля, т	Расценки оплаты труда водителей, коп., по группам дорог			Грузоподъемность автомобиля, т	Расценки оплаты труда водителей, коп., по группам дорог		
	с усовершенствованным покрытием	с покрытием переходного типа, улучшенные	естественные грунтовые		с усовершенствованным покрытием	с покрытием переходного типа, улучшенные	естественные грунтовые
3,5	0,76	0,97	1,28	8,0	0,37	0,47	0,62
4,0	0,67	0,85	1,12	10,0	0,30	0,38	0,50
5,0	0,54	0,68	0,90	12,0	0,27	0,35	0,46
7,0	0,43	0,54	0,70				

Таблица 11.4. **Коэффициенты, учитывающие влияние дорожных условий на эксплуатацию автомобилей $K_у$**

Категория дороги	Покрытие	Коэффициенты при рельефе местности		
		равнинном	пересеченном	горном
1	2	3	4	5
I	Усовершенствованное капитальное	1,00	1,01	1,03
II	То же	1,00	1,01	1,03
III	»	1,00	1,02	1,04
	Облегченное	1,04	1,05	1,07
	Переходного типа	1,25	1,26	1,29
IV	Усовершенствованное облегченное	1,08	1,09	1,11
	Переходного типа	1,30	1,31	1,34
	Низшего типа	1,60	1,62	1,65
V	Переходного типа	1,35	1,36	1,39
	Низшего типа	1,70	1,62	1,75
	Построенные грунтовые дороги в хорошем состоянии	2,00	2,02	2,06
	Естественные грунтовые дороги в неудовлетворительном состоянии	2,50—3,00	2,50—3,00	2,50—3,00

$S_{пер}$ и $S_{пост}$ — расчетные нормативы переменных и постоянных затрат на эксплуатацию автомобилей (табл. 11.2); d — расценка оплаты труда водителей на 1 т·км (табл. 11.3); $K_у$ — коэффициент, учитывающий влияние дорожных условий (табл. 11.4).

6. Суммарные приведенные затраты

$$P_{пр}=\frac{E_н}{E_{нп}}K_{пр}+\sum_1^{t_c}\frac{C_t}{(1+E_{нп})^t}, \qquad (11.9)$$

где $K_{пр}$ — приведенная величина единовременных затрат; t_c — срок сравнения вариантов дороги; C_t — текущие затраты в год.

11.3. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ДОРОГИ

Для выбора лучшего из запроектированных вариантов дороги пользуются методом сравнительной эффективности, который показывает, на сколько один вариант по капитальным вложениям эффективнее другого. Если сравнение вариантов производится на основе сопоставления затрат за срок, не превышающий 30 лет, сравнительная эффективность вариантов выявляется сопоставлением суммарных приведенных затрат, определяемых по формуле (11.9), учитывающей все единовременные и текущие затраты. Единовременные затраты включают в себя: капиталовложения в строительство дороги; капиталовложения, необходимые для реконструкции или технического перевооружения дороги в процессе эксплуатации; затраты на капитальные ремонты дороги; капиталовложения в автомобильный транспорт; величину потерь народного хозяйства от изъятия сельскохозяйственных земель и другие затраты. Текущие затраты включают в себя: ежегодные затраты на текущий ремонт и содержание дороги; затраты на средние ремонты дороги, отнесенные к одному году межремонтного срока службы; затраты на перевозку грузов и погрузочно-разгрузочные работы; потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями, и другие затраты.

Суммарные приведенные к исходному году затраты при сравнении вариантов запроектированной дороги ориентировочно можно определить по формуле

$$P_{пр}=\frac{E_н}{E_{нп}}\times$$

$$\times\left(K+\sum_1^n\frac{K_{кр}}{(1+E_{нп})^t}\right)+\sum_1^m\frac{C_{ср.р}}{(1+E_{нп})^{t_{ср.р}}}+\sum_1^{t_{ср}}\frac{C_{тр}}{(1+E_{нп})^t}+C_а. \qquad (11.10)$$

Пример. Установить лучший из запроектированных вариантов дороги по суммарным приведенным затратам.

Исходные данные

	I вариант	II вариант
1. Длина дороги L, км	4,18	4,17
2. Вырубка леса га	4,0	—
3. Корчевка пней, га	12,6	—
4. Искусственные сооружения: железобетонные трубы $d=1{,}0\times 2$, м	20,45	—
$d=1{,}25$, м	19,63	27,88
$d=1{,}50$, м	22,70	22,43
$d=1{,}25\times 2$, м	—	26,70
железобетонный мост, м	12,10	12,10
5. Объем земляных работ, м³	113 838	115 566
6. Покрытие	асфальтобетонное	
7. Перспективная интенсивность движения N_{20}, авт./сут	2400	2400
8. Интенсивность исходного года $N_0=\frac{N_{20}}{m_{20}}=\frac{2400}{6{,}72}$ авт./сут	357	357

9. Состав движения и расчетные нормативы затрат (табл. 11.5).

10. Средняя техническая скорость (табл. 11.6)

$$v=40 \text{ км/ч}.$$

11. Коэффициент, учитывающий влияние дорожных условий,

$$K_у=1{,}02 \text{ (см. табл. 11.4)}.$$

12. Стоимость 1000 м² дорожной одежды (из примера выбора дорожной одежды)

$$C=9{,}21 \text{ тыс. руб.}$$

Таблицы 11.5. Расчетные нормативы затрат

Марка автомобиля	Грузоподъемность q, т	% автомобилей в составе движения	$S_{пер}$, коп.	$S_{пост}$, коп.	d, коп.
ЗИЛ-130	5	45	7,29	39	53,9
МАЗ-500А	8	7	7,99	45	59,6
КамАЗ-5320	8	10	7,99	45	59,6
ЗИЛ-ММЗ-554	4	15	7,94	39	59,6
КрАЗ-256Б	7,5	5	13,08	54	72,9
ЛиАЗ-667	14	7	13,32	60	—
Легковые	1	11	3,30	27,0	—

Таблица 11.6. Средняя техническая скорость грузовых, легковых автомобилей и автобусов на дорогах с различным типом покрытия

Категория дороги	Покрытие	Равнинный рельеф			Пересеченный рельеф			Горный рельеф		
		Средняя техническая скорость автомобилей								
		грузовых	автобусов	легковых	грузовых	автобусов	легковых	грузовых	автобусов	легковых
I	Усовершенствованное капитальное	65	70	100	60	65	90	50	55	80
II	То же	55	60	80	50	55	75	40	45	60
	Усовершенствованное облегченное	50	55	70	40	50	60	35	35	50
III	Усовершенствованное капитальное	50	55	68	40	50	65	35	35	55
	Усовершенствованное облегченное	45	50	60	35	45	55	30	30	45
	Твердое переходного типа	35	40	50	30	35	45	25	25	40
IV	Усовершенствованное облегченное	35	40	45	30	35	40	25	25	35
	Твердое переходного типа	30	35	40	25	30	35	20	20	30
	Низшего типа	25	30	35	22	25	30	17	17	25
V	Твердое переходного типа	25	25	35	22	22	30	17	17	25
—	Низшего типа	20	20	30	18	18	25	14	14	20
—	Построенные грунтовые дороги в хорошем состоянии	15—20	15—20	25—30	13—18	13—18	20—25	10—14	10—14	15—20
—	Естественные грунтовые дороги в неудовлетворительном состоянии	10—15	—	—	8—13	—	—	7—10	—	—

Расчет

1. Стоимость затрат на вырубку леса и корчевку пней

$$K_л = П_л C_л + П_к C_к,$$

где $П_л$ — площадь вырубки, га; $C_л$ — стоимость вырубки 1 га (табл. 11.7);

$$K_л^I = 4,0 \cdot 564 + 12,6 \cdot 282 = 5,81 \text{ тыс. руб};$$

$$K_л^{II} = 0.$$

Таблица 11.7. Укрупненные показатели стоимости отдельных конструктивных элементов и видов работ

№ п/п	Наименование конструктивных элементов и видов работ	Укрупненная стоимость, руб.
1	Вырубка леса средней крупности, густого, га	564
2	То же, средней густоты, га	361
3	» редкого, га	157
4	Вырубка мелкого леса и кустарника, га	282
5	Трубы круглые железобетонные, м:	
	d=0,75 м	35
	d=1,00 м	60
	d=1,25 м	80
	d=1,50 мм	110
	d=2,00 м	165
6	Трубы прямоугольные из сборного бетона отверстием $b \times h$, м:	
	1,5×2,0	704
	2,0×2,0	773
	2,0×3,0	977
	3,0×2,0	1097
	3,0×3,0	1304
	4,0×3,0	1491
	5,0×3,0	1629
	6,0×3,0	1759
7	Малые мосты, м	850
8	Механизированные земляные работы, 1000 м³:	
	1-я группа грунтов	619
	2-я » »	753
	3-я » »	894

2. Стоимость затрат на строительство земляного полотна

$$K_з = VC_з,$$

где V — объем земляных работ, м³; $C_з$ — стоимость земляных работ (табл. 11.7).

$$K_з^I = 113\,838 \cdot 0,753 = 85,72 \text{ тыс. руб.};$$

$$K_з^{II} = 115\,566 \cdot 0,753 = 87,02 \text{ тыс. руб.}$$

3. Стоимость затрат на строительство искусственных сооружений

$$K_и = l_1 C_1 + l_2 C_2 + l_3 C_3 + l_4 C_4,$$

где l — длина сооружения, м;
C_1 — укрупненный показатель стоимости 1 м (см. табл. 11.7);

$$K_и^I = 20,45 \cdot 60 + 19,63 \cdot 80 + 22,70 \cdot 110 + 12,10 \cdot 850 = 15,579 \text{ тыс. руб.};$$

$$K_и^{II} = 22,88 \cdot 80 + 22,43 \cdot 110 + 26,70 \cdot 160 + 12,10 \cdot 850 = 19,254 \text{ тыс. руб.}$$

4. Стоимость затрат на строительство дорожной одежды

$$K_{д.о} = П_{д.о} C_{д.о},$$

где $П_{д.о}$ — площадь дорожной одежды; $C_{д.о}$ — стоимость 1000 м² дорожной одежды.

$$K_{д.о}^I = 4,18 \cdot 8 \cdot 9,21 = 307,98 \text{ тыс. руб.};$$

$$K_{д.о}^{II} = 4,17 \cdot 8 \cdot 9,21 = 307,25 \text{ тыс. руб.}$$

5. Общая стоимость строительства дороги:

$$K^{I}=5,81+85,72+15,58+307,98=415,09 \text{ тыс. руб.};$$

$$K^{II}=87,02+19,25+307,25=413,52 \text{ тыс. руб.}$$

6. Средняя грузоподъемность автомобилей состава движения

$$q_{ср}=q_1\frac{P_1}{100}+q_2\frac{P_2}{100}+q_3\frac{P_3}{100}+q_5\frac{P_5}{100}=5\cdot0,45+8\cdot0,07+$$
$$+8\cdot0,10+4\cdot0,15+7,5\cdot0,05+14\cdot0,07+1\cdot0,11=5,68 \text{ т.}$$

7. Годовой объем перевозок

$$Q=\frac{307N_0\,q_{ср}\,\beta\gamma}{K}=\frac{307\cdot357\cdot5,68\cdot0,62\cdot0,92}{1,15}=308\,771 \text{ т.}$$

8. Транспортная работа за год $T_р = QL$:

$$T_р^{I}=308\,771\cdot4,18=1290,66 \text{ тыс. т·км};$$

$$T_р^{II}=308\,771\cdot4,17=1287,58 \text{ тыс. т·км.}$$

9. Переменные транспортные расходы на 1 км:

$$C_{пер}=\Sigma T_р\frac{K_у\,S_{пер}}{q\beta\gamma};$$

$$C_{пер}^{I}=\frac{1290,66}{0,62\cdot0,92}\left(\frac{1,02\cdot0,0729}{5}+\frac{1,02\cdot0,0799}{8}+\frac{1,02\cdot0,0799}{8}+\right.$$
$$\left.+\frac{1,02\cdot0,0794}{4}+\frac{1,02\cdot0,1308}{7,5}\right)=2262,73\cdot0,073=165,18 \text{ тыс. руб.};$$

$$C_{пер}^{II}=\frac{1287,58}{0,62\cdot0,92}0,073=164,79 \text{ тыс. руб.}$$

10. Постоянные транспортные расходы:

$$C_{пост}=\Sigma T_р\frac{S_{пост}}{qv\beta\gamma};$$

$$C_{пост}^{I}=2262,73\left(\frac{0,39}{5\cdot40}+\frac{0,45}{8\cdot40}+\frac{0,45}{8\cdot40}+\frac{0,39}{4\cdot40}+\frac{0,54}{7,5\cdot40}\right)=$$
$$=2262,73\cdot0,009=20,36 \text{ тыс. руб.};$$

$$C_{пост}^{II}=2257,33\cdot0,009=20,32 \text{ тыс. руб.}$$

11. Заработная плата водителей $З = \Sigma T_р d$:

$$З^{I}=1290,66\,(0,0054+0,0037+0,0037+0,0067+0,0043)=$$
$$=1290,66\cdot0,00238=3,07 \text{ тыс руб.};$$

$$З^{II}=1287,58\cdot0,00238=3,06 \text{ тыс. руб.}$$

12. Затраты на перевозку грузов автомобилями:

$$C_а^{I}=165,18+20,36+3,07=188,61 \text{ тыс. руб.};$$

$$C_а^{II}=164,79+20,32+3,06=188,17 \text{ тыс. руб.}$$

13. Суммарные приведенные затраты (затраты на капитальный, средний и текущий ремонты и содержание дороги определены в примере выбора варианта дорожной одежды):

$$P_{пр}=\frac{E_и}{E_{нп}}\left(K+\sum_1^n\frac{K_{кр}}{(1+E_{нп})^{t_{кр}}}\right)+$$
$$+\sum_1^m\frac{C_{ср.р}}{(1+E_{нп})^{t_{ср.р}}}+\sum_1^{t_{ср}}\frac{C_{тр}}{(1+E_{нп})^{t}}+C_а;$$

$$P_{пр}^{I}=\frac{0,12}{0,08}(415,09+4,18\cdot8\cdot0,92)+4,18\cdot8\cdot0,62+4,18\cdot8\cdot0,57+$$
$$+188,61=897,18 \text{ тыс. руб.};$$

$$P_{пр}^{II}=\frac{0,12}{0,08}(413,52+4,17\cdot8\cdot0,92)+4,17\cdot8\cdot0,62+$$
$$+4,17\cdot8\cdot0,57+188,17=894,21 \text{ тыс. руб.}$$

Второй вариант дороги является экономичнее первого.

12. ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Одним из обязательных условий успешного решения задач, стоящих перед дорожниками, является повышение качества проектов автомобильных дорог.

Развитие науки и техники требует непрерывного совершенствования технологии и методов проектно-изыскательских работ. Большие перспективы в этой области дает разработанная в СССР система автоматизированного проектирования автомобильных дорог и искусственных сооружений (САПР—АД), которая требует перестройки традиционных методов проектирования, дает возможность сократить сроки проектирования, повысить его качество и точность расчетов. Характерной особенностью ЭВМ является их быстродействие, т. е. возможность выполнения большого объема арифметических расчетов в единицу времени и автоматизации чертежных работ и всего процесса проектирования.

Автоматизация проектных работ на основе широкого использования электронно-вычислительной техники дает возможность значительно повысить эффективность работы проектировщиков и качество проектно-сметной документации путем:

применения математических методов оптимизации проектных решений;

разработки и сравнения большого числа конкурентноспособных вариантов и выбора из них наиболее близкого к оптимальному;

повышения точности инженерных расчетов при применении более совершенных методов расчета, не используемых при ручном проектировании из-за значительной трудности и сложности;

Таблица 12.1. **Перечень отдельных программ Союздорпроекта для ЭВМ ЕС-1022**

№ п/п	Наименование программ	Краткая характеристика
1	2	3
1	Программа определения экономической эффективности капитальных вложений в строительство дорог	Предусматривает расчет срока окупаемости капитальных вложений в строительство автомобильной дороги, сопоставляет единовременные капитальные вложения и текущие затраты при строительстве новой дороги и при сохранении существующих условий
2	Программа проектирования трассы по методу аппроксимации последовательности точек	Отвечает требованиям клотоидного трассирования и соединяет между собой элементы трассы: клотоиды, отрезки клотоид, круговые кривые и прямые
3	Комплексная программа по проектированию трассы автомобильных дорог в плане	Включает четыре самостоятельные подпрограммы, которые могут работать как в комплексе, так и автономно: расчет геометрических элементов плана трассы; расчет координат магистрального хода; расчет координат главных и промежуточных точек; детальная разбивка трассы от магистрального хода
4	Программа увязки проектной линии с подсчетом проектных и рабочих отметок	Предназначена для увязки элементов проектной линии по методу опорных точек. Рассматривает все возможные типы сопряжений и соединений
5	Программа проектирования оптимального продольного профиля автомобильной дороги	Позволяет проводить оптимизацию проектной линии последовательно по трем критериям: минимуму профильной кубатуры, стоимости возведения земляного полотна и строительной стоимости. Рекомендуется для использования при проектировании продольного профиля дороги в сложных условиях пересеченной и сильнопересеченной местности
6	Программа по подсчету объемов земляных и укрепительных работ автомобильных дорог в равнинной местности и т. д.	Определяет объемы работ по рабочим отметкам продольного профиля с учетом поправок на двухскатный поперечный профиль, на устройство дорожной одежды, на снятие и замену растительного грунта и на уплотнение насыпи

улучшения технико-экономических показателей проектируемых дорог вследствие лучшей проработки проектных решений и вопросов организации строительства;

сокращения сроков выполнения проектных работ, роста производительности труда проектировщиков.

В табл. 12.1 приведены сведения о некоторых программах для ЭВМ ЕС-1022 по изысканиям и проектированию автомобильных дорог, разработанных Союздорпроектом, и их назначении.

В табл. 12.1 представлен далеко не полный перечень программ, используемых при проектировании автомобильных дорог. Разработаны программы на проектирование дорожной одежды, виражей, построение графиков скоростей и коэффициентов безопасности движения, расчеты объемов ливневого и талого стока, определение расчетного расхода с учетом аккумуляции, составление смет, определение отверстий мостов, проектирование пересечений дорог и т. д.

Крупные проектные дорожные организации в настоящее время широко применяют автоматизированное проектирование автомобильных дорог. Разработанные программы используют и малые проектные организации, арендующие машинное время в вычислительных центрах.

Автоматизация проектирования рассматривается не как самостоятельная цель, а как средство для оптимизации проектов. В разработке программ автоматизированного проектирования участвуют ведущие проектировщики, во всех деталях хорошо представляющие себе процесс проектирования сооружений определенного вида.

Результаты автоматизированного проектирования ЭВМ выдает на бумажной ленте. Анализ результатов включает ознакомление со всей областью возможных проектных решений и установление оптимального решения. Углубленная проработка принятого проектного решения, выполнение чертежей, составление ведомостей объемов работ, написание пояснительной записки и размножение проектной документации осуществляются так же, как и при неавтоматизированном проектировании.

13. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Курсовой проект по предмету «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» является первым проектом, выполняемым учащимися дорожно-строительной специальности. Методические указания по его выполнению даны ниже.

13.1. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Каждому учащемуся выдается индивидуальное задание на выполнение курсового проекта. Примерная длина проектируемого участка автомобильной дороги 3—4 км.

Задание на курсовое проектирование рекомендуется выдавать после изучения темы «Общие принципы проложения трассы и проектирования дорог в различных природных условиях с учетом безопасности движения и охраны природы».

Ниже приводится примерный текст задания на выполнение курсового проекта. Курсовой проект выполняется параллельно изучению теоретического материала.

МИНИСТЕРСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РСФСР

Управление учебных заведений

_____ техникум

ЗАДАНИЕ №

по выполнению курсового проекта по «Изысканиям и проектированию автомобильных дорог»

учащемуся _____
(фамилия, и.о.)

_____отделения_____курса группы_____

Составить проект участка автомобильной дороги между заданными на карте пунктами А и Б _____

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Район проектирования — Новгородская обл.
2. Топографическая карта масштаба 1 : 10 000 с сечением горизонталей через 2,5 м и указанием начального и конечного пунктов участка дороги.
3. Расчетная перспективная интенсивность движения на ближайшие 20 лет 2400 авт./сут.
4. Состав движения: ЗИЛ-130 45 %; МАЗ-500А 7 %; КамАЗ-5320 с одноосным прицепом 10 %; ЗИЛ-ММЗ-554 5%; КрАЗ-256 Б 1 5 %; автобусы 7 %; легковые 11 %.
5. Ежегодный рост интенсивности движения 10 %.
6. Грунтовый разрез: растительный слой 0—10 см;
суглинок тяжелый 10—100—180 см;
глина — ниже.
7. Глубина залегания грунтовых вод 1,3 м.
8. Наименование и место расположения карьеров дорожно строительных материалов: каменный карьер — пк 11, влево 250 м у горы Белой; песчано-гравийный карьер — пк 18, вправо 1500 м; песчаный карьер — пк 0 на юго-запад 300 м.
9. Привозные материалы: битум, цемент, минеральный порошок.

Состав расчетно-пояснительной записки

Введение.

Часть I. Общая часть.

1.1. Характеристика района изысканий (экономическая, климат, рельеф, инженерно геологические условия, почвенно-грунтовые условия, растительность, гидрологические и гидрогеологические условия).

1.2. Таблица норм на проектирование участка дороги.

Часть 2. План и продольный профиль дороги.

Раздел 1. План трассы.

2.1. Назначение вариантов трассы на карте (описание воздушной линии, I и II вариантов трассы).

2.2. Ведомость углов поворота, прямых, круговых и переходных кривых.

2.3. Сравнение вариантов трассы по эксплуатационно-техническим показателям.

Раздел 2. Продольный профиль.

2.4. Определение величины рекомендуемой рабочей отметки.

2.5. Таблица расчета элементов проектной линии.

2.6. Краткое описание проектной линии.

Часть 3. Земляное полотно и дорожная одежда.

Раздел 1. Земляное полотно.

3.1. Поперечные профили земляного полотна.

3.2. Водоотвод.

3.3. Ведомость попикетного подсчета объемов земляных работ.

3.4. Покилометровая ведомость объемов земляных работ.

3.5. Ведомость укрепления откосов земляного полотна.

Раздел 2. Дорожная одежда.

3.6. Определение требуемого модуля упругости дорожной одежды.

3.7. Назначение вариантов конструкции дорожной одежды.

3.8. Поверочный расчет одного варианта дорожной одежды.

3.9. Сравнение вариантов конструкции дорожной одежды.

3.10. Таблица расхода дорожно-строительных материалов на устройство дорожной одежды.

Часть 4. Искусственные сооружения.

4.1. Таблица исходных данных для определения отверстий малого моста и трубы.

4.2. Проектирование малого моста.

4.3. Проектирование дорожной водопропускной трубы.

4.4. Ведомость проектируемых труб и мостов.

Часть 5. Обустройство дороги, организация и безопасность движения.

5.1. Дорожные устройства (автобусные остановки, переходно-скоростные полосы, пересечения и примыкания).

5.2. Обстановка дороги (дорожные знаки, ограждения и направляющие устройства, разметка, озеленение дороги).

Часть 6. Охрана окружающей среды.

6.1. Рекультивация земель, занимаемых во временное пользование.

6.2. Другие мероприятия по охране окружающей среды.

Часть 7. Организация строительства (сводная ведомость объемов работ на строительство участка дороги).

Список использованной литературы.

Графическая часть проекта:

Лист 1. План трассы.

Лист 2. Продольный профиль.

Лист 3. Поперечные профили земляного полотна.

Лист 4. Конструкция дорожной одежды.

Лист 5. График коэффициентов аварийности.

Дата выдачи задания

Срок сдачи проекта

Руководитель проектирования

13.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Наименование частей и разделов курсового проекта приведено в бланке задания. Все части проекта взаимосвязаны, и нередко для выполнения той или иной его части нужно предварительно выполнить последующую часть целиком или частично. Но в конечном итоге материалы проекта располагаются строго по установленным частям.

Таблица 13.1. **График выполнения курсового проекта**

№ п/п	Разделы проекта	Рабочие недели										Примерный объем	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Стр.	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Введение											1	2
2	Часть 1. Общая часть											6	8
3	Часть 2. План и продольный профиль дороги. Раздел 1. План трассы											4	10
4	Лист 1. План трассы											На ватмане	5
5	Вычерчивание сетки и линии поверхности земли по оси дороги продольного профиля. Заполнение граф сетки 1, 12, 13 и 14 и оформление грунтового разреза											На миллиметровке	5
6	Часть 4. Искусственные сооружения (до определения контрольных отметок бровки насыпи у моста и трубы включительно)											4	10
7	Часть 3. Земляное полотно и дорожная одежда. Раздел 2. Дорожная одежда											6	5
8	Лист 4. Конструкция дорожной одежды											На ватмане	5
9	Часть 2. Раздел 2. Продольный профиль											6	10
10	Лист 2. Продольный профиль											На миллиметровке	10

Продолж. табл. 13.1

№ п/п	Разделы проекта	Рабочие недели										Примерный объем	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Стр.	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11	Часть 4 (продолж.). Определение длины мостов и труб. Ведомости проектирования мостов и труб и укрепительных работ у мостов и труб											3	2
12	Часть 3. Земляное полотно и дорожная одежда. Раздел 1. Земляное полотно											8	3
13	Лист 3. Поперечные профили земляного полотна											На ватмане	5
14	Часть 5. Обустройство дороги, организация и безопасность движения											6	6
15	Лист 5. График коэффициентов аварийности											На миллиметровке	4
16	Часть 6. Охрана окружающей среды												3
17	Часть 7. Организация строительства											2	3
18	Список литературы, содержание проекта. Оформление проекта											2	4

Во избежание ошибок при проектировании рекомендуется определенная последовательность выполнения курсового проекта (табл. 13.1).

Каждый учащийся работает по индивидуальному заданию самостоятельно, выполняя проект отдельными частями. Прежде чем приступить к выполнению того или иного раздела проекта, учащийся должен разобраться в теоретическом материале, иначе будут излишние затраты времени и ошибки.

Работа по выполнению проекта должна вестись систематически в строгом соответствии с графиком (см. табл. 13.1).

Не следует накапливать невыполненные материалы проекта. Каждый этап проекта надо доводить до конца.

Принципиальную правильность своих проектных решений учащийся постоянно должен проверять, консультируясь с руководителем курсового проектирования. При правильных действиях он получает от преподавателя указания, стимулирующие дальнейшее выполнение проекта. При неправильных действиях учащийся получит от руководителя необходимые разъяснения, ориентирующие его на повторение расчетов и дальнейшую работу.

Главная задача учащегося при выполнении курсового проекта самостоятельно принимать решения на основе конкретных условий и расчетов, критически относиться к принятым решениям и отстаивать свое мнение.

На выполнение курсового проекта отводится 20 ч занятий. На эти занятия учащиеся должны являться подготовленными, т. е. иметь необходимые материалы проекта, а также чертежные принадлежности. Значительная часть проекта выполняется дома, поэтому ежедневно учащийся должен посвящать работе над проектом не менее 1,5—2 ч.

В ходе курсового проектирования преподаватель организует подробные проверки как объема выполненной работы, так и качества ее выполнения. Учащийся при выполнении и оформлении проекта должен строго руководствоваться методическими указаниями данной главы.

Работа над проектом завершается составлением сводной ведомости объемов работ на строительство участка автомобильной дороги (см. табл. 8.14) и его оформлением, после чего проект сдается на проверку.

В сводной ведомости объемов работ площади по отводу и рекультивации земель определяют по осредненным значениям ширины постоянного $B_{оср}$ и временного $B_{вр}$ отвода по СН 467—75.

13.3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ЕСКД И СПДС

Расчетно-пояснительная записка оформляется на стандартных листах писчей бумаги (формат 297 × 210 мм). Записи ведут чернилами или пастой синего, фиолетового или черного цветов на одной странице листа. Подробный состав пояснительной записки приведен в бланке задания, а примерный объем частей, разделов и параграфов — в табл. 13.1.

На каждой странице записки вычерчивают рамку с оставлением полей слева 20 мм, справа, сверху и снизу по 5 мм.

Титульный лист проекта выполняют по форме, представленной в прил. 8. Титульный лист является первым листом пояснительной записки и выполняется на ватмане такого же формата, что и сама записка. Надписи на титульном листе, на заглавных листах к каждой части и в штампах выполняют тушью чертежным шрифтом по ГОСТ 2.304—81 с высотой прописных букв: 3,5; 5; 7; 10 мм, а строчных букв соответственно: 2,5; 3,5; 5; 7 мм. Переносы слов на титульном листе не допускаются.

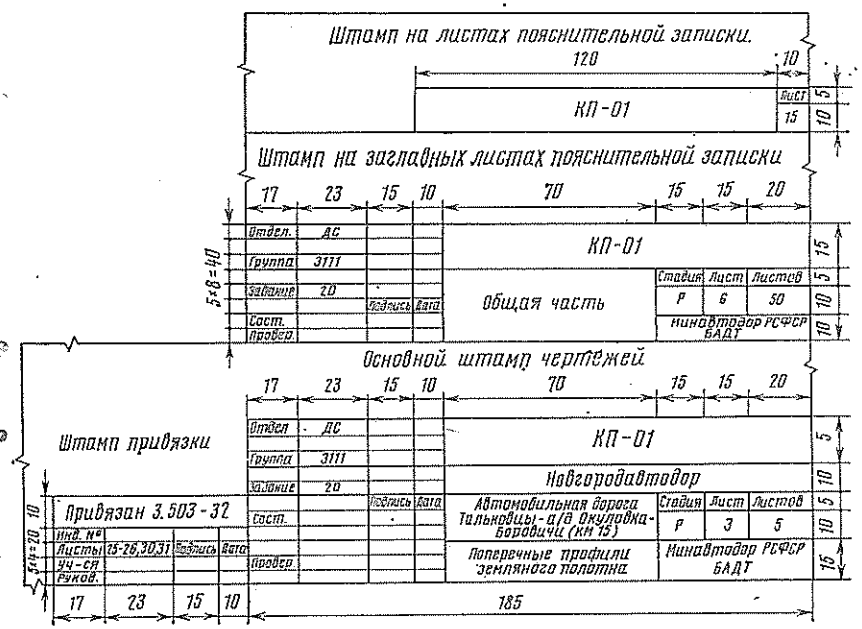


Рис. 13.1. Примеры заполнения штампов в курсовом проекте

Каждую страницу записки снабжают штампом установленной формы. На первой странице введения и на заглавном листе к каждой части проекта помещают штамп 185 × 40 мм (рис. 13.1). На остальных страницах записки вычерчивается или ставится штамп 130 × 15 мм (рис. 13.1).

Текст записки должен быть кратким, конкретным и грамотным. Теоретических описаний в пояснительной записке не допускается. В ней должны быть только принятые решения, обоснования, конкретные описания и расчеты.

Все формулы в записке должны быть пронумерованы. Номер формулы указывают в круглых скобках с правой стороны листа на уровне формулы. Буквенные обозначения и числовые коэффициенты расшифровывают непосредственно под формулой с указанием размерностей величин. Затем производится подстановка в формулу числовых значений и вычисляется итог с указанием размерности. Повторяющиеся в формулах одни и те же буквенные обозначения величин достаточно расшифровать 1 раз. Все вычисления необходимо тщательно проверять, так как ошибки в инженерных расчетах недопустимы.

Каждая таблица в пояснительной записке должна иметь порядковый номер и заголовок.

Схемы в записке можно выполнять тушью или карандашом на листах текстовой бумаги или на других листах бумаги (ватман, миллиметровка, калька) с последующим наклеиванием на текстовую бумагу. Все схемы нумеруют.

На все формулы, таблицы и схемы в тексте пояснительной записки должны быть ссылки, которые дают в круглых скобках.

Готовые материалы пояснительной записки раскладывают в последовательности, указанной в бланке задания по частям, разделам, параграфам. Листы графической части проекта помещают в соответствующую часть. Листы пояснительной записки нумеруют в следующем порядке: 1 — титульный лист; 2 — содержание пояснительной записки; 3 — бланк задания на проектирование; 4 — введение и т. д.

Номер листа записки указывают в штампе, имеющемся на каждом листе.

Графическая часть проекта включает в себя пять листов. Все листы оформляют в туши с соблюдением требований ЕСКД и СПДС (рамка, штампы, формат, шрифт, толщина линий, обозначения размеров и т. д.).

Лист 1 «План трассы» оформляют на листе ватмана формата 297 × 841 мм. В курсовом проекте разрешается варианты трассы оформлять на топографической карте с последующим ее наклеиванием на лист ватмана. План трассы составляют с учетом условных обозначений, показанных в приложении 4.

На листе помещают карту с оформленными вариантами трассы и «розы ветров» (см. рис. 2.12), а также схемы закрепления трассы (см. рис. 2.13) и таблицу элементов углов поворота, прямых и кривых (табл. 2.8).

Подробные указания по выполнению и оформлению листа «План трассы» приведены в гл. 2.

Лист «Продольный профиль» (см. рис. 4.13) выполняют на листе миллиметровой бумаги высотой 287 или 420 мм (при сложном рельефе), длиной в зависимости от протяжения участка дороги и кратной 210 мм.

Грунтовый разрез на продольном профиле, мосты и трубы, надпрофильные надписи выполняют в соответствии с условными обозначениями, представленными в прил. 5 и 6. Остальные указания по оформлению продольного профиля рассмотрены в гл. 3.

Лист 3 «Поперечные профили земляного полотна» оформляют на листе ватмана формата 297 × 841 мм. Масштаб поперечных профилей М 1:100.

Типы поперечных профилей земляного полотна выбирают по типовому проекту в зависимости от категории дороги, величины рабочей отметки по продольному профилю и поперечного уклона местности, определяемого по плану трассы, и других местных условий.

Каждый поперечный профиль должен быть озаглавлен (например, тип 3. Насыпи высотой до 2 м с боковыми резервами или тип. 9. Выемки глубиной 1—5 м на снегозаносимых участках и т. п.). При этом номер типа и название поперечного профиля принимают по типовому проекту.

При вычерчивании поперечных профилей необходимо делать их привязку к конкретным пикетам.

На поперечных профилях насыпей или выемок обязательно указывают следующие размеры: ширину земляного полотна, обочин, проезжей части, полосы отвода, обреза дороги, резерва или кювета по дну; поперечные уклоны проезжей части, обочин, дна резерва, местности; крутизну всех откосов; высоту насыпи или глубину выемок, глубину резервов или кюветов и т. д. (см. рис. 5.1 и 5.2).

На основе разработанных поперечных профилей земляного полотна заполняют графу 4 сетки продольного профиля, т. е. осуществляют их привязку по протяжению дороги.

Поперечные профили на чертеже желательно располагать так, чтобы их оси совпадали. В этом случае ширину земляного полотна, проезжей части, обочин и величины тангенсов закруглений на бровках достаточно указать на одном верхнем поперечном профиле.

Обычно в курсовом проекте разрабатываются четыре—шесть поперечных профилей земляного полотна. Если они не помещаются на листе, то используется еще один лист ватмана. В этом случае угловой штамп помещают только на последнем листе.

Поперечные профили земляного полотна приведены на рис. 5.1 и 5.2.

Лист 4 «Конструкция дорожной одежды» оформляют на листе ватмана формата 605 × 420 мм На этом листе приводят: типы конструкции дорожной одежды по типовому проекту для двух вариантов; наименование конструктивных слоев дорожной одежды; чертеж проезжей части в масштабе 1 : 50. Материалы конструктивных слоев дорожной одежды показывают в соответствии с условными обозначениями, приведенными в прил. 7.

Лист 5 «График коэффициентов аварийности» (см. рис. 9.1) выполняют на миллиметровке формата 297 × 841 мм. Указания по оформлению этого листа приведены в гл. 10.

На каждом листе графической части проекта в правом нижнем углу рамки помещают штамп 55 × 185 мм. Размеры штампа и пример его заполнения показаны на рис. 13.1. Обозначение «КП-01» выражает шифр курсового проекта по «Изысканиям и проектированию автомобильных дорог», а «Р» — рабочий проект.

Слева от основного штампа располгают штамп привязки (30 × 70 мм) принятой конструкции к типовому проекту, в котором указывают серию, инвентарный номер и листы типового проекта. Размеры и пример заполнения штампа привязки приведены на рис. 13.1.

В курсовом проекте штампы привязки помещают только на листах 3 и 4.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА КООРДИНАТ

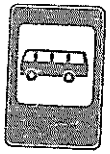
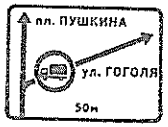
i, ‰	R=3000 м		R=4000 м		R=5000 м		R=6000 м		R=8000 м		R=10 000 м		R=11 000 м	
	l, м	h, м	l, м	h, м	l, м	h, м	l, м	h, м	l, м	h, м	l, м	h, м	l, м	h, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3	0,00	4	0,00	5	0,00	6	0,00	8	0,01	10	0,01	12	0,01
2	6	0,01	8	0,01	10	0,01	12	0,01	16	0,02	20	0,02	24	0,02
3	9	0,01	12	0,02	15	0,02	18	0,03	24	0,04	30	0,04	36	0,05
4	12	0,02	16	0,03	20	0,04	24	0,05	32	0,06	40	0,08	48	0,10
5	15	0,04	20	0,05	25	0,06	30	0,07	40	0,10	50	0,13	60	0,15
6	18	0,05	24	0,07	30	0,09	36	0,11	48	0,14	60	0,18	72	0,22
7	21	0,07	28	0,10	35	0,12	42	0,15	56	0,20	70	0,25	84	0,29
8	24	0,10	32	0,13	40	0,16	48	0,19	64	0,26	80	0,32	96	0,38
9	27	0,12	36	0,16	45	0,20	54	0,24	72	0,32	90	0,40	108	0,49
10	30	0,15	40	0,20	50	0,25	60	0,30	80	0,40	100	0,50	120	0,60
11	33	0,18	44	0,24	55	0,30	66	0,36	88	0,48	110	0,60	132	0,73
12	36	0,22	48	0,29	60	0,36	72	0,43	96	0,58	120	0,72	144	0,86
13	39	0,25	52	0,34	65	0,42	78	0,51	104	0,68	130	0,84	156	1,01
14	42	0,29	56	0,39	70	0,49	84	0,59	112	0,78	140	0,98	168	1,18
15	45	0,34	60	0,45	75	0,56	90	0,67	120	0,90	150	1,12	180	1,35
16	48	0,38	64	0,51	80	0,64	96	0,77	128	1,02	160	1,28	192	1,54
17	51	0,43	68	0,58	85	0,72	102	0,87	136	1,16	170	1,44	204	1,75
18	54	0,49	72	0,65	90	0,81	108	0,97	144	1,30	180	1,62	216	1,94
19	57	0,54	76	0,72	95	0,90	114	1,08	152	1,44	190	1,80	228	2,17
20	60	0,60	80	0,80	100	1,00	120	1,20	160	1,60	200	2,00	240	2,40
21	63	0,66	84	0,88	105	1,10	126	1,32	168	1,76	210	2,20	252	2,65
22	66	0,72	88	0,97	110	1,21	132	1,45	176	1,94	220	2,42	264	2,90
23	69	0,79	92	1,06	115	1,32	138	1,59	184	2,12	230	2,64	276	3,17
24	72	0,86	96	1,15	120	1,44	144	1,73	192	2,30	240	2,83	288	3,46
25	75	0,94	100	1,25	125	1,55	150	1,87	200	2,50	250	3,12	300	3,75
26	78	1,01	104	1,35	130	1,69	156	2,03	208	2,70	260	3,38	312	4,06
27	81	1,09	108	1,46	135	1,82	162	2,19	216	2,92	270	3,64	324	4,37
28	84	1,18	112	1,57	140	1,96	168	2,35	224	3,14	280	3,92	336	4,70
29	87	1,26	116	1,60	145	2,10	174	2,52	232	3,36	290	4,20	348	5,05
30	90	1,35	120	1,80	150	2,25	180	2,70	240	3,60	300	4,50	360	5,40
31	93	1,44	124	1,92	155	2,40	186	2,88	248	3,84	310	4,80	372	5,77
32	96	1,54	128	2,05	160	2,56	192	3,07	256	4,10	320	5,12	384	6,14
33	99	1,63	132	2,18	165	2,72	198	3,72	264	4,36	330	5,45	396	6,53
34	102	1,73	136	2,31	170	2,89	204	3,47	272	4,62	340	5,78	408	6,94
35	105	1,84	140	2,45	175	3,06	210	3,68	280	4,90	350	6,12	420	7,35
36	108	1,94	144	2,59	180	3,24	216	3,89	288	5,18	360	6,48	432	7,78
37	111	2,05	148	2,74	185	3,42	222	4,11	296	5,48	370	6,84	444	8,21
38	114	2,17	152	2,89	190	3,81	228	4,33	304	5,78	380	7,22	456	8,66
39	117	2,28	156	3,04	195	3,98	234	4,56	312	6,08	390	7,60	468	9,13
40	120	2,40	160	3,20	200	4,00	240	4,80	320	6,40	400	8,00	480	9,60
41	123	2,52	164	3,36	205	4,20	246	5,04	328	6,72	410	8,40	492	10,09
42	126	2,65	168	3,53	210	4,41	252	5,29	336	7,06	420	8,82	504	10,58
43	129	2,77	172	3,70	215	4,52	258	5,55	344	7,40	430	9,24	516	11,09
44	132	2,91	176	3,87	220	4,84	264	5,81	352	7,71	440	9,68	528	11,62
45	135	3,04	180	4,05	225	5,06	270	6,07	360	8,10	450	10,12	540	12,15
46	138	3,18	184	4,23	230	5,29	276	5,35	368	8,46	460	10,58	552	12,70
47	141	3,32	188	4,42	235	5,52	282	6,62	376	8,84	470	11,64	564	13,25
48	144	3,46	192	4,61	240	5,76	288	6,91	384	9,22	480	11,52	576	13,82
49	147	3,60	196	4,80	245	6,00	294	7,20	392	9,60	490	12,00	588	14,41
50	150	3,75	200	5,00	250	6,25	300	7,50	400	10,00	500	12,50	600	15,00

ВЕРТИКАЛЬНЫХ КРИВЫХ

R=15 000 м		R=20 000 м		R=25 000 м		R=30 000 м		R=40 000 м		i, ‰
l, м	h, м	l, м	h, м	l, м	h, м	l, м	h, м	l, м	h, м	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
15	0,01	20	0,01	25	0,01	30	0,01	40	0,02	1
30	0,03	40	0,04	50	0,05	60	0,06	80	0,08	2
45	0,07	60	0,09	75	0,11	90	0,13	120	0,18	3
60	0,12	80	0,16	100	0,20	120	0,24	160	0,32	4
75	0,19	100	0,25	125	0,31	150	0,38	200	0,50	5
90	0,27	120	0,36	150	0,45	180	0,54	240	0,72	6
105	0,37	140	0,49	175	0,61	210	0,74	280	0,98	7
120	0,48	160	0,64	200	0,80	240	0,96	320	1,28	8
135	0,61	180	0,81	225	1,01	270	1,22	360	1,62	9
150	0,75	200	1,00	250	1,25	300	1,50	400	2,00	10
165	0,91	220	1,21	275	1,51	330	1,82	440	2,42	11
180	1,08	240	1,44	300	1,80	360	2,16	480	2,88	12
195	1,27	260	1,69	325	2,11	390	2,54	520	3,38	13
210	1,47	280	1,96	350	2,45	420	2,94	560	3,92	14
225	1,69	300	2,25	375	2,81	450	3,38	600	4,50	15
240	1,92	320	2,56	400	3,20	480	3,84	640	5,12	16
255	2,17	340	2,89	425	3,61	510	4,34	680	5,78	17
270	2,43	360	3,24	450	4,05	540	4,86	720	6,48	18
285	2,71	380	3,61	475	4,51	570	5,42	760	7,22	19
300	3,00	400	4,00	500	5,00	600	6,00	800	8,00	20
315	3,31	420	4,41	525	5,51	630	6,62	840	8,82	21
330	3,63	440	4,84	550	6,05	660	7,26	880	9,68	22
345	3,97	460	5,29	575	6,61	690	7,94	920	10,58	23
360	4,32	480	5,76	600	7,20	720	8,64	960	11,52	24
375	4,69	500	6,25	625	7,81	750	9,38	1000	12,50	25
390	5,07	520	6,70	650	8,45	780	10,14	1040	13,52	26
405	5,47	540	7,20	675	9,11	810	10,94	1080	14,58	27
420	5,88	560	7,84	700	9,80	840	11,76	1120	15,68	28
435	6,31	580	8,41	725	10,51	870	12,62	1160	16,82	29
450	6,75	600	9,00	750	11,25	900	13,50	1200	18,00	30
465	7,21	620	9,61	775	12,01	930	14,42	1240	19,22	31
480	7,68	640	10,24	800	12,80	960	15,36	1280	20,48	32
495	8,17	660	10,89	825	13,61	990	16,34	1320	21,78	33
510	8,67	680	11,56	850	14,45	1020	17,34	1360	23,12	34
525	9,19	700	12,25	875	15,31	1050	18,38	1400	24,50	35
540	9,72	720	12,96	900	16,20	1080	19,44	1440	25,92	36
555	10,27	740	13,69	925	17,11	1110	20,54	1480	27,38	37
570	10,83	760	14,44	950	18,05	1140	21,66	1520	28,88	38
585	11,41	780	15,21	975	19,01	1170	22,82	1560	30,42	39
600	12,00	800	16,00	1000	20,00	1200	24,00	1600	32,00	40
615	12,61	820	16,81	1025	21,01	1230	25,22			41
630	13,20	840	17,64	1050	22,05	1260	26,46			42
645	13,87	860	18,49	1075	23,11	1290	27,74			43
660	14,52	880	19,36	1100	24,20	1320	29,04			44
675	15,19	900	20,25	1125	25,31	1350	30,38			45
690	15,87	920	21,16	1150	26,45	1380	31,74			46
705	16,57	940	22,09	1175	27,01	1410	33,14			47
720	17,28	960	23,04	1200	28,80	1440	34,56			48
735	18,01	980	24,01	1225	30,01	1470	36,02			49
750	18,75	1000	25,00	1250	31,25	1500	37,50			50

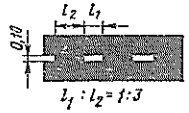
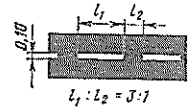
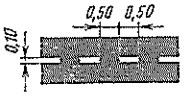
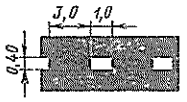
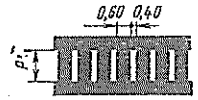
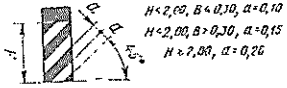
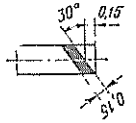
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ ПО ГОСТ 10807—78

Номера знаков	Наименование	Изображение
1.6	Пересечение равнозначных дорог	
1.20	Пешеходный переход	
2.3.1	Пересечение с второстепенной дорогой	
5.12	Место остановки автобуса	
5.16.1	Пешеходный переход	
5.20.1	Предварительный указатель направлений	
5.26	Наименование объекта	
5.28	Километровый знак	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

Номер по ГОСТу	Форма, размеры, мм	Назначение
1.1		Разделение транспортных потоков противоположных направлений. Обозначение полос движения и края проезжей части
1.5		Разделение транспортных потоков противоположных направлений. Обозначение полос движения
1.6		Обозначение приближения к сплошной линии продольной разметки
1.7		Обозначение полос движения на пересечениях
1.8		Обозначение границы между полосой разгона или торможения (переходно-скоростной) и основной полосой проезжей части
1.14		Обозначение пешеходного перехода «зебра»
2.1		Обозначение вертикальных поверхностей дорожных сооружений (опор мостов, путепроводов, торцевых частей парапетов и т. п.). Обозначение сигнальных столбиков, надолб, опор тросовых ограждений и т. п.
		
2.5		Обозначение боковых поверхностей начала дорожных ограждений (на протяжении 10 м) на прямых участках дорог и на всей длине ограждений на опасных участках
2.6		Обозначение боковых поверхностей ограждений, кроме случаев, когда применяется разметка 2.5

Приложение 4

Условные обозначения на плане трассы

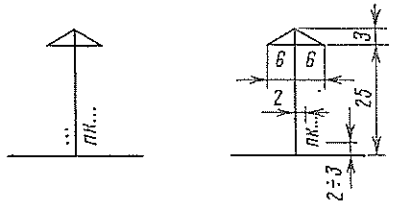
Наименование изображения	Условное графическое изображение	Размеры, мм
Пикет	5	1,5
Точка (вершина) угла поворота кривой	ВУ1	1,0
Знак тангенса круговой кривой		2,0; 1,5
Знак тангенса переходной кривой		2,0; 0,5; 1,0
Километровый указатель	3	10,0; 2,0
Труба с оголовком: а) портального типа		1,5 1,5; 3; 3; 3; 1,0 1,0
б) раструбного типа		45°; 3,0
Мост		45°; 3,0; 3,0
Путепровод		45°; 1,5; 1,5

Приложение 5 (1)

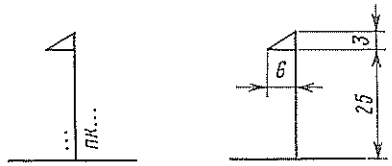
Условные обозначения на продольном профиле:

1. Пересечение автомобильных дорог

Слева от ножки указывают тип пересечения

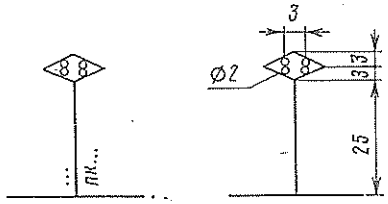


2. Съезд или примыкание к автомобильной дороге

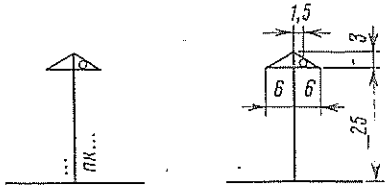


3. Развязка автомобильных дорог в разных уровнях:

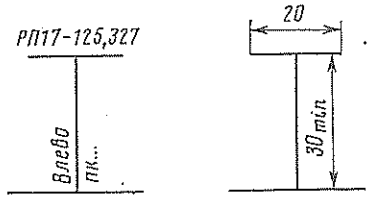
а) на пересечениях



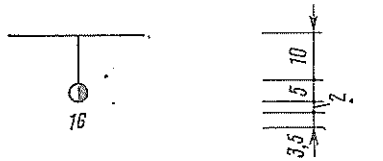
б) на примыкании



4. Репер или марка

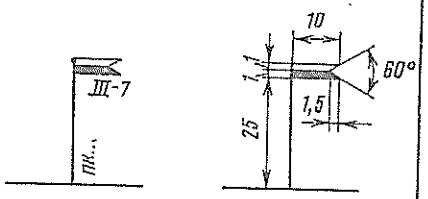


5. Километровый указатель

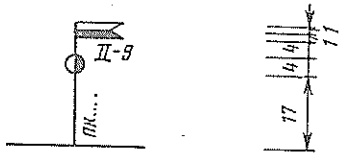


6. Переезд при пересечении железнодорожного пути и автомобильной дороги:

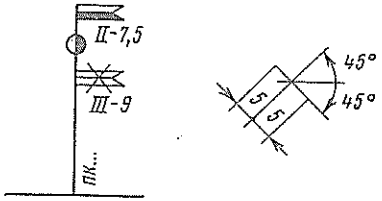
а) не охраняемый



б) охраняемый

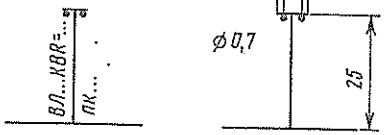


в) переустраиваемый

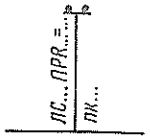


7. Пересечение инженерных надземных сетей на высоких опорах:

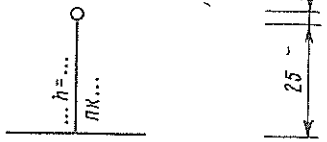
а) ВЛ



б) связи и сигнализации



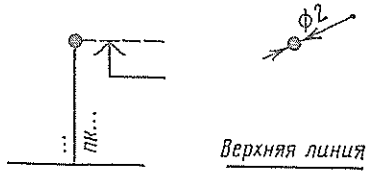
в) трубопроводов разного назначения



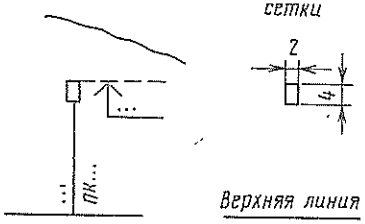
8. Пересечение инженерных подземных сетей:

а) трубопроводов разного назначения

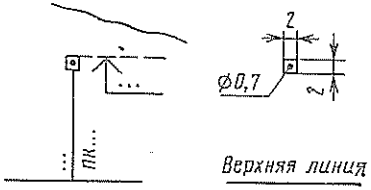
Слева от ножки указывают наименование или индекс инженерной сети



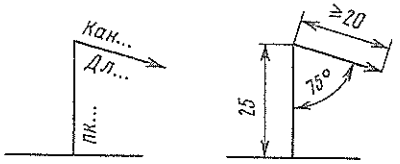
б) каналов различного назначения



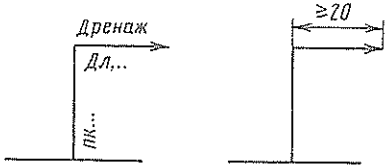
в) кабелей



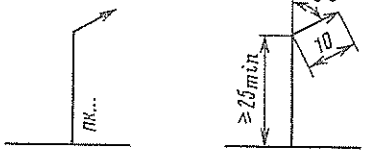
9. Канава нагорная или водоотводная



10. Дренаж

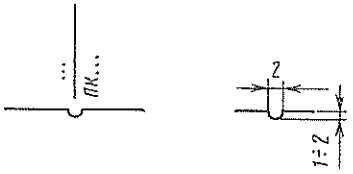


11. Сброс воды

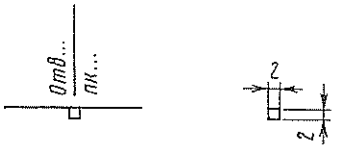


12. Лоток:

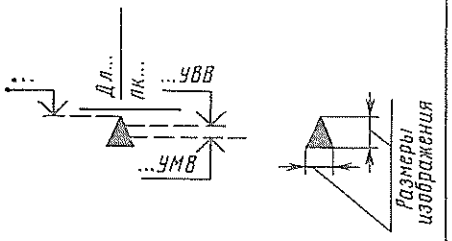
а) открытый



б) закрытый

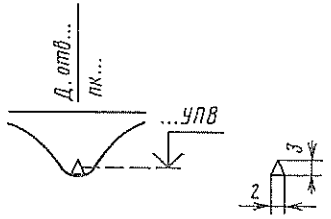


13. Дамба

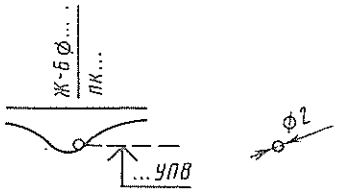


14. Труба:

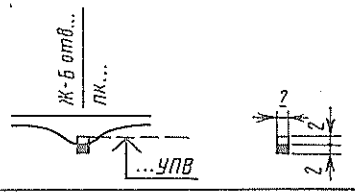
а) деревянная треугольная или прямоугольная



б) железобетонная или бетонная круглая

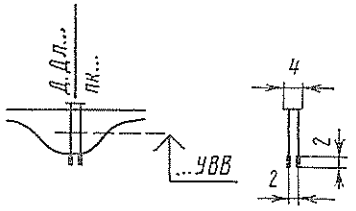


в) железобетонная или бетонная прямоугольная

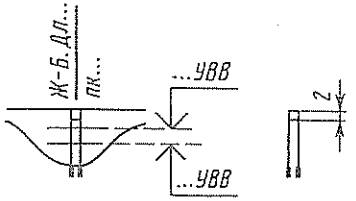


15. Мост:

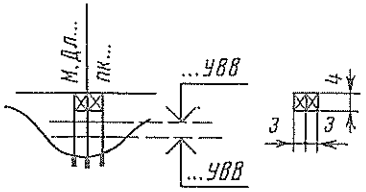
а) деревянный



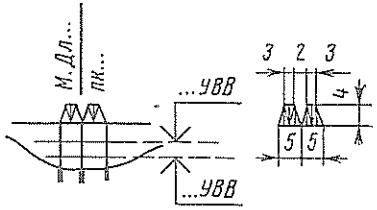
б) железобетонный



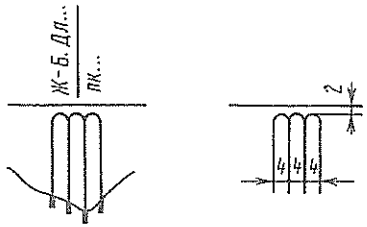
в) металлический с ездой поверху



г) металлический с ездой понизу



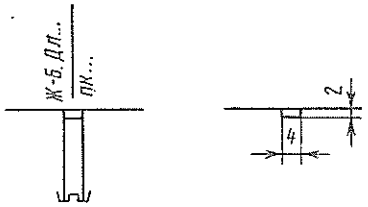
16. Виадук



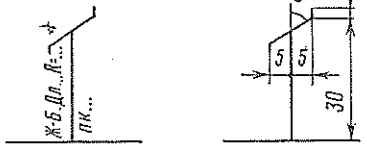
17. Мост пешеходный

18. Путепровод:

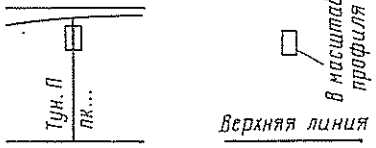
а) под проектируемой дорогой



б) над проектируемой дорогой

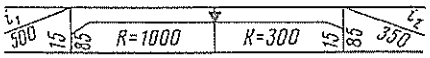


19. Тоннель пешеходный



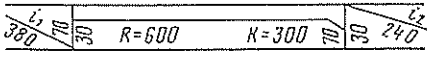
20. Вертикальные кривые:

а) выпуклая кривая с восходящей и нисходящей ветвью

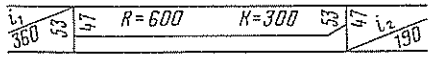


15/85 расстояние до ближайшего пк

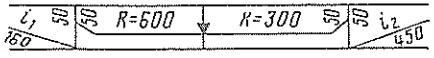
б) выпуклая кривая с нисходящей ветвью



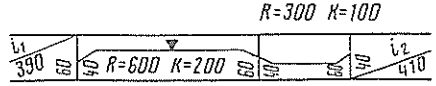
в) вогнутая кривая с восходящей ветвью



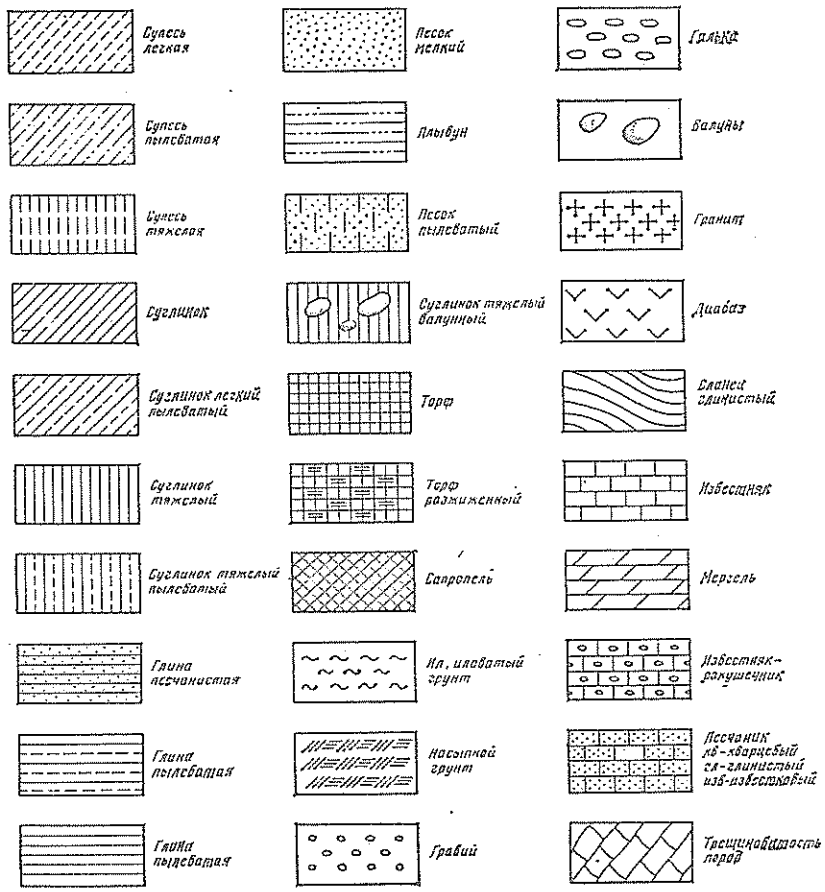
г) вогнутая кривая с восходящей и нисходящей ветвью

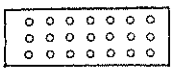


д) переход на пк выпуклой кривой радиуса 600м в вогнутую кривую радиуса 300м на уклоне 30‰

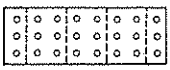


Условные обозначения грунтов и горных пород на продольных профилях автомобильных дорог

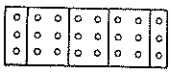




Подобранный гравийный материал

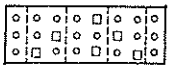


Подобранный гравийный материал, укрепленный щебнем



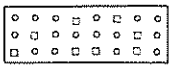
Подобранный гравийный материал, укрепленный золой уноса

Подобранный гравийный материал, укрепленный золой уноса в сочетании с цементом

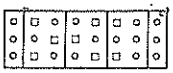


Подобранный гравийный материал, укрепленный золошлаковой смесью

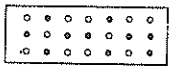
Подобранный гравийный материал, укрепленный золошлаковой смесью в сочетании с цементом



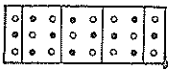
Подобранный гравийный материал, укрепленный гранулированным шлаком



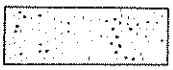
Подобранный гравийный материал, укрепленный гранулированным шлаком в сочетании с цементом



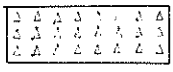
Подобранный гравийный материал, обработанный битумной эмульсией



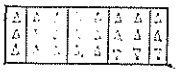
Подобранный гравийный материал, обработанный битумной эмульсией в сочетании с цементом



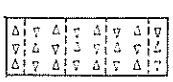
Песок



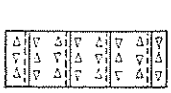
Подобранный щебеночный материал



Подобранный щебеночный материал, укрепленный цементом

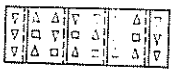


Подобранный щебеночный материал, укрепленный золой уноса



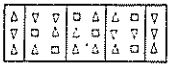
Подобранный щебеночный материал, укрепленный золой уноса в сочетании с цементом

Подобранный щебеночный материал, укрепленный золошлаковой смесью



Подобранный щебеночный материал, укрепленный золошлаковой смесью в сочетании с цементом

Подобранный щебеночный материал, укрепленный гранулированным шлаком



Подобранный щебеночный материал, укрепленный гранулированным шлаком в сочетании с цементом

Подобранный щебеночный материал, обработанный битумной эмульсией

Продолжение прил. 7

	Крупнозернистый пористый асфальтобетон	
	Мелкозернистый плотный асфальтобетон	
	Цементобетон неармированный	
	Цементобетон армированный	
	Поверхностная обработка	
	Подобранный щебеночный материал, обработанный битумной эмульсией в сочетании с цементом	
	Фракционированный щебень, устраиваемый по способу заклинки	
	Фракционированный щебень, обработанный вязким битумом по способу пропитки	
	Фракционированный щебень, обработанный вязким битумом в установке	
	Тощий цементобетон	

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

МИНИСТЕРСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РСФСР

АСТРАХАНСКИЙ АВТОДОРОЖНЫЙ ТЕХНИКУМ

Консультант

Зав. отделением

ПРОЕКТ УЧАСТКА

АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Расчетно-пояснительная записка

КП-01-3111-15

Согласовал:

Разработал:

Дата внедрения документа

198 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев О. В., Шахидов А. Методическая разработка по расчету ливневого стока с малых водосборов — Тр. МАДИ, 1977. 8 с.
2. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1982. 256 с.
3. Бабков В. Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1980. 189 с.
4. Бабков В. Ф., Андреев О. В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1. М.: Транспорт, 1979. 367 с.
5. Бабков В. Ф., Андреев О. В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. II. М.: Транспорт, 1979. 407 с.
6. Гарманов Е. Н., Полякова Г. А. Методическое пособие по определению экономической эффективности проектных решений в дорожно-мостовом строительстве. МАДИ, 1973, с. 84.
7. Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. СН 202-81. Госстрой СССР. М.: 1981. 170 с.
8. Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство. Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1982. 84 с.
9. Рвачев Ю. А. Машинное проектирование автодорожных мостов. М.: Транспорт, 1983. 256 с.
10. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений М.: Транспорт, 1974. 295 с.
11. Славуцкий А. К. Учет ценности сельскохозяйственных земель при строительстве автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1976. 80 с.
12. СНиП II-А.6-72. Строительная климатология и геофизика. Основные положения проектирования. Госстрой СССР. М.: 1972. 215 с.
13. Справочник инженера-дорожника. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. Под ред. О. В. Андреева. М.: Транспорт, 1977. 560 с.
14. Технико-экономическое обоснование при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. М.: Транспорт, 1981. 207 с.
15. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН-83.
16. Ксенодохов. Таблицы для проектирования и разбивки клотоидной трассы автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1981. 320 с.
17. Кудрявцев М. Н., Каганович В. Е. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1980. 296 с.
18. Методические указания для составления проектов рекультивации земель, нарушаемых в процессе строительства автомобильных дорог. ГПИ Главтранспроект — Союздорпроект, 1977. 52 с.
19. Методические указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог местного значения. М.: Гипродорнии, 1975. 96 с.
20. Митин Н. А. Таблицы для подсчета объемов земляного полотна автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1977. 544 с.
21. Митин Н. А. Таблицы для разбивки горизонтальных и вертикальных круговых кривых и закруглений с переходными кривыми на автомобильных дорогах. М.: Недра, 1961. 470 с .
22. Орнатский Н. П. Автомобильные дороги и охрана природы. М.: Транспорт, 1982. 176 с.
23. Орнатский Н. П. Проектирование благоустройства автомобильных дорог. М.: Высшая школа, 1974. 136 с.
24. Указания по определению экономической эффективности капиталовложений в строительстве и реконструкцию автомобильных дорог. Минавтодор РСФСР. М.: Транспорт, 1984. 63 с.
25. Указания по организации и обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. Минавтодор РСФСР. М.: Транспорт, 1977. 175 с.
26. Эталон проекта на строительство автомобильной дороги. М., Минтрансстрой СССР, Главтранспроект—Союздорпроект, 1983. 216 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

1. Общие исходные данные для проектирования автомобильной дороги 4

1.1. Состав проекта на строительство автомобильной дороги 4
1.2. Экономическая характеристика района проложения трассы . . . 5
1.3. Природные условия района проложения трассы 5
1.4. Технические условия проектирования автомобильных дорог . . 8

2. Проектирование плана трассы автомобильной дороги 14

2.1. Правила трассирования автомобильных дорог 14
2.2. Учет принципов ландшафтного проектирования, клотоидного трассирования и охраны окружающей среды 18
2.3. Назначение радиусов кривых в плане 20
2.4. Обеспечение безопасности движения на кривых в плане . . . 21
2.5. Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых . . . 24
2.6. Полоса отвода 30
2.7. Описание вариантов трассы дороги 32
2.8. Сравнение вариантов трассы 32
2.9. Оформление плана трассы 34

3. Проектирование водопропускных сооружений на малых водотоках 37

3.1. Краткие сведения о типовых трубах и малых мостах 37
3.2. Исходные данные для проектирования малых мостов и труб . . . 41
3.3. Определение максимальных расходов 49
3.4. Определение расхода с учетом аккумуляции воды перед сооружением 49
3.5. Установление расчетного расхода 52
3.6. Проектирование водопропускных труб 52
3.7. Проектирование малых мостов 64

4. Проектирование продольного профиля дороги 69

4.1. Исходные данные для проектирования 70
4.2. Основные требования к проектной линии продольного профиля 76
4.3. Методы нанесения проектной линии и расчета ее элементов . . . 77
4.4. Описание проектной линии 86
4.5. Оформление продольного профиля 88

5. Проектирование земляного полотна 89

5.1. Поперечные профили земляного полотна 89
5.2. Определение размеров резервов 95
5.3. Определение площадей земель, подлежащих рекультивации 97
5.4. Определение объемов земляных работ 99

6. Проектирование водоотвода 106

6.1. Исходные данные для проектирования вооотводных сооружений 106
6.2. Проектирование системы сооружений поверхностного водоотвода 108
6.3. Проектирование дренажа 117

7. Проектирование дорожной одежды 122

7.1. Исходные данные для проектирования дорожных одежд 122
7.2. Определение расчетной интенсивности движения и требуемого модуля упругости. 123
7.3. Назначение вариантов конструкции дорожной одежды 127
7.4. Расчет прочности дорожной одежды по упругому прогибу . . . 128
7.5. Расчет дорожной одежды на сдвиг 130
7.6. Расчет дорожной одежды на растяжение при изгибе 131
7.7. Сравнение вариантов дорожной одежды 144

8. Проектирование оборудования и благоустройства дороги . . . 149

8.1. Дорожные устройства 149
8.2. Технические средства организации дорожного движения . . . 156
8.3. Озеленение дороги 162

9. Обеспечение безопасности движения при проектировании дорог 168

9.1. Методы оценки безопасности движения на дорогах 168
9.2. Построение графика коэффициентов аварийности 170

10. Охрана окружающей среды при проектировании автомобильных дорог 173

11. Сравнение вариантов автомобильных дорог 177

11.1. Эксплуатационно-технические показатели запроектированной дороги 177
11.2. Экономические показатели запроектированной дороги 178
11.3. Экономическое сравнение вариантов дороги 180

12. Принципы автоматизированного проектирования автомобильных дорог 185

13. Методические указания по выполнению курсового проекта 187

13.1. Задание на курсовое проектирование 187
13.2. Последовательность и организация работы по курсовому проектированию 189
13.3. Оформление курсового проекта в соответствии с требованиями ЕСКД и СПДС 192

Приложения 196

Список литературы 212