

Электронный архив УГЛТУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**С.И. Булдаков**

# **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Учебное пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Екатеринбург  
2016

УДК 625.72  
ББК 39.313я73  
Б90

Рецензенты:

Кафедра «Путь и железнодорожное строительство» УрГУПС;  
Директор Уральского филиала «УралГИПРОДОРНИИ»  
ОАО «ГИПРОДОРНИИ» О.М. Понарина

**Булдаков, С.И.**

Б90 Особенности проектирования автомобильных дорог: учеб. пособие / С.И. Булдаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – 271 с.

ISBN 978-5-94984-575-2

Рассмотрены вопросы камерального трассирования, проектирования плана, продольного профиля, земляного полотна, дорожной одежды нежесткого типа, поверхностного водоотвода. Представлен сквозной пример проектных решений по данным вопросам для автомобильной дороги III категории.

Для бакалавров 08.03.01 и магистров 08.04.01 по направлению «Строительство».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Уральского государственного лесотехнического университета.

УДК 625.72  
ББК 39.313я73

ISBN 978-5-94984-575-2

© ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 2016

© С.И. Булдаков, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
1. Общая часть .....	6
1.1. Основные понятия об автомобильных дорогах и их элементах ..	6
1.2. Классификация автомобильных дорог .....	10
1.3. Стадии проектирования автомобильных дорог .....	17
1.4. Нормативная база для стадии инженерных изысканий и разработки проекта строительства автомобильных дорог .....	18
1.5. Исходные материалы для проектирования дорог .....	24
2. План трассы .....	28
2.1. Камеральное трассирование на топографической карте .....	29
2.2. Проектирование закруглений с переходными кривыми .....	40
2.3. Проектирование биклотоидных трасс .....	48
2.4. Проектирование виражей .....	62
2.5. Уширение проезжей части на кривой в плане .....	71
2.6. Расчет превышений характерных точек на отгоне виража .....	75
2.7. Обоснование выбора варианта трассы .....	78
3. Продольный профиль .....	82
3.1. Общие положения .....	82
3.2. Подготовка исходных данных для проектирования продольного профиля .....	85
3.3. Основные требования к положению проектной линии продольного профиля .....	89
3.4. Проектирование проектной линии графоаналитическим способом .....	91
3.5. Пример проектирования продольного профиля .....	96
4. Особенности проектирования земляного полотна .....	106
4.1. Основные понятия и требования к земляному полотну .....	106
4.2. Проектирование поперечных профилей земляного полотна....	115
4.3. Пример проектирования земляного полотна .....	120
4.4. Определение объемов земляных работ .....	128
5. Проектирование нежестких дорожных одежд .....	140
5.1. Основные положения .....	140
5.2. Основные принципы конструирования дорожных одежд .....	142
5.3. Расчет дорожных одежд на прочность .....	153
5.4. Морозоустойчивость дорожной конструкции .....	166
5.5. Пример расчета дорожной конструкции на прочность .....	171
5.6. Пример расчета дорожной конструкции на морозоустойчивость	182

6. Особенности организации поверхностного водоотвода .....	187
6.1. Общие положения .....	187
6.2. Отвод поверхностных вод от земляного полотна и прилегающей местности .....	188
6.3. Проектирование водопропускных труб .....	196
6.4. Проектирование искусственных русел на автомобильных дорогах .....	216
Библиографический список .....	227
Приложения .....	229
Приложение 1. Дорожно-климатические зоны .....	230
Приложение 2. Нормативные материалы для проектирования плана, продольного профиля и земляного полотна .....	231
Приложение 3. Классификация типов местности и грунтов .....	235
Приложение 4. Продольный профиль автомобильной дороги .....	239
Приложение 5. Номограммы для расчета дорожных одежд .....	240
Приложение 6. Нормативно-справочные характеристики для определения грунтов .....	246
Приложение 7. Таблицы нормативных и расчетных значений прочностных и деформационных характеристик ....	251
Приложение 8. Карты и номограммы для расчета водопропускных труб .....	260
Приложение 9. Таблицы для расчета водопропускных труб .....	264

## **ВВЕДЕНИЕ**

Устойчивый экономический рост, укрепление национальной безопасности России и повышение качества жизни россиян во многом определяются состоянием дорожного хозяйства страны. Интеграция автомобильных дорог в международную транспортную сеть является одним из определяющих факторов влияния на эффективность работы всей экономики страны. Данное положение отражено в Федеральном законе Российской Федерации от 08 ноября 2007 г. № 257 – ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1].

Наиболее благоприятные условия эксплуатации автомобильного транспорта более всего обеспечиваются оптимальным сочетанием элементов дороги в плане и продольном профиле, типом покрытия дороги, планировочным решением транспортных развязок на пересечениях проектируемой дороги с другими (существующими) дорогами, а также надлежащим содержанием конструктивных и других элементов дорог. Поэтому при проектировании новых дорог проработка конкурентоспособных вариантов обязательна, особенно при выборе положения оси дороги в плане, продольном профиле и конструкции дорожной одежды. При принятии проектных решений определяющими факторами следует считать возможность движения с расчетными скоростями при наименьших затратах на строительство и обеспеченность безопасности дорожного движения.

В настоящем учебном пособии представлены общие положения и требования нормативных документов к автомобильным дорогам; выполнен сквозной пример проектирования основных элементов дорог с проработкой вариантов плана трассы, продольного профиля, земляного полотна и дорожной одежды автомобильной дороги.

Учебное пособие предназначено для студентов направления «Строительство», изучающих дисциплину «Изыскание и проектирование автомобильных дорог».

## 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

### 1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ОБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И ИХ ЭЛЕМЕНТАХ

Понятие «автомобильная дорога» сформулировано в ФЗ № 257 от 08.11.2007 г. как «... объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения транспортных средств и включающий в себя земельные участки *в границах полосы отвода* автомобильной дороги и расположенные на них или под ними *конструктивные элементы* и дорожные сооружения, являющиеся ее технологической частью» [1].

*К конструктивным элементам* дорог относятся: земляное полотно, дорожная одежда, инженерные коммуникации (наземные и подземные), защитные дорожные сооружения, искусственные сооружения, производственные объекты, элементы обустройства автомобильных дорог.

*Защитные дорожные сооружения* – элементы озеленения, имеющие защитное значение; заборы шумозащитные, ветрозащитные; устройства, предназначенные для защиты автомобильных дорог от снежных лавин, селевых потоков, и другие подобные сооружения.

*К искусственным сооружениям* относятся мосты, водопропускные трубы, путепроводы, тоннели, эстакады.

*Производственные объекты* – сооружения, используемые при капитальном ремонте, ремонте, содержании автомобильных дорог.

*Элементы обустройства* автомобильных дорог предназначены для организации безопасного дорожного движения (БДД). К ним относятся дорожные знаки, дорожные ограждения, светофоры, места отдыха, тротуары, пешеходные дорожки и другие устройства для организации дорожного движения.

Барьерные конструкции (ограждения первой группы), парапеты и другие элементы обустройства автомобильных дорог размещаются с целью предотвращения вынужденных съездов транспортных средств на опасных участках дороги с мостов, путепроводов, а также в местах возможных столкновений со встречными транспортными средствами и наездов на массивные препятствия и сооружения.

Условия и места установки ограждений различных типов жесткости (металлических энергопоглощающих, металлических жестких, тросовых, парапетного типа) следует назначать по ГОСТ Р 52 289–2004 [2].

Конструкции перильного типа, сетки, предназначенные для упорядочения движения пешеходов, должны устанавливаться на разделительной полосе дорог I категории напротив автобусных остановок с пешеходными переходами в пределах всей длины остановки на протяжении не менее 20 м в каждую сторону за пределами автомобильных остановок.

Опасные участки дорог II – V категорий должны быть оборудованы направляющими устройствами в виде отдельно стоящих *сигнальных столбиков*, установленных на обочинах дорог, на следующих участках:

- на прямолинейных участках дорог при высоте насыпи не менее 2 м и интенсивности движения не менее 2000 прив. ед./сут через 50 м;

- в пределах кривых в продольном профиле и на подходах к ним при высоте насыпи более 2 м и интенсивности движения не менее 2000 прив. ед./сут по три столбика с каждой стороны;

- в пределах кривых в плане, а также на подходах к ним (по три столбика с каждой стороны) при высоте насыпи не менее 1 м;

- в пределах кривых на пересечениях и примыканиях в одном уровне;

- на дорогах, расположенных на расстоянии менее 15 м от болот и водотоков глубиной от 1 до 2 м, через каждые 10 м;

- у мостов и путепроводов по три столбика до и после сооружения с двух сторон дороги через 10 м; у водопропускных труб – по оси трубы (по одному столбику с каждой стороны дороги).

Сигнальные столбики следует устанавливать в пределах *неукрепленной* части обочин на расстоянии 0,35 м от бровки земляного полотна.

Все конструктивные элементы автомобильных дорог, в том числе ограждения, размещаются на *полосе отвода*, под которой понимают земельный участок (независимо от категории земель), предназначенный для размещения конструктивных элементов дороги, дорожных сооружений, на котором *в исключительных случаях* могут располагаться объекты дорожного сервиса.

*К объектам дорожного сервиса* относятся мотели, кемпинги, площадки отдыха, автозаправочные станции (АЗС), станции технического обслуживания (СТО), пункты питания, другие сооружения, предназначенные для оказания услуг участникам дорожного движения [1].

Минимально необходимые требования к обеспеченности дорог общего пользования любого значения объектами дорожного сервиса, размещаемыми *на придорожной полосе* или (иногда) в границах полосы отвода с указанием количества и вида объектов, а также требования к перечню минимально необходимых услуг, оказываемых на таких объектах, устанавливаются Правительством Российской Федерации.

*Разрешение* на строительство объектов дорожного сервиса, размещаемых в границах полосы отвода автомобильной дороги федерального, регионального или межмуниципального либо местного значения, выдается в порядке, установленном Градостроительным кодексом Российской Федерации, соответственно федеральным органом исполнительной власти или подведомственным ему федеральным государственным учреждением, органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации или органом местного самоуправления, уполномоченным на выдачу разрешения на строительство автомобильной дороги, в границах полосы отвода, в которых планируется осуществить строительство новых (реконструкцию существующих, ремонтируемых) объектов дорожного сервиса.

*Земельные участки* для размещения объектов дорожного сервиса в границах полосы отвода автомобильной дороги федерального, регионального или муниципального, местного значения предоставляются соответствующим органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере дорожного хозяйства в порядке, установленном Градостроительным кодексом РФ.

*Придорожные полосы* автомобильных дорог – территории, которые прилегают с обеих сторон к полосе отвода автомобильной дороги и в границах которых устанавливается особый режим использования земельных участков в целях обеспечения требований БДД, а также нормальных условий реконструкции, капитального ремонта, содержания автомобильной дороги, ее сохранности с учетом перспектив развития дороги.

Ширина каждой придорожной полосы, за исключением автомобильных дорог, расположенных в границах населенных пунктов, устанавливается в зависимости от класса и (или) категории дороги с учетом перспектив ее развития:

- для автомобильных дорог I и II категорий – 75 м;
- для автомобильных дорог III и IV категорий – 50 м;



- для автомобильных дорог V категории – 25 м;
- для подъездных дорог, соединяющих административные центры (столицы) субъектов Российской Федерации, города федерального значения Москву и Санкт-Петербург с другими населенными пунктами, а также для участков автомобильных дорог общего пользования федерального значения, построенных для объезда городов с численностью населения до 250 000 человек, придорожная полоса должна быть равной 100 м;
- для участков автомобильных дорог, построенных для объездов городов с численностью населения более 250 000 человек, ширина придорожной полосы – 150 м.

В случаях строительства объектов дорожного сервиса в границах *придорожных полос* разрешение на строительство выдается в порядке, установленном Градостроительным кодексом РФ:

- органом местного самоуправления, если строительство (реконструкция, капитальный ремонт) таких объектов планируется осуществить в границах поселения;
- органом местного самоуправления муниципального района, если строительство (реконструкция, капитальный ремонт) таких объектов планируется осуществить на межселенных территориях;
- органом местного самоуправления городского округа, если строительство (реконструкция, капитальный ремонт) таких объектов планируется осуществить в границах городского округа.

Решение об установлении границ придорожных полос автомобильных дорог федерального, регионального или межмуниципального, местного значения или решение об изменении границ таких придорожных полос принимается соответственно федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по оказанию государственных услуг и управлению государственным имуществом в сфере дорожного хозяйства, уполномоченным органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации, органом местного самоуправления.

Объекты дорожного сервиса должны быть оборудованы стоянками и местами остановки транспортных средств, а также подъездами, съездами и примыканиями в целях обеспечения доступа к ним с автомобильной дороги. При примыкании автомобильной дороги к другой автомобильной дороге подъезды и съезды должны проектироваться с переходно-скоростными полосами и элементами обустройства в целях обеспечения безопасности дорожного движения.

Строительство (реконструкция, капитальный ремонт, ремонт и содержание подъездов, съездов, стоянок, мест остановки транспортных средств, переходно-скоростных полос) осуществляется владельцами объекта дорожного сервиса или за их счет.

В случае присоединения объектов дорожного сервиса к автомобильным дорогам за оказание услуг по их содержанию взимается плата на основании заключаемого с владельцами автомобильных дорог договора о присоединении объекта к автомобильной дороге.

## 1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Проектирование автомобильных дорог общего пользования в настоящее время осуществляют в соответствии с требованиями строительных норм СНиП 2.05.02–85\*, утвержденных постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 17 декабря 1985 г. (№233), введенных в действие с 1 января 1987 г. (взамен СНиП II Д5–75 и СН 449–72). Данные строительные нормы переиздавались в 2002 и 2004 гг. с некоторыми изменениями не принципиального характера.

Автомобильные дороги общего пользования по СНиП 2.05.02–85\* классифицированы на категории по двум показателям: в зависимости от расчетной интенсивности движения (приведенной к легковому автомобилю или в транспортных единицах) и народнохозяйственного и административного значения (табл. 1.1) [3].

Однако за последние годы значительно возрос уровень автомобилизации РФ (количество автомобилей на 1 000 жителей); в связи с этим увеличилась и интенсивность движения. Кроме того, существенно изменился состав движения, а именно: значительная доля транспортных потоков приходится на автомобили с большими осевыми нагрузками (130 кН и более), а в составе легковых преобладают скоростные автомобили с хорошими динамическими характеристиками. Увеличение интенсивности и состава движения является основной причиной преждевременного износа и разрушения дорог, запроектированных по нормативным показателям СНиП 2.05.02–85\*; существующие дороги не отвечают современным требованиям потребителя по техническому уровню (ТУ) и эксплуатационным показателям (ЭП).

Таблица 1.1

## Классификация автомобильных дорог по СНиП 2.05.02–85\*

Категория дороги	Расчетная интенсивность движения, авт./сут		Народнохозяйственное и административное значение автомобильных дорог
	приведенная к легковому автомобилю	в транспортных единицах	
I-a	Св. 14000	Св. 7000	Магистральные автомобильные дороги общегосударственного значения (в т.ч. международного сообщения)
I-б	Св. 14000	Св. 7000	Автомобильные дороги общегосударственного (не отнесенные к I-a категории), республиканского, областного (краевого) значения
II	Св. 6000 до 14000	Св. 3000 до 7000	
III	Св. 2000 до 6000	Св. 1000 до 3000	Автомобильные дороги общегосударственного, республиканского, областного (краевого) значения (не отнесенные к I-б и II категориям), дороги местного значения
IV	Св. 200 до 2000	Св. 100 до 1000	Автомобильные дороги республиканского, областного (краевого) и местного значения (не отнесенные к I-б, II и III категориям)
V	До 200	До 100	Автомобильные дороги местного значения (кроме отнесенных к III и IV категориям)

Примечания: 1. Расчетная интенсивность в транспортных единицах принимается в случаях, когда легковые автомобили составляют менее 30 % общего транспортного потока.

2. Категория подъездных дорог к промышленным предприятиям назначается в соответствии с расчетной интенсивностью движения для дорог I-б – V категорий.

Для обеспечения качества и с целью развития сети автомобильных дорог в настоящее время назрела необходимость пересмотра устаревшей нормативной базы проектирования дорог (СНиПов, ГОСТов и других государственных, отраслевых и ведомственных стандартов).

Правила классификации автомобильных дорог в Российской Федерации и их отнесение к категориям автомобильных дорог, утвержденные постановлением Правительства РФ от 28.09.2009 г. №767, регламентируют отнесение эксплуатируемых автомобильных дорог к той или иной категории в соответствии с основными показателями транспортно-эксплуатационных характеристик и потребительских свойств дороги. Вместе с тем Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии утвержден ГОСТ Р52398, который распространяется и на существующие, и на проектируемые автомобильные дороги общего пользования. Поэтому при проектировании дорог общего пользования необходимо руководствоваться ГОСТ Р52398–2005 «Классификация автомобильных дорог» и ГОСТ Р52399–2005 «Геометрические элементы автомобильных дорог» (введены в действие в 2006–05–01) [2, 4].

Разработка новых технических регламентов, направленных на создание транспортной сети, удовлетворяющей требованиям потребителя, ведется достаточно успешно ведущими учеными и видными специалистами в области дорожной деятельности с 2003 г. Причем требования новых нормативных документов направлены на повышение требований к ТУ и ЭП автомобильных дорог; при этом особое внимание уделяется безопасности дорожного движения (БДД).

Согласно национальному стандарту Российской Федерации (ГОСТ Р 52 398–2005) все автомобильные дороги общего пользования по условиям движения и доступу на них транспортных средств разделяются на 3 класса: автомагистрали, скоростные дороги и дороги обычного типа (нескоростные дороги). Заметим, что такая классификация дорог используется в ФЗ № 257.

Техническая классификация автомобильных дорог общего пользования по ГОСТ Р 52 398–2005 представлена в табл. 1.2.

К классу «*автомагистраль*» относятся автомобильные дороги IA категории, которые не предназначены для обслуживания прилегающих территорий:

– имеющие на всем протяжении несколько проезжих частей с центральной разделительной полосой;

- не имеющие пересечений в одном уровне с автомобильными, железными дорогами, трамвайными путями, велосипедными и пешеходными дорожками;
- доступ на которые возможен только через пересечения в разных уровнях, устроенных не чаще чем через каждые 5 км друг от друга;
- на проезжих частях которых запрещены остановки и стоянки транспортных средств;
- оборудованные специальными местами отдыха и площадками для стоянки транспортных средств (на придорожной полосе).

Таблица 1.2

Техническая классификация автомобильных дорог  
общего пользования по ГОСТ Р 52 398-2005

Класс автомобильной дороги	Категория автомобильной дороги	Общее кол-во полос движения	Ширина полосы движения, м	Центр. раздел. полоса	Пересечения с автодор., велосип. и пеш. дорожками	Пересечения с ж.д. и трамвайными путями	Доступ на дорогу с примыканием в одном уровне
Автомагистраль	IA	4 и более	3,75	Обязательна	В разных уровнях		Не допускается
Скоростная дорога	IB	4 и более	3,75				Допускается без пересечения прямого направления
Дорога обычного типа	IV	4 и более <sup>1)</sup>	3,75	Допускается отсутствие <sup>2)</sup>	Допускаются пересечения в одном уровне со светофорным регулированием	В разных уровнях	Допускается
	II	4	3,75				
		2 или 3 <sup>3)</sup>	3,75				
	III	2	3,5	Не требуется	Допускаются пересечения в одном уровне <sup>4)</sup>		
	IV	2	3,0				
V	1	4,5 и более		Допускаются пересечения в одном уровне			
<p><sup>1)</sup> Более шести полос допускается только на существующих автомобильных дорогах.</p> <p><sup>2)</sup> На дороге категории II требование к наличию разделительной полосы определяется проектом организации дорожного движения.</p> <p><sup>3)</sup> Три полосы движения только для существующих автомобильных дорог.</p> <p><sup>4)</sup> Пересечение 4-полосной дороги категории II с аналогичной осуществляется в разных уровнях. Другие варианты пересечения дорог категории II с дорогами категорий II и III могут осуществляться как в разных уровнях, так и в одном (при условии светофорного регулирования, «отнесенных» левых поворотов или пересечения кольцевого типа).</p>							

*Скоростные* дороги IB категории характеризуются следующими показателями:

- пересечения с автомобильными и железными дорогами, трамвайными путями, велосипедными и пешеходными дорожками должны быть в *разных уровнях* (как и на автомагистралях) расположенными не чаще чем через 3 км;
- центральная разделительная полоса обязательна;
- доступ на дороги с примыкания в одном уровне возможен, но без пересечения прямого направления при наличии регулируемых перекрестков на проезжей части;
- на проезжих частях запрещены остановки и стоянки транспортных средств;
- оборудованы специальными местами отдыха и площадками для стоянки транспортных средств, расположенными на придорожной полосе.

К классу дорог *обычного типа* (нескоростные дороги) относятся дороги категорий IB, II, III, IV и V:

- дороги IB и II категорий должны проектироваться с четырьмя полосами движения; нескоростные дороги прочих категорий могут иметь одну (дорога V категории) или несколько полос движения;
- пересечения дорог IB и II категории (с четырьмя полосами движения) в одном уровне с автомобильными дорогами, велосипедными и пешеходными дорожками допускаются при наличии светового регулирования;
- доступ на дорогу с примыкания в одном уровне допускается для нескоростных дорог всех категорий, кроме IB, доступ на которую разрешается без пересечения прямого направления;
- на автомобильных дорогах II категории с четырьмя полосами движения допускается отсутствие центральной разделительной полосы и разрешается доступ на дорогу с примыкания в одном уровне без ограничения;
- пересечения дорог II и III категорий с *железными* дорогами, трамвайными путями должны быть в *разных уровнях*;
- из дорог класса нескоростных центральная разделительная полоса обязательна только на дорогах IB категории.

*Категория автомобильных дорог* – характеристика, отражающая принадлежность ее к соответствующему классу и определяющая ее технические параметры.

Отнесение дорог обычного типа к соответствующей категории осуществляется в зависимости от их транспортно-эксплуатационных характеристик и потребительских свойств в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2009 г. №767 «О классификации автомобильных дорог в Российской Федерации».

### ***Классификация автомобильных дорог по Федеральному закону №257***

В соответствии с Федеральным законом № 257–ФЗ от 08.11.2007 г. в зависимости от разрешенного использования автомобильные дороги подразделяются на дороги *общего* пользования и *необщего* пользования [1].

К автомобильным дорогам общего пользования относятся автомобильные дороги, предназначенные для движения транспортных средств неограниченного круга лиц.

К дорогам необщего пользования относятся автомобильные дороги, находящиеся в собственности, во владении или пользовании исполнительных органов государственной власти, местных администраций (исполнительно-распорядительных органов муниципальных образований), физических или юридических лиц, используемые ими исключительно для обеспечения собственных нужд либо для государственных или муниципальных нужд.

Перечень автомобильных дорог необщего пользования федерального, регионального или муниципального значения утверждаются соответственно уполномоченными федеральными органами исполнительной власти, высшим исполнительным органом государственной власти субъекта Российской Федерации; в перечень автомобильных дорог регионального или муниципального значения не могут быть включены автомобильные дороги необщего пользования федерального значения, их участки. Перечень автомобильных дорог необщего пользования местного значения может утверждаться органом местного самоуправления.

Разделение автомобильных дорог общего и необщего пользования по их значению и их перечень по условиям утверждения соответствующим органом власти показаны на рис. 1.1.

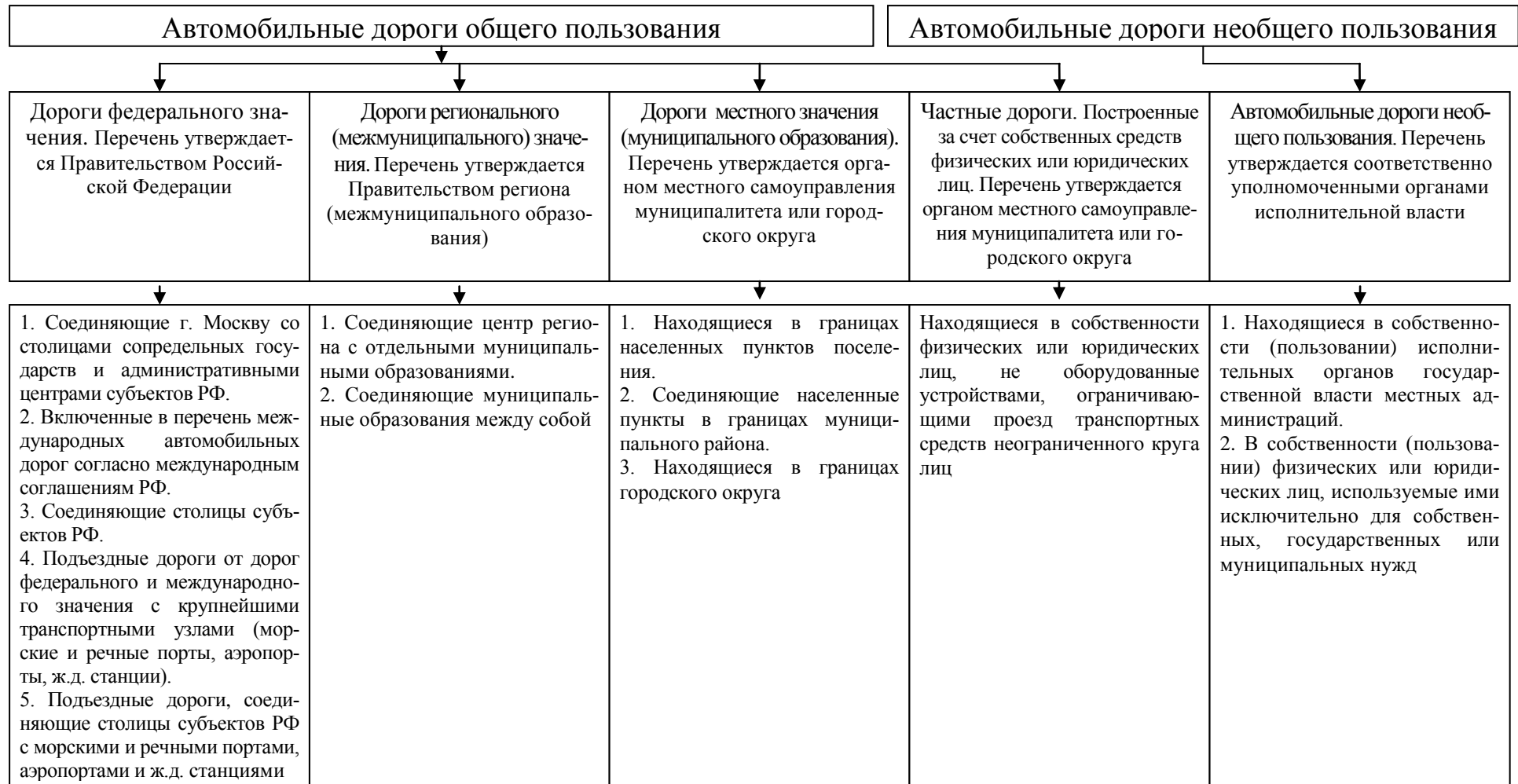


Рис. 1.1. Классификация автомобильных дорог по Федеральному закону №257 в зависимости от их значения и вида разрешенного пользования



### 1.3. СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Современная технология проектирования автомобильных дорог (проектная подготовка нового строительства) включает три основные стадии [5].

1-я стадия – разработка *предпроектной* документации – обеспечивает реализацию следующих этапов инвестиционно-строительной деятельности: определение цели инвестирования; ходатайство (декларация) о намерениях инвестирования; обоснование инвестиций в строительство дороги.

2-я стадия – разработка проекта (стадия «Инженерный проект»). На данной стадии принимают основные принципиально важные проектные решения по выбранному на первой стадии варианту трассы (проектирование трассы в плане, профиле и т.д.).

3-я стадия – разработка рабочих чертежей и прочей документации (стадия «Рабочая документация»). На данной заключительной стадии проектной подготовки строительства новых трасс выполняется анализ и доработка (уточнение и детализация) чертежей и других материалов, выполненных на предшествующих стадиях проектирования (с учетом результатов рекогносцировочного обследования района проложения трассы).

Количество стадий проектирования зависит от степени сложности объекта (категории дороги), условий района (природных, техногенных), объемов предстоящих работ и т.д. Для несложных объектов при простых инженерно-геологических условиях допускается включать рабочую документацию в состав «Инженерного проекта». При хорошей изученности района (наличии достаточно надежных материалов инженерных изысканий давностью не более двух лет) дороги невысоких категорий (III, IV, V) могут проектироваться в две стадии: предпроектная документация и стадия «Инженерный проект».

При двухстадийном проектировании доработка материалов, вынос трассы в натуру, т.е. полевое трассирование, планово-высотная привязка к пунктам опорной геодезической сети, топографическая съемка полосы местности вдоль трассы (съемка текущих изменений при наличии планов) в масштабах 1:1000 – 1:500, досъемка пересечений и вновь появившихся инженерных коммуникаций и прочие полевые работы, предусмотренные СНиП 11–02–96 к выполнению на 3-й стадии проектной подготовки строительства дорог, выполняются на стадии «Инженерный проект» [6].

Следует отметить особо, что если трасса проходит по территории населенных пунктов и промышленных предприятий, то независимо от стадийности вместо полевого трассирования (вынос трассы в натуру) должна выполняться крупномасштабная топографическая съемка полосы местности по выбранной трассе с последующей камеральной укладкой трассы по материалам съемки в существующих системах координат и высот.

Ширина полосы съемки вдоль трассы должна составлять до 100 м на незастроенных территориях, на застроенных должна ограничиваться шириной проезда (улицы). Допускается увеличение полосы съемки на участках с опасными природными и техногенными процессами; при этом она не должна быть более 300 м (не рекомендуется). Как правило, ширина полосы съемки обосновывается в программе изысканий в зависимости от категории дороги, полосы отвода и природных условий местности.

#### **1.4. НОРМАТИВНАЯ БАЗА ДЛЯ СТАДИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Разработка предпроектной и проектной документации нового строительства и реконструкции автомобильных дорог осуществляется по материалам инженерных изысканий. Основным документом инженерных изысканий, устанавливающим их состав и требования к выполнению, являются строительные нормы и правила Российской Федерации – СНиП 11.02–96 [6].

В состав инженерных изысканий для строительства автомобильных дорог входят следующие их виды: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-экологические, а также изыскания грунтовых, строительных материалов и оценка опасности и риска от природных и техногенных процессов.

Основанием для выполнения изыскательских работ является *договор* (контракт) между заказчиком и исполнителем инженерных изысканий с обязательными приложениями к нему технического задания, календарного плана работ, расчета стоимости и по требованию заказчика программы инженерных изысканий. В договоре (контракте) устанавливаются состав, объемы, этапность и сроки выполнения изыскательских работ и прочие, в том числе особые, условия

договора, определяющие обязательства сторон и ответственность за срыв сроков, упущенную выгоду и т.д.

*Техническое задание* составляется заказчиком с участием исполнителя инженерных изысканий (с оплатой работы) и подписывается руководством организации (заказчиком).

Как правило, техническое задание содержит следующие сведения:

- наименование объекта, вид строительства (новое строительство, реконструкция и т.д.), сведения о стадийности (этапе работ);
- перечень нормативных документов, в соответствии с требованиями которых необходимо выполнить инженерные изыскания, включая территориальные строительные нормы субъектов Российской Федерации, разработанные в установленном порядке;
- данные о местоположении трассы;
- сведения о ранее выполненных инженерных изысканиях;
- данные о наблюдавшихся в районе строительства дороги осложнениях в процессе строительства и эксплуатации сооружений (принимаются по материалам государственных, федеральных, территориальных и ведомственных фондов);
- дополнительные требования к производству отдельных видов инженерных изысканий и прочие условия.

При выдаче технического задания заказчик должен передать исполнителю инженерных изысканий во временное пользование имеющиеся у него материалы *ранее выполненных* инженерных изысканий на проектируемом участке (трассе), а также данные о природных и техногенных условиях района и выполненных согласованиях, прочую информацию. К техническому заданию должны прилагаться графические и текстовые документы, необходимые для организации и проведения инженерных изысканий на соответствующей стадии (этапе) проектирования. В техническом задании не допускается устанавливать состав и объемы изыскательских работ, методику и технологию их выполнения. Требования к организации и производству работ (состав, объем, методы, технология, последовательность, место и время производства отдельных видов работ), контроль за качеством входят в *программу инженерных изысканий*, составляемую исполнителем. Программа является внутренним документом исполнителя инженерных изысканий; при отсутствии требования заказчика о включении программы в состав договора (контракта) она может заменяться на специально составленное *предписание* на производство инженерных

изысканий. Предписание (равно как и программа инженерных изысканий) должно полностью соответствовать техническому заданию заказчика и содержать его требования. К программе инженерных изысканий для строительства должна прилагаться копия технического задания и другая документация, необходимая для производства изыскательских работ.

Регистрацию (выдачу разрешения) производства инженерных изысканий выполняют в установленном порядке соответствующие органы исполнительной власти субъектов РФ или органы местного самоуправления (если это право им делегировано) с привлечением при необходимости организаций, осуществляющих территориальные функции в области инженерных изысканий для строительства.

При длине трассы до 25 км или площади съемки до 1 км<sup>2</sup> право на выдачу разрешения (регистрацию) делегировано отделу по делам строительства и архитектуры при администрации муниципального образования района.

При длине трассы более 50 км или площади съемки более 1 км<sup>2</sup> регистрацию выполняет территориальная инспекция Госгеонадзора.

Подготовка документов для регистрации осуществляется *заказчиком* или по его поручению исполнителем инженерных изысканий с оплатой соответствующих услуг.

Отказ в регистрации производства инженерных изысканий органами исполнительной власти субъектов РФ или органами местного самоуправления допускается в случае отсутствия у исполнителя «Свидетельства» о допуске к определенному виду или видам работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства (инженерные изыскания), а также договора (контракта) и прилагаемого к нему технического задания заказчика на выполнение изыскательских работ.

Состав инженерных изысканий всех видов (инженерно-геодезических, геологических и др.) устанавливается соответствующим сводом правил (СП 11–104–97, СП 11–105–97 и др.) в зависимости *от цели* инженерных изысканий и *стадии проектирования* [5, 6].

Инженерные изыскания для строительства с целью *обоснования предпроектной документации* должны обеспечивать комплексное изучение природных и техногенных условий района и составление прогноза возможного изменения этих условий при взаимодействии с объектом строительства.

Изыскания для *подготовки обоснования инвестиций* в строительство дороги должны обеспечить получение необходимых и достаточных материалов для обоснования выбора трассы, определения базовой стоимости строительства, оценки воздействия объекта строительства на окружающую среду и т.д.

Изыскания на стадии *«Инженерный проект»* должны обеспечивать в соответствии с требованиями СНиП 11–02–96 [6] получение материалов, достаточных для разработки проекта организации строительства.

Изыскания на стадии *«Разработка рабочей документации»* должны обеспечить получение материалов, необходимых для разработки и уточнения окончательных проектных решений по отдельным вопросам, возникшим при разработке проекта, согласовании и (или) утверждении проекта по объекту строительства.

Изыскательская продукция передается заказчику в виде технических отчетов, оформленных в соответствии с требованиями нормативных документов и ГОСТов Минстроя России. Структура и содержание технического отчета (состав и содержание разделов, графических и текстовых документов) устанавливаются в соответствии с требованиями СНиП 11–02–96, технического задания заказчика, с учетом положений сводов правил по инженерным изысканиям для строительства (СП 11–104–97, СП 11–105–97 и др.) и стадии разработки проекта [7, 8].

В текстовой части технического отчета необходимо приводить сведения о задачах инженерных изысканий, местоположении района трассы, видах, объемах и методах работ, сроках их проведения, соответствии результатов инженерных изысканий договору (контракту), материалы и данные комплексного изучения природных и техногенных условий района проектируемой дороги, сведения о наличии лицензии (свидетельства о допуске) на соответствующие виды инженерных изысканий (номер, срок действия, наименование органа, выдавшего лицензию).

Характеристика природных и техногенных условий района должна содержать:

- прогноз возможных изменений и рекомендации по учету особенностей условий с детальностью, отвечающей стадии разработки предпроектной и проектной документации;
- оценку опасности природных процессов, риска от природных и техногенных процессов.

Графическая часть технического отчета должна содержать карты, планы, геологические разрезы, профили, графики, таблицы параметров, каталоги данных, содержащих основные результаты изучения и прогноза возможных изменений природных и техногенных условий объекта строительства, и прочие материалы для проектирования дорог.

Полевые материалы не входят в состав технического отчета, заказчику не передаются и должны храниться вместе с подлинником технического отчета в архиве исполнителя инженерных изысканий.

В качестве *нормативного документа для проектирования* автомобильных дорог общего пользования могут использоваться неотмененные к настоящему времени строительные нормы СНиП 2.05.02–85\* в той их части, что не противоречат требованиям ГОСТ Р 52398–2005, при этом отнесение проектируемой дороги к той или другой категории следует выполнять с учетом ее класса, т. е. согласно классификации, представленной в табл. 1.2.

Состав документации применительно к стадии проектирования должен соответствовать Приказу Росавтодора от 13.07.1999 г. № 237.

Геометрические элементы плана и продольного профиля следует проектировать согласно табл. 1.3 ГОСТ Р 52399–2005.

На дорогах в горной местности допускаются затяжные уклоны. Длина участка с затяжным уклоном определяется в зависимости от величины уклона, но не более значений, приведенных в табл. 1.3.

При более длинных затяжных уклонах необходимо включение в продольный профиль участков с уменьшенными продольными уклонами (не более 20 ‰), а также площадок для остановки автомобилей с расстояниями между ними не более длин участков, указанных в табл. 1.4.

Размеры площадок для остановки автомобилей на затяжных подъемах должны обеспечивать размещение расчетного количества (но не менее 3) грузовых автомобилей. Место их расположения выбирается из условий безопасности стоянки, исключения возможности осыпи, камнепадов и, как правило, у источников воды.

На затяжных спусках с уклонами более 50 ‰ предусматриваются противоаварийные съезды, которые устраивают перед кривыми малых радиусов, расположенными в конце спуска, а также на прямых участках спуска через каждые 0,8–1,0 км с правой стороны по ходу автомобиля.

Таблица 1.3

Наибольшие продольные уклоны  
и наименьшие расстояния видимости

Расчетная скорость, км/ч	Наибольший продольный уклон, ‰	Наименьшее расстояние видимости, м	
		для остановки	встречного автомобиля
140	30	275	–
120	40	250	450
100	50	200	350
80	60	150	250
60	70	85	170
50	80	75	130
40	90	55	110
30	100	45	90

Примечания:

1. Наименьшее расстояние видимости для остановки должно обеспечивать видимость любых предметов, имеющих высоту не менее 0,2 м, находящихся на середине полосы движения, с высоты глаз водителя автомобиля 1,2 м от поверхности проезжей части.

2. В горной местности (за исключением мест с абсолютными отметками более 3000 м над уровнем моря) для участков протяженностью до 500 м допускается увеличение наибольших продольных уклонов против норм, приведенных в таблице, но не более чем на 20 ‰.

3. При проектировании в горной местности участков подходов дорог к тоннелям наибольшее допустимое значение продольного уклона не должно превышать 45‰ на протяжении 250 м от портала тоннеля.

Таблица 1.4

Длина участков с уменьшенными продольными уклонами

Рельеф местности	Продольный уклон, ‰					
	40	50	60	70	80	90
	Предельная длина участка с затяжным уклоном, м					
Равнинный и слабохолмистый	600	400	300	250	200	150
Сильно пересеченный	1500	1200	700	500	400	350

Индивидуальные проектные решения разрабатывают только для сложных и особо сложных условий проектирования (наличие просадочных лессовых грунтов, оползневых явлений, карста и т.д.).

В состав «Инженерного проекта» входят следующие материалы [5]:

- копия задания заказчика;
- карта-схема транспортной сети района тяготения;
- чертежи, предназначенные для строительно-монтажных работ: план трассы М 1:2000 – 1:10000, продольный и типовые поперечные

профили, конструкции дорожной одежды, чертежи водоотводных устройств и обстановки дороги, пересечений и примыканий автомобильных дорог, комплексов зданий и сооружений дорожной и автотранспортной служб, чертежи переустройства пересекаемых трассой инженерных сетей (связь, ЛЭП и пр.), чертежи сооружений, относящиеся к охране окружающей природной среды, а также по восстановлению временно занимаемых земель (чертежи рекультивации), план обустройства автодороги;

– ведомость проектируемой дорожной одежды, покилометровая ведомость оплачиваемых земляных работ, ведомость искусственных сооружений, ведомость пересечений и примыканий, таблица основных технико-экономических показателей, копии документов согласований. Оформление проектной документации на всех стадиях должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 21.1701–97 [9].

## **1.5. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОГ**

Объем материалов, необходимых для реального проектирования, детальность изображения (масштабы) на схемах, картах, съемочных планах, степень изученности геологических, гидрологических и других условий района размещения трассы определяются стадией проектирования. Перечень материалов применительно к стадии (этапу) проектирования по каждому виду инженерных изысканий, допускаемые и рекомендуемые масштабы топографических планов (карт), прочие требования к изыскательским материалам изложены в нормативных документах.

Для курсового проектирования исходные данные задаются руководителем; недостающая информация принимается самими студентами по энциклопедической, нормативной и справочной литературе. При этом в расчетно-пояснительной записке (РПЗ) курсового проекта необходимо отразить следующие исходные данные:

- физико-географическое положение района;
- транспортно-экономические особенности района тяготения, показатели грузонапряженности, интенсивности движения автомобилей, категорию дороги и ее народнохозяйственное и административное значение;
- характеристику природных условий: климат, рельеф, растительность, гидрологические, гидрогеологические и другие условия;



– обеспеченность района тяготения дорожно-строительными материалами: месторождения каменных материалов и песка, грунтовые карьеры, наличие отходов местной промышленности, пригодных для использования в строительстве, и т.д.

### ***Пример описания района строительства автомобильной дороги***

*Задание:* выполнить краткое описание района строительства участка дороги между опорными пунктами *A* и *B* (рис. 2.1). Характеристику природно-климатических условий (температуры, глубины промерзания грунтов) установить по СНиП 23.01.99 «Строительная климатология» [10]. Для описания рельефа местности, гидрологических и других условий использовать топографическую карту. Гидрогеологические условия (вид грунтов, мощность пластов, УГВ и т.д.) установить по региональным инженерно-геологическим картам (схемам).

#### *Транспортно-экономическая характеристика района*

Дорога общего пользования III категории на участке 60–66 км (п. А, п. В) проходит по административной границе Алапаевского и Режевского районов Свердловской области. Район относится к высококоразвитому густонаселенному с достаточно хорошо развитой сетью автомобильных дорог местного значения. Существующая сеть автомобильных дорог обеспечивает транспортные связи между наиболее крупными населенными пунктами, объектами промышленной индустрии и сельского хозяйства.

Проектируемый участок (от п. А до п. В) по классификации [1] относится к дорогам общего пользования III категории (регионального значения). Расчетная приведенная интенсивность движения (на перспективный период 20 лет)  $N_p = 4500$  прив.авт./сут.

Проектируемая дорога пересекает автомобильную дорогу IV категории муниципального значения,  $N = 1450$  прив.авт./сут.

#### *Природно-климатические условия*

Режевской район Свердловской области расположен в южной подзоне II дорожно-климатической зоны, характеризующейся избыточным увлажнением грунтов (зона лесов) (прил. 1).

Климат района континентальный: зима сухая холодная, лето относительно жаркое. Среднегодовая температура наружного воздуха  $+0,8$  °С. Среднемесячная температура наиболее холодного месяца

– 16,6 °С (январь), наиболее жаркого +17,2°С (июль). Абсолютная минимальная температура –48°С, абсолютная максимальная +38°С; средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца +23,3 °С. Продолжительность периода со среднесуточной температурой наружного воздуха  $t_e < 0$  °С составляет 169 сут. Средняя месячная относительная влажность воздуха наиболее холодного месяца – 77 %, наиболее жаркого – 54 %; суточный максимум осадков – 80 мм, количество осадков за год – 512 мм. Средний объем снегопереноса за зиму – 400 м<sup>3</sup>/м, максимальная высота снегового покрова – 74 см. Направление преобладающих ветров зимой ЮЗ (38 %), средняя скорость ветра по преобладающему направлению – 4,6 м/с.

Глубина промерзания грунтов – 190 см.

*Геологическое строение* района сформировано в основном палеозойскими горными породами осадочного происхождения, четвертичными горными породами делювиального происхождения. Район проложения трассы относится к некарстовому. Подверженность оползневым процессам слабая.

*Грунты по трассе* представлены суглинками легкими; мощность залегания пластов – в пределах 1,8–2,1 м; природная влажность  $W_0$  – 18–20 %; консистенция – твердая и полутвердая. В местах пересечения ручьев верхний грунтовый горизонт представлен пылеватым песком мощностью до 1,0–1,8 м.

Толщина почвенно-растительного грунта – 0,15–0,20 м.

*Гидрогеологические условия*: уровень грунтовых вод (УГВ) на пониженных участках местности отмечен на глубине 0,6–0,7 м от поверхности земли; на повышенных участках на глубине бурения скважин 3 м грунтовые воды не замечены.

*Гидрология*: полоса варьирования трассы расположена в бассейне реки Реж. Залесенность бассейна составляет 90–95 %. Берега реки изрезаны боковыми логами; болот и озер на местности нет.

По геологическим и гидрологическим условиям район является благоприятным для строительства дорог.

*Рельеф местности* на полосе варьирования трассы сильнопересеченный. Разность отметок на 1 км изменяется от 30 до 100 м. Направление склона – с юго-восточного к северо-западному. Рельеф изрезан многочисленными логами с крутыми склонами; водотоки временного и постоянного действия. Поверхностный сток на местности обеспечен.

*Обеспеченность района местными дорожно-строительными материалами.* Промышленный карьер каменных материалов расположен на 10-м километре автомобильной дороги г. Екатеринбург – г. Реж на расстоянии 31 км до начала проектируемой дороги (до ПК0). В полосе варьирования трассы изыскан карьер песка, пригодного для строительных работ. Отходы металлургического завода, расположенного в г. Реж, пригодны для дорожного строительства.

### ***Заключение***

На основе изучения природно-климатических характеристик района, а также по архивным материалам ранее выполненных инженерных изысканий установлено следующее:

- степень изученности природных, техногенных и других условий на территории объекта строительства достаточна для разработки проекта строительства автомобильной дороги;
- природных и техногенных процессов, которые могли бы оказать неблагоприятное влияние на строительство и эксплуатацию дороги, по прогнозу не ожидается;
- объект строительства (дорога) не представляет опасности для природной среды и условий жизни населения.

### **Контрольные вопросы**

1. На какие категории подразделяются автомобильные дороги общего пользования согласно ФЗ № 257?
2. Какая интенсивность движения принимается за расчетную при проектировании автомобильных дорог?
3. Какие исходные материалы необходимы при проектировании автомобильных дорог?
4. По какому признаку автомобильные дороги разделены на классы и категории?
5. Как классифицируются дороги в зависимости от вида разрешенного использования?
6. Кто утверждает перечень автомобильных дорог федерального значения?
7. От каких условий зависит количество стадий проектирования?

## 2. ПЛАН ТРАССЫ

Ось дороги, проложенная на местности, называется трассой, а графическое изображение ее проекции на горизонтальной плоскости, выполненное в определенном масштабе, – планом трассы. Масштабы планов принимают в зависимости от цели съемки и требований к содержанию планов (количеству информации, подлежащей отображению на плане): площади контуров, рельефа и других условий, установленных строительными нормами (СНиП 11–02–96) и Сводом правил по инженерно-геодезическим изысканиям СП 11–104–97 [7].

На стадии разработки предпроектной документации для обоснования инвестиций в строительство используются следующие виды планов: обзорная карта (схема) в масштабах 1:25000 – 1:10000 с вариантами размещения трассы и ситуационные планы М 1:5000; 1:2000; 1:1000 – на незастроенной территории и 1:1000 – 1:500 – на застроенной территории.

На стадии разработки инженерного проекта составляют (или используют имеющиеся) уточненные (обновленные) ситуационные планы масштабов 1:5000 – 1:500. Но, как правило, для разработки проекта должна выполняться топографическая съемка М 1:2000 – 1:500 с высотами сечения рельефа через 1–0,5 м. Причем инженерно-геодезические изыскания новых трасс должны выполняться по направлениям, установленным на стадии разработки предпроектной документации (на этапе обоснования инвестиций).

Высота сечения рельефа на топографических планах должна соответствовать масштабу плана и рельефу местности (чем мельче масштаб, тем больше высота):

– в равнинной местности с углами наклона до 2° на планах масштаба 1:500 – 1:10000 высота сечения рельефа должна быть 0,5; 1,0; 2,0 м (при М 1:10000 высота сечения 2,0 м);

– в холмистой местности с углами наклона до 4° при тех же масштабах (от 1:500 до 1:10000) высота сечения рельефа изменяется от 0,5 до 5,0 м;

– в пересеченной местности с углами наклона до 6° высота сечения рельефа должна быть 1,0; 2,0; 2,5; 5,0; 10,0 м соответственно на планах масштабов 1:500 и 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10000.

Масштаб топографических карт (планов) и высоту сечения допускается увеличивать или уменьшать до смежных значений в зависимости от стадии проектирования, категории дороги, а также природных и техногенных условий района строительства.

На стадии рабочей документации используют топографическую съемку полосы местности вдоль трассы в масштабах 1:1000–1:500 (съемка текущих изменений вдоль трассы).

## **2.1. КАМЕРАЛЬНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ**

Камеральное трассирование линейных сооружений выполняют на двух стадиях проектирования: для разработки предпроектной документации и разработки инженерного проекта.

Камеральное проложение вариантов трассы для предпроектной документации производится по топографическим картам и аэроснимкам в масштабах 1:25000 или планам в масштабе 1:10000. На сложных (барьерных) и эталонных участках должна использоваться топографическая съемка в масштабах 1:5000 – 1:2000. На пересеченной местности, в горных и предгорных районах допускается съемка в масштабах 1:2000 и 1:1000.

На стадии *«Инженерный проект»* для камерального трассирования линейных сооружений следует использовать инженерно-топографические планы в масштабах 1:5000 – 1:500, составленные при разработке обоснований инвестиций в строительство дороги.

На стадии разработки рабочей документации камеральное трассирование не выполняется; доработка материалов, выполненных на предшествующих стадиях проектирования, производится по ранее вычерченным планам. Полевое трассирование (вынос трассы в натуру) ведут с учетом текущих изменений. Если на полосе местности вдоль трассы произошли изменения, тогда производится съемка текущих изменений и составляются планы в масштабах 1:1000 – 1:500.

### **2.1.1. СПОСОБЫ КАМЕРАЛЬНОГО ТРАССИРОВАНИЯ**

До начала трассирования на топографической карте крупного масштаба (1:25000) рекомендуется сначала ее подготовить, «поднять», т.е. обозначить синим пунктиром тальвеги суходолов, границы разлива ГВВ в речных долинах; перенести с инженерно-геологической карты неблагоприятные для трассирования участки (оползневые, карстовые и др.), обозначить прочие условия, влияющие на положение оси трассы, а также существующие или разведанные месторождения каменных материалов, карьеры песка и другую информацию.

*Способ трассирования* на карте зависит от рельефа местности и предельного уклона трассирования  $i_{mp}$ , который устанавливается по СНиП [3] в зависимости от категории дороги.

Если уклон местности (в полосе варьирования трассы) меньше, чем принятый уклон трассирования ( $i_m < i_{mp}$ ), трассу прокладывают вольным ходом.

Вольные ходы характерны тем, что, трассируя, не приходится преодолевать высотных препятствий и положение трассы определяется контурными препятствиями, а продольные уклоны всегда менее предельно допустимых для дороги данной категории.

Там, где приходится преодолевать значительные высотные препятствия, трассирование выполняют напряженными ходами.

Напряженные ходы возможно прокладывать двумя способами: по прямой и с развитием трассы.

Первый способ – трассирование по прямой с предельно допускаемым уклоном – принципиально возможно применять, когда средний уклон местности равен уклону трассирования ( $i_m = i_{mp}$ ). Но на практике крутые затяжные подъемы трудно преодолимы для большегрузных автомобилей, а слишком крутые спуски опасны для скоростных автомобилей. Поэтому в условиях слабохолмистой и пересеченной местности не рекомендуется прокладывать трассу с предельно допускаемыми уклонами. Смягчение уклонов на таких участках при проектировании продольного профиля дороги приводит к значительному увеличению объемов земляных работ.

Второй способ – с развитием трассы – применяют, когда уклон местности больше, чем уклон трассирования ( $i_m > i_{mp}$ ). Применение этого способа приводит к удлинению трассы. Это вполне приемлемо для дорог низких категорий с переходными покрытиями. Трассировать дороги I – III категории предпочтительнее по прямой при условии *смягчения* уклонов в процессе проектирования.

### 2.1.2. ТРЕБОВАНИЯ К КАМЕРАЛЬНОМУ ТРАССИРОВАНИЮ

Общее направление трассы устанавливают на основе экономических изысканий и в соответствии со схемой размещения и развития сети автомобильных дорог в данном регионе.

Если в задании на проектирование общее направление трассы уже задано, т.е. обозначены начальная, конечная и промежуточные точки, через которые должна пройти трасса, то трассирование начи-

нают с проложения воздушных линий между обозначенными точками (опорными пунктами).

После обозначения воздушной линии трассирование на карте выполняют с соблюдением следующих требований и условий.

1. Трасса должна быть максимально приближенной к воздушной линии, т.е. к прямой, соединяющей опорные пункты.

2. Отклонения трассы от воздушной линии допускаются на участках, где имеются различные препятствия, преодоление которых технически сложно и экономически менее целесообразно, чем удлинение трассы.

Препятствия, требующие отклонения трассы от воздушной линии, могут быть контурными и высотными.

К контурным препятствиям относятся населенные пункты (не являющиеся опорными), заповедники, излуины крупных рек, озера, болота, горные долины (направление которых не совпадает с заданным направлением трассы), участки местности, неблагоприятные по инженерно-геологическим условиям.

Высотными препятствиями являются главные водораздельные горные хребты, глубокие и широкие котловины, отдельные возвышенности и холмы.

Степень *отклонения трассы* от воздушной линии характеризуется коэффициентом удлинения, равным отношению фактической длины трассы  $L_{\phi}$  к длине трассы по воздушной линии  $L_e$ :

$$m = L_{\phi} / L_e . \quad (2.1)$$

Значение коэффициента удлинения трассы  $m$  устанавливают в зависимости от категории сложности рельефа (табл. 2.1).

3. На местности, где нет значительных высотных препятствий и положение трассы определяется контурными препятствиями и инженерно-геологическими условиями, трассу следует прокладывать от препятствия до препятствия по кратчайшему направлению; всякое отклонение от него должно быть обоснованным.

4. Трасса должна проходить через *контрольные точки*. К контрольным точкам относятся: согласованные места пересечения с железными и автомобильными дорогами более высоких категорий, чем проектируемая; горные седловины, удобные для пересечения трассы; места пересечения крупных рек. При выборе контрольных точек для пересечения крупных рек необходимо руководствоваться условиями обеспечения удобств для устройства мостового перехода при беспрепятственном пропуске высоких вод, а также экономичностью его

устройства и удобством движения автомобилей. Практически всегда перпендикулярное пересечение водотока экономически целесообразней. Но стремление к такому пересечению, как правило, приводит к изменению направления трассы, нарушению ее плавности. Поэтому ради сохранения плавности трассы современные автомагистрали прокладывают с косым пересечением, проектируя большие мосты на кривых в плане и продольном профиле, несмотря на усложнение конструкций и их высокую стоимость.

Дороги низких категорий рекомендуется трассировать с пересечением крупных рек под углом  $90^\circ$ .

Ручьи и другие малые водотоки не создают затруднений в выборе места перехода и могут пересекаться под любым углом, или их русло может быть спрямлено.

Таблица 2.1

Ориентировочные значения коэффициента удлинения трассы в зависимости от категории сложности рельефа

Категория рельефа	Рельеф	Характеристика рельефа	Коэффициент удлинения
1	Равнинный	Равнины и долины с относительно пологими склонами и широкими спокойными водоразделами. Наибольшие колебания относительных высот отдельных точек не более 30 м на 1 км	1,1
2	Слабохолмистый	Местность с отдельными невысокими холмами, оврагами; продольные уклоны местности не превышают 70 ‰	1,1–1,15
3	Сильнопересеченный	Наличие большого количества холмов, не превышающих 200 м над уровнем подошвы, плавно переходящих в равнину. Разность отметок на 1 км трассы составляет 30 – 200 м	1,15–1,25
4	Гористый	Склоны гор и предгорий с сильно расчлененным рельефом, узкими ущельями; большая крутизна склонов	1,25–1,40
5	Горный	Горы обладают резко очерченной подошвой; разность отметок от уровня подошвы более 200 м; разветвленная сеть глубоких долин, ущелий и горных хребтов	1,5

5. Трассирование дороги в горной и сильно пересеченной местности с резко расчлененным рельефом необходимо начинать с напряженных ходов, т.е. с участков, где уклоны превышают предельный уклон трассирования, допускаемый для дороги заданной категории. Углы поворота на участках напряженных ходов назначают не для обхода препятствия, а для более мягкого вписывания в рельеф местности.



6. При проложении трассы следует избегать использования ценных земель и сельскохозяйственных угодий.

Требования нормативных документов к элементам плана, продольного и поперечного профилей должны учитываться уже на стадии камерального трассирования.

### 2.1.3. ПРИМЕР КАМЕРАЛЬНОГО ТРАССИРОВАНИЯ

**Задание:** проложить трассу на топографической карте между опорными пунктами, расположенными в точках *A* и *B* (рис. 2.1). За начало трассы (ПК0) принять п. А (км 60 дороги общего пользования). Выполнить укладку трассы на плане.

**Исходные данные:**

категория дороги на проектируемом участке – III ;

рельеф местности – пересеченный;

масштаб топографической карты 1:25000; сплошные горизонталы проведены через 5 м, пунктирные – через 2,5 м.

Характеристику района тяготения к проектируемой дороге и прочие исходные данные принять согласно описанию, выполненному в разделе 1.5.

**Решение**

1. Устанавливаем нормы проектирования дороги III категории. Принимаем предельный уклон трассирования равным максимально допустимому для проектирования дорог III категории при пересеченном рельефе:  $i_{mp} = 50 ‰$ .

2. На подготовленной карте (см. рис. 2.1) прокладываем трассу по воздушной линии (соединяем прямой линией точки *A* и *B*) и по отметкам горизонталей определяем уклоны местности  $i_m$  на полосе варьирования трассы. При этом замечаем, что на отдельных участках уклон местности  $i_m \approx 75 ‰$  и более, что значительно больше принятого уклона трассирования, поэтому трассу прокладываем напряженным ходом в такой последовательности: визуально оцениваем ситуационные особенности и рельеф местности и намечаем ориентировочные варианты трассы, стараясь максимально приблизиться к воздушной прямой и обеспечить наименьшие продольные уклоны. При этом коэффициент развития трассы для пересеченной местности должен быть в пределах  $m=(1,15-1,25)$ .

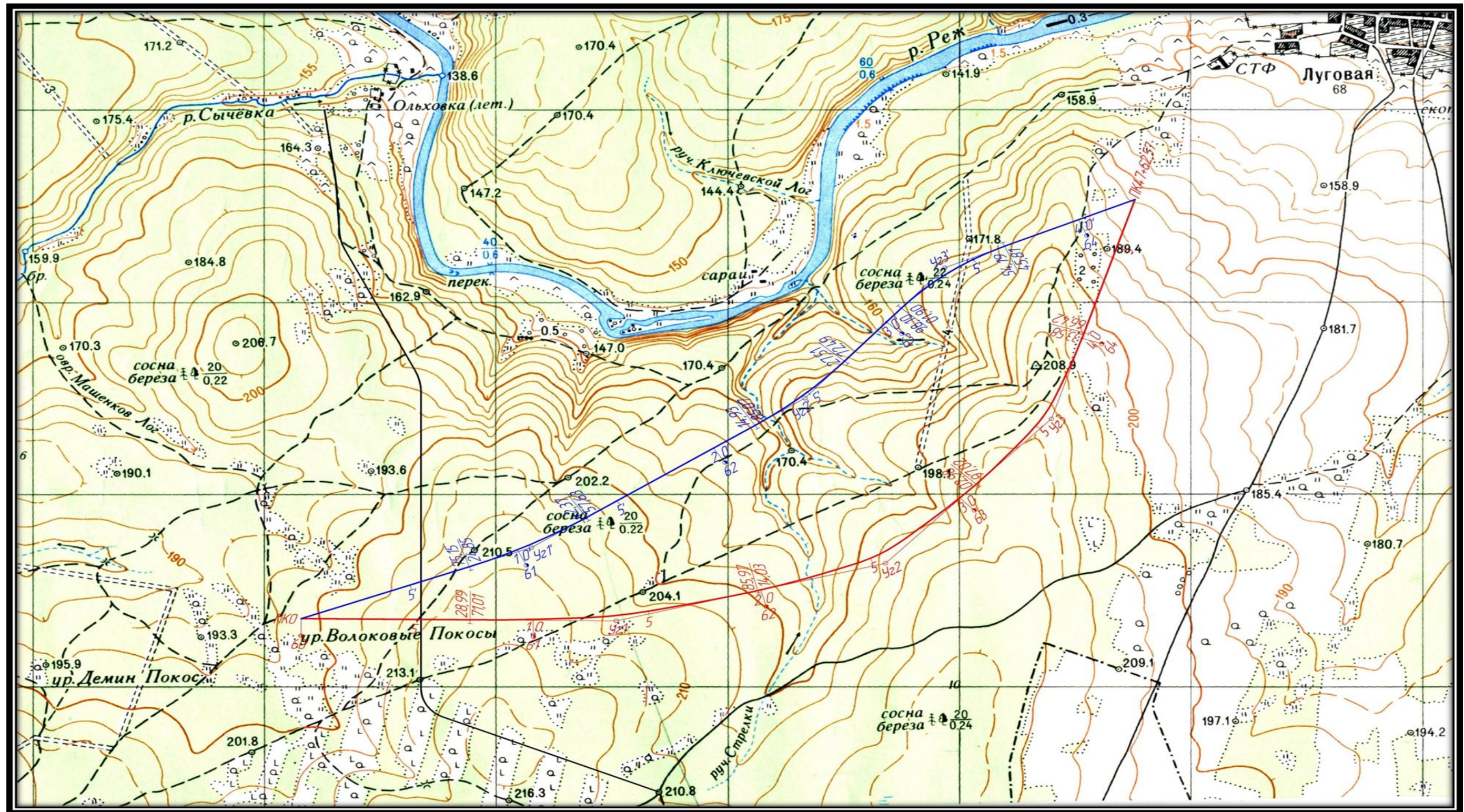


Рис. 2.1. Топографическая карта местности (учебная)

*Нормы проектирования дороги III категории в плане*

Расчетная скорость движения, км/ч:	
основная.....	100
допускаемая в трудных условиях:	
в пересеченной местности.....	80
в горной местности.....	50
Радиусы кривых, м:	
рекомендуемый .....	3000
наименьшие основные.....	600
в горной местности.....	400
Допускаемая длина прямой вставки между кривыми в плане, направленными в одну сторону, м.....	
	300

3. Намечаем по каждому варианту трассы контрольные точки (места пересечения логов и пр.) и прокладываем через них трассу. Затем фиксируем положение вершин углов поворота и прокладываем магистральные ходы с учетом положения вершин углов и контрольных точек. Далее приступаем к укладке трассы на плане.

Укладка трассы заключается в том, чтобы вписать в углах поворота круговые кривые (а при необходимости и переходные кривые); вычислить пикетажное положение основных точек закругления и перенести их на план (желательно более крупного масштаба, чем карта).

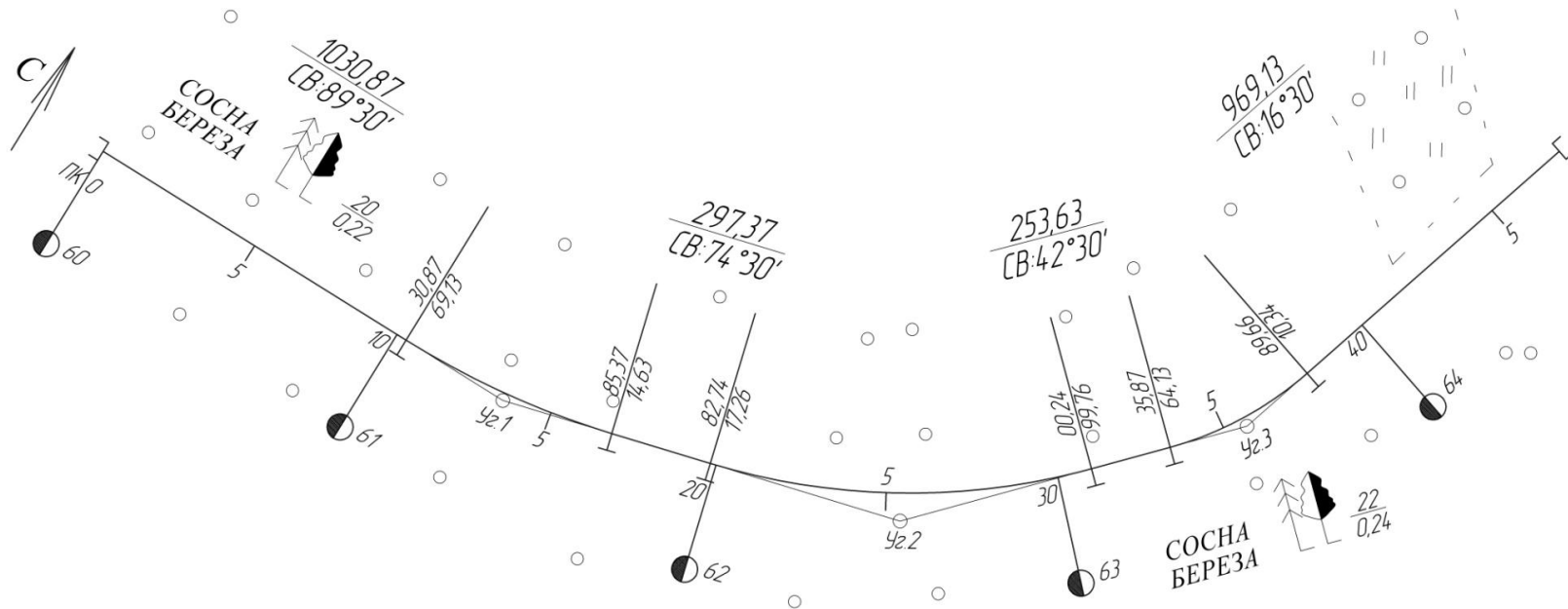
***Укладка трассы по варианту № 1 (южный)***

Последовательность укладки трассы следующая:

– уточняем предварительно намеченное положение вершин углов поворота трассы и соединяем вершины прямыми линиями. Длину последних измеряем масштабной линейкой с точностью до 0,2 мм, а углы поворота – транспортиром с точностью до 15'. Затем переносим ось трассы на план (рис. 2.2);

– вписываем на поворотах трассы круговые кривые по возможности больших радиусов. Для этой цели используем специальные шаблоны круговых кривых, изготовленные из прозрачного материала.

Для варианта трассы, представленного на рис. 2.2, возможность вписывания кривых рекомендуемого радиуса ( $R \geq 3000$  м) ограничивается расстоянием  $S$  между углами поворота трассы, поэтому вписываем кривые допускаемых радиусов;



36

№ углов поворота	Положение вершины угла ПК+	Угол поворота, град		Радиус R, м	Элементы круговой кривой, м				Местоположение точек закругления		Расстояние между вершинами, м	Прямая вставка, м	Румб линий, град
		ЛЕВО	ПРАВО		T	K	Б	Д	Начало ПК+	Конец ПК+			
Н.Тр.	0 + 00												
Уг.1	13 + 60,00	15°00'	–	2500	329,13	654,50	21,58	3,76	10 + 30,87	16 + 85,37	1360,00	1060,00	СВ:89°30'
Уг.2	25 + 56,24	32°00'	–	2000	573,50	1117,50	80,60	29,50	19 + 84,74	31 + 00,24	1200,00	297,37	СВ:74°30'
Уг.3	35 + 66,74	26°00'	–	1000	230,87	453,79	26,30	7,95	33 + 35,87	37 + 89,66	1040,00	235,63	СВ:42°30'
К.Тр.	47 + 58,79										1200,00	969,13	СВ:16°30'

Рис. 2.2. Укладка трассы (вариант 1, южный)

– выписываем из таблиц разбивки кривых [7] в зависимости от радиуса и угла поворота  $\alpha$ , град, значения элементов круговых кривых: тангенс  $T$ , длину кривой  $K$ , домер  $D$ , биссектрису  $B$ , и вносим их в таблицу на рис. 2.2;

– вычисляем пикетажное положение вершин углов поворота:

положение вершины угла № 1

$$BY_1 = HTp + S_1, \quad (2.2)$$

где  $HTp$  – начало трассы;  $S_1$  – расстояние от начала трассы до вершины угла № 1 (измеренное на карте).

Для условий рис. 2.2 имеем:

$$BY_1 = ПК0 + 1360 = ПК13+60.$$

Для каждого последующего угла поворота пикетажное положение вершин определяем по выражению

$$BY_n = ПК BY_{n-1} + S_n - D_{(n-1)}, \quad (2.3)$$

где  $n$  – порядковый номер угла поворота;  $D_{(n-1)}$  – домер предыдущей круговой кривой,  $m$ ;  $S_n$  – расстояние между вершинами смежных углов поворота,  $m$ ;

– определяем длину прямых вставок  $l$ . Длина первой прямой вставки равна расстоянию от начала трассы  $HTp$  до начала первой круговой кривой  $HK_1$ :

$$l = HK_1 - HTp. \quad (2.4)$$

Длина каждой последующей прямой вставки определяется как разность между началом последующей кривой и концом предыдущей:

$$l = HK_{n+1} - KK_n. \quad (2.5)$$

По окончании вычислений делаем проверку длины трассы по формулам

$$L_{mp} = \sum_{n=1}^n l + \sum_{n=1}^n K \quad (2.6)$$

или

$$L_{mp} = \sum_{n=1}^n S - \sum_{n=1}^n D. \quad (2.7)$$

Пикетажное положение вершин углов поворота и основных точек закруглений удобно вычислять в табличной форме, как показано в табл. 2.2.

Северный вариант укладки трассы выполняем аналогично южному (рис. 2.3).

Таблица 2.2

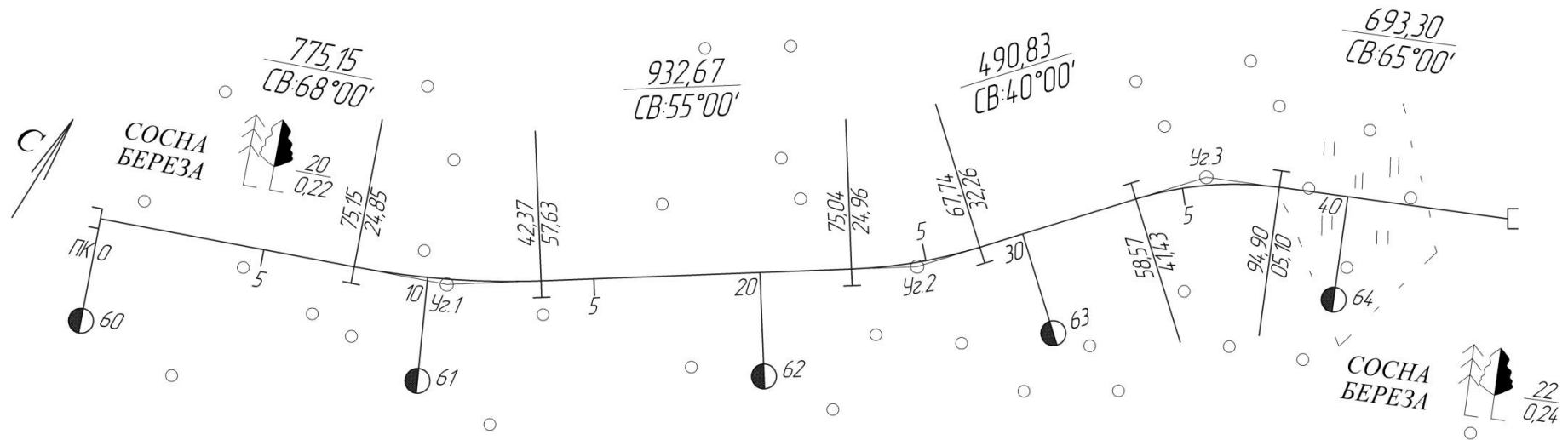
Вычисление пикетажного положения вершин углов поворота  
и основных точек круговых кривых по вариантам

Вариант № 1 (южный)

ВУ <sub>1</sub> ПК 13+60,00	1. ВУ <sub>1</sub> ПК 13+60,00	2. ВУ <sub>2</sub> ПК 25+56,24	3. ВУ <sub>3</sub> ПК 35+66,26
+S <sub>2</sub> 12 00,00	-Т 3 29,13	-Т 5 73,50	-Т 2 30,87
ПК 25+60,00	НК ПК 10+30,87	НК ПК 19+82,74	НК ПК 33+35,39
-Д <sub>1</sub> 3,76	+К 6 54,50	+К 11 17,02	+К 4 53,79
ВУ <sub>2</sub> ПК 25+56,24	КК ПК 16+85,37	КК ПК 30+99,76	КК ПК 37+89,18
+S <sub>3</sub> 10 40,00	-1/2 К 3 27,25	-1/2 К 5 58,51	-1/2 К 2 26,89
ПК 35+96,24	СК ПК 13+58,12	СК ПК 25+41,25	СК ПК 35+62,29
-Д <sub>2</sub> 29,98	+1/2Д 1,88	+1/2Д 14,99	+1/2Д 3,97
ВУ <sub>3</sub> ПК 35+66,26	ВУ <sub>1</sub> ПК 13+60,00	ВУ <sub>2</sub> ПК 25+56,24	ВУ <sub>3</sub> ПК 35+66,26
+S <sub>4</sub> 12 00,00			
ПК 47+66,26			
-Д <sub>3</sub> 7,95			
КТр= ПК 47+58,31			

Вариант № 2 (северный)

ВУ <sub>1</sub> ПК 10+60,00	1. ВУ <sub>1</sub> ПК 10+60,00	2. ВУ <sub>2</sub> ПК 24+72,52	3. ВУ <sub>3</sub> ПК 33+80,26
+S <sub>2</sub> 14 15,00	-Т 2 84,85	-Т 1 97,48	-Т 2 21,69
ПК 24+75,00	НК ПК 7+75,15	НК ПК 22+75,04	НК ПК 31+58,57
-Д <sub>1</sub> 2,48	+К 5 67,22	+К 3 92,70	+К 4 36,33
ВУ <sub>2</sub> ПК 24+72,52	КК ПК 13+42,37	КК ПК 26+67,74	КК ПК 35+94,90
+S <sub>3</sub> 9 10,00	-1/2 К 2 83,61	-1/2 К 1 96,35	-1/2 К 2 18,16
ПК 33+82,52	СК ПК 10+58,76	СК ПК 24+71,39	СК ПК 33+76,74
-Д <sub>2</sub> 2,26	+1/2Д 1,24	+1/2Д 1,13	+1/2Д 3,52
ВУ <sub>3</sub> ПК 33+80,26	ВУ <sub>1</sub> ПК 10+60,00	ВУ <sub>2</sub> ПК 24+72,52	ВУ <sub>3</sub> ПК 33+80,26
+S <sub>4</sub> 9 15,00			
ПК 42+95,25			
-Д <sub>3</sub> 7,05			
КТр= ПК 42+88,20			



39

№ углов поворота	Положение вершины угла ПК+	Угол поворота, град		Радиус R, м	Элементы круговой кривой, м				Местоположение точек закругления		Расстояние между вершинами, м	Прямая вставка, м	Румб линий, град
		ЛЕВО	ПРАВО		T	K	B	Д	Начало ПК+	Конец ПК+			
Н.Тр.	0 + 00										1060,00	775,15	CB:68°00'
Уз.1	10 + 60,00	13°00'	–	2500	284,85	567,22	16,18	2,48	7 + 75,15	13 + 42,37	1415,00	932,67	CB:55°00'
Уз.2	24 + 72,52	15°00'	–	1500	197,48	392,70	12,94	2,26	22 + 75,04	26 + 67,74	910,00	490,83	CB:40°00'
Уз.3	33 + 80,26	–	25°00'	1000	221,69	436,33	24,28	7,06	31 + 58,57	35 + 94,90	915,00	693,30	CB:65°00'
К.Тр.	42 + 88,20												

Рис. 2.3. Укладка трассы (вариант 2, северный)

## 2.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРУГЛЕНИЙ С ПЕРЕХОДНЫМИ КРИВЫМИ

План трассы следует проектировать из условия наименьшего ограничения и изменения скорости движения автомобилей, обеспечения безопасности и удобства движения, а также возможной реконструкции дороги за пределами перспективного периода. При проектировании элементов плана, равно как и продольного и поперечного профилей, перспективный период следует принимать 20 лет. Начальным годом расчетного перспективного периода является год завершения разработки проекта дороги (или самостоятельного участка дороги).

Для обеспечения плавного въезда в круговую кривую малого радиуса и выезда из кривой последние сопрягают с прямыми участками трассы посредством переходных кривых.

В практике проектирования автомобильных дорог наибольшее распространение получили переходные кривые типа клотоиды, которые характеризуются линейным законом нарастания кривизны по длине и более, чем другие математические кривые, соответствуют фактической траектории движения автомобиля.

Клотоида (или радиоидальная спираль) как математическая кривая представляет собой спираль, радиус кривизны которой непрерывно изменяется от  $\rho = \infty$  в начальной точке до  $\rho = 0$  в бесконечном удалении от начала кривой (рис. 2.4).

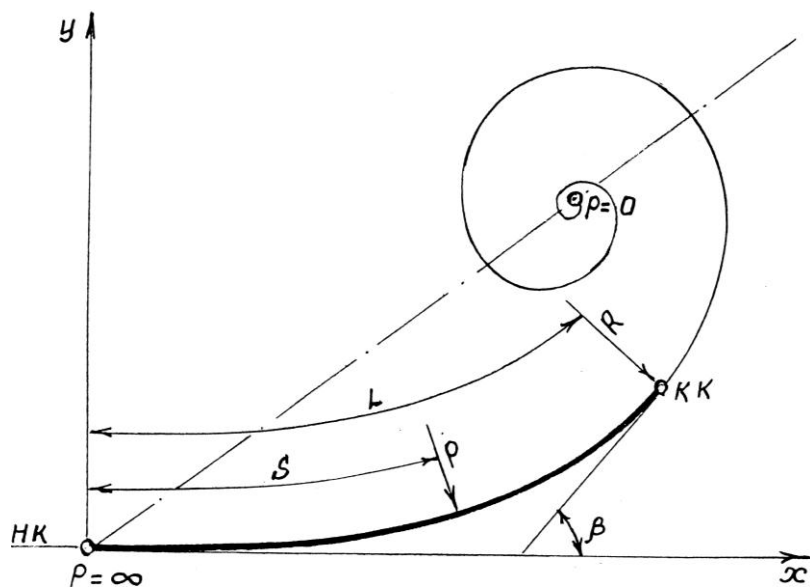


Рис. 2.4. Клотоида (переходная кривая)



В качестве переходной кривой, как самостоятельного элемента трассы, применяется только начальный участок клотоиды от точки отхода от прямого участка, где  $\rho = \infty$ , до точки на кривой, где  $\rho = R$  (на расстоянии  $L$  от начала клотоиды) (рис. 2.5).

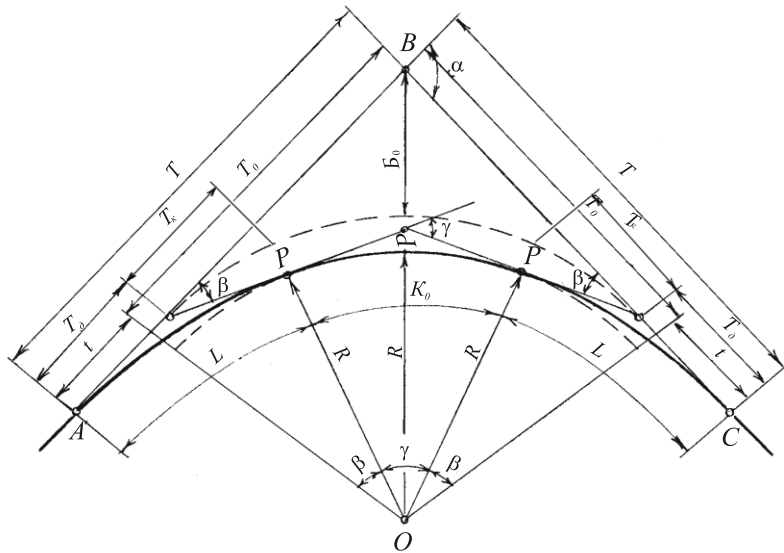


Рис. 2.5. Расчетная схема закругления из переходных кривых с круговой вставкой:  $\alpha$  – угол поворота трассы;  $R$  – радиус круговой кривой;  $T$  – тангенс закругления;  $T_0$  – тангенс круговой кривой при радиусе  $(R+p)$ ;  $t$  – расстояние от начала переходной кривой до начала круговой кривой;  $L$  – длина переходной кривой;  $K_0$  – длина круговой кривой при радиусе  $R$  и угле поворота  $\gamma = \alpha - 2\beta$ ;  $p$  – сдвижка круговой кривой;  $\beta$  – угол переходной кривой;  $\gamma$  – центральный угол круговой кривой;  $T_0$  – длинный тангенс переходной кривой;  $T_k$  – короткий тангенс переходной кривой

Уравнение клотоиды имеет вид

$$\rho = C/S, \quad (2.8)$$

где  $\rho$  – радиус кривизны,  $S$  – расстояние от начала клотоиды до точки  $M$  на ней.

Параметр клотоиды  $C$  – величина постоянная и выражается как произведение:

$$C = RL = A^2, \quad (2.9)$$

где  $R$  – радиус кривизны в конце клотоиды (точнее, в конце отрезка клотоиды длиной  $L$ );  $L$  – длина клотоиды, т.е. длина отрезка клотоиды от ее начала до точки на кривой, где радиус кривизны  $\rho = R$ .

Параметр  $A$  характеризует степень изменения кривизны клотоиды.

Наименьшая длина переходной кривой определяется по условию равномерного нарастания центробежной силы в пределах переходной кривой:

$$L = V_p^3 / (47 I R), \quad (2.10)$$

где  $V_p$  – расчетная скорость движения для дороги соответствующей категории, км/ч;  $I$  – допускаемая скорость нарастания центробежного ускорения, м/с<sup>3</sup>.

Для обеспечения зрительной плавности трассы параметры переходной кривой должны находиться в пределах  $0,4R \leq A \leq 1,4R$ , при этом  $A_{max}=1200$  м.

Если получаемое расчетом смещение круговой кривой от введения переходной кривой меньше 0,2 м, переходную кривую можно не устраивать, считая, что удобство проезда достигается за счет смещения автомобиля в пределах полосы движения [11].

Согласно СНиП [3] сопряжение прямых участков с круговыми кривыми посредством переходной кривой обязательно, если радиус круговой кривой  $R \leq 3000$  м – на дорогах I категории и  $R \leq 2000$  м – на дорогах прочих категорий. Наименьшая длина переходной кривой нормируется в зависимости от радиуса круговой кривой (прил. 2, табл. 1). Нормативную длину переходной кривой рекомендуется увеличить в 1,5–2 раза, если это позволяет расстояние между углами поворота трассы.

### ***Пример проектирования закруглений из переходных кривых и круговой вставки между ними***

**Задание:** запроектировать закругления, состоящие из переходных кривых с круговой вставкой между ними, по двум вариантам трассы, представленным на рис. 2.2 и 2.3, используя типовые проектные решения [11].

*Проектирование закруглений по варианту № 1 (южному)*

В угол № 1 вписана круговая кривая большого радиуса ( $R_1=2500$  м). Сопряжение таких кривых с прямым участком устраивается без переходной кривой, поэтому закругления с переходными кривыми проектируем только на втором и третьем поворотах трассы.

*Исходные данные:*

Угол № 2:  $\alpha = 32^\circ 00'$ ;  $R = 2000$  м

Угол № 3:  $\alpha = 26^\circ 00'$ ;  $R = 1000$  м

*Последовательность проектирования закругления*

1. Назначаем длину переходных кривых для смежных закруглений ( $У_{22}$  и  $У_{23}$ ) в зависимости от радиуса круговых кривых  $R$ . Согласно СНиП 2.05.02–85\* при  $R = 2000$  м длина переходной кривой должна быть не менее  $L = 100$  м, а при  $R = 1000$  м – не менее 120 м. Помня, что переходная кривая большей длины предпочтительнее (улучшаются условия движения), а также учитывая рекомендации строительных норм о целесообразности назначения смежных параметров переходных кривых одинаковыми, принимаем  $L_1 = L_2 = 120$  м. Затем выписываем из таблиц [7] элементы круговой кривой:

Для закругления № 2 имеем:

$$T = 573,50 \text{ м}; K = 1117,02 \text{ м}; B = 80,60 \text{ м}; D = 29,98 \text{ м}; \rho = 0,015.$$

2. Вычисляем угол переходной кривой. При одинаковой длине ветвей клотоиды  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ .

$$\beta = L/2R, \quad (2.11)$$

$$\beta = \frac{120}{2 \cdot 2000} = 0,03 \text{ рад} \text{ или } \beta = 0,03 \cdot 57,3 = 1^\circ 43'.$$

3. По аргументу  $\beta = 1^\circ 43'$  находим по табл.  $I_a$  [12] параметры клотоиды при  $R = 100$  м:

– расстояние от начала переходной кривой до начала круговой кривой  $t = 2,996$ ;

– сдвигка круговой кривой  $p = 0,015 \cdot 20,0 = 0,30$ .

Вычисляем отношение фактического радиуса круговой кривой к табличному:  $R_{\phi} / R_{\text{табл}} = 2000/100 = 20$

и определяем фактические значения элементов переходной кривой умножением табличных величин на отношение  $R_{\phi} / R_{\text{табл}} = 20$ .

$$t = 2,996 \cdot 20,0 = 59,92; p = 0,015 \cdot 20,0 = 0,30.$$

4. Находим центральный угол оставшейся части круговой кривой (после укладки клотоиды) по формуле

$$\begin{aligned} \gamma &= \alpha - 2\beta, \\ \gamma &= 32^\circ 00' - 2 \cdot 1^\circ 43' = 28^\circ 34'. \end{aligned} \quad (2.12)$$

5. Определяем тангенс оставшейся части круговой кривой для нового значения радиуса  $(R+p)$  и угла  $\alpha = 32^\circ 00'$ :

$$\begin{aligned} T_0 &= (R+p) \operatorname{tg} \alpha/2. \\ T_0 &= (2000+0,30) \operatorname{tg} (32^\circ/2) = 573,59 \text{ м}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Значение  $T_0$  можно определить непосредственно по таблицам Ганьшина [13].

6. Вычисляем полный тангенс закругления  $T_n$ :

$$T_n = T_0 + t = 573,59 + 59,92 = 633,51 \text{ м.}$$

7. Определяем оставшуюся длину круговой вставки  $K_0$  по формуле

$$K_0 = \pi R \gamma / 180^\circ, \quad (2.14)$$

$$K_0 = \frac{3,14 \cdot 2000 \cdot 28^\circ 34'}{180^\circ} = 996,66 \text{ м.}$$

8. Вычисляем полные значения элементов закругления:

длина закругления  $K_n = 2L + K_0,$  (2.15)

$$K_n = 2 \cdot 120 + 996,66 = 1236,66 \text{ м;}$$

длина биссектрисы  $B_n = B_0 + p,$  (2.16)

$$B_n = 80,60 + 0,30 = 80,90 \text{ м;}$$

домер  $D_n = 2T_n - K_n,$  (2.17)

$$D_n = 2 \cdot 633,51 - 1236,66 = 30,36 \text{ м.}$$

9. Определяем пикетажное положение вершин углов поворота и основных точек закругления (табл. 2.3).

Проектирование закругления № 3 начинаем с установления исходных данных. Согласно рис. 2.3 имеем:

$$\alpha = 26^\circ 00' (U_{23}); R = 1000 \text{ м; } T = 230,87 \text{ м; } K = 453,79 \text{ м; } B = 26,30 \text{ м; } D = 7,95 \text{ м.}$$

В зависимости от радиуса круговой кривой назначаем длину переходной кривой  $L = 120 \text{ м}$  (прил. 2, табл. 2). Далее выполняем расчет аналогично предыдущему. Расчеты представлены в виде табл. 2.3; отмечаем пикетажное значение основных точек закругления на плане трассы рис. 2.6.

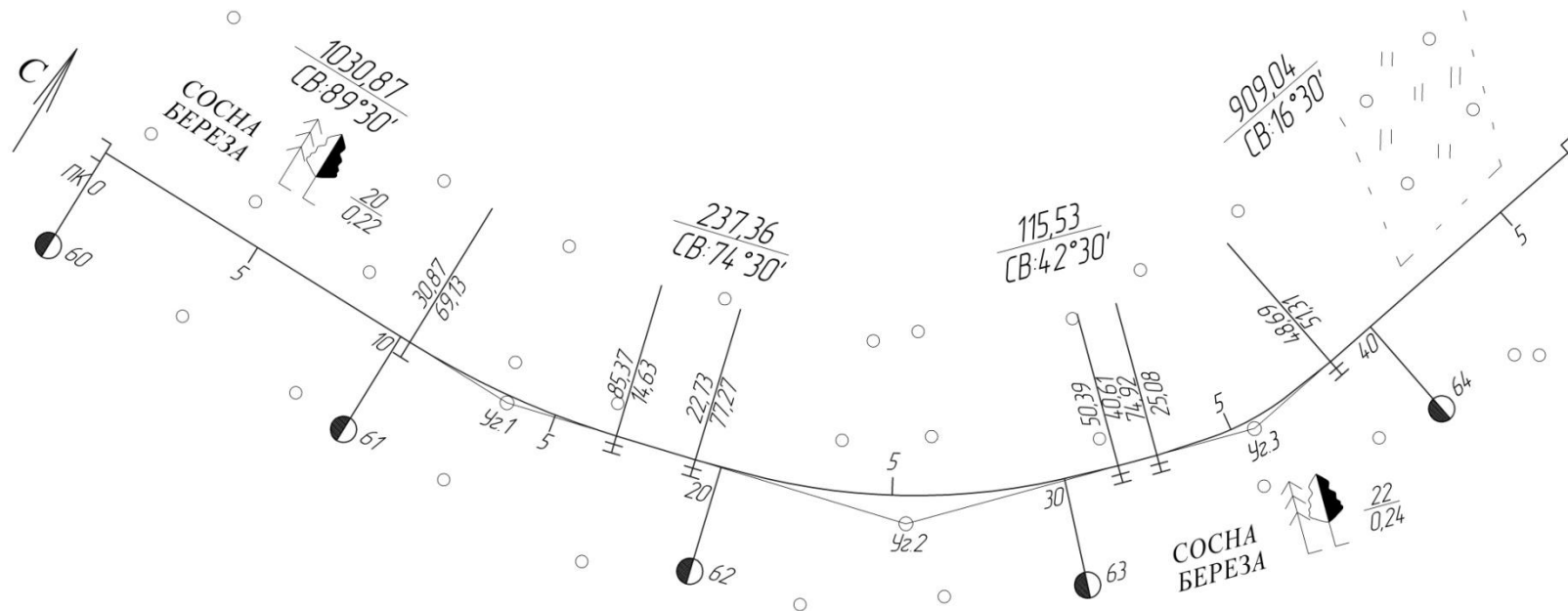
#### *Проектирование закруглений по варианту №2 (северному)*

Первое закругление по северному варианту трассы оставляем без изменения, поскольку при укладке трассы в угол №1 ( $\alpha = 13^\circ 00'$ ) вписана круговая кривая большего радиуса ( $R = 2500 \text{ м}$ ). Сопряжение прямых участков с круговыми кривыми, радиус которых  $R < 2000 \text{ м}$ , проектируем посредством переходных кривых [11]. Длину переходных кривых (клотоид) для закруглений № 2 и № 3 принимаем одинаковой:  $L_2 = L_3 = 120 \text{ м}$ . Далее северный вариант рассчитывается аналогично южному. Определение пикетажного положения вершин углов поворота и основных точек закруглений представлено в табличной форме (табл. 2.4), а план трассы северного варианта, запроектированный переходными кривыми с круговой вставкой, – на рис. 2.7.

Таблица 2.3

Определение пикетажного положения вершин углов поворота и основных точек круговых и переходных кривых (к варианту № 1, южному)

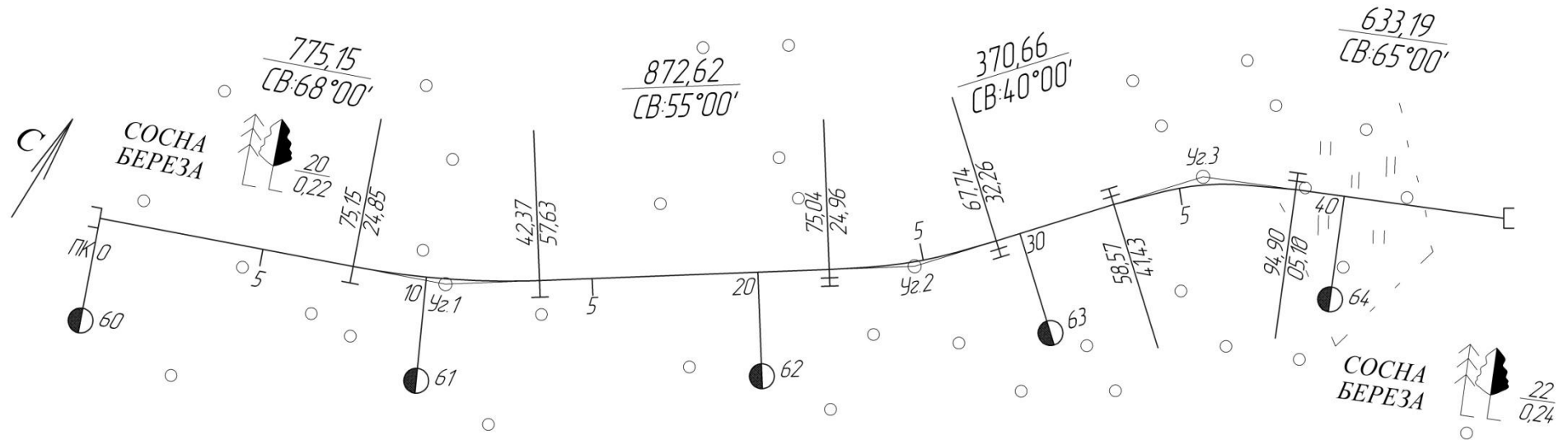
Положение вершин углов поворота:		Основные точки закругления:	
Н. Тр.	ПК0+00,00	1.	ВУ <sub>1</sub> ПК13+60,00
+S <sub>1</sub>	13 60,00		-Т
ВУ <sub>1</sub>	ПК13+60,00		НKK ПК10+30,87
+S <sub>2</sub>	12 00,00		+К
	ПК25+60,00		КKK ПК16+85,37
-Д <sub>1</sub>	3,76		+1/2К
ВУ <sub>Г2</sub>	ПК25+56,24		СКК ПК13-58,12
+S <sub>3</sub>	10 40,00		+1/2Д
	ПК35+96,24		ВУ <sub>1</sub> ПК13+60,00
-Д <sub>2</sub>	30,36		
ВУ <sub>Г3</sub>	ПК35+65,88	2.	ВУ <sub>2</sub> ПК25+56,24
+S <sub>4</sub>	12 00,00		-Т <sub>п</sub>
	ПК47+65,88		НПК ПК19+22,73
-Д <sub>3</sub>	8,15		+L
К Тр=	ПК47+57,73		НKK ПК20+42,73
			+К <sub>0</sub>
			КKK ПК30+39,39
			+L
			КПК ПК31+59,39
			-1/2К <sub>п</sub>
			Ср. Зак. ПК25+41,06
			+1,2Д <sub>п</sub>
			ВУ <sub>2</sub> ПК25+56,24
		3.	ВУ <sub>3</sub> ПК35+65,88
			-Т <sub>п</sub>
			НПК ПК32+74,92
			+L
			НKK ПК33+94,02
			+К <sub>0</sub>
			КKK ПК37+28,69
			+L
			КПК ПК38+48,69
			-1/2К <sub>п</sub>
			Ср. Зак. ПК35+61,80
			+1/2Д <sub>п</sub>
			ВУ <sub>3</sub> ПК35+65,88



46

№ углов поворота	Положение вершины угла ПК+	Угол поворота, град		Радиус R, м	Элементы круговой кривой, м					Местоположение точек закругления		Расстояние между вершинами, м	Прямая вставка, м	Румб линий, град	
		ЛЕВО	ПРАВО		L	Tn	Kn	Bn	Дn	Начало ПК+	Конец ПК+				
Н.Тр.	0 + 00														
Vz.1	13 + 60,00	15°00'	—	2500		329,13	654,50	21,58	3,76	10 + 30,87	16 + 85,37	1360,00	1030,87	СВ:89°30'	
Vz.2	25 + 56,24	32°00'	—	2000	120	533,51	1236,66	80,90	30,36	19 + 22,73	31 + 59,39	1200,00	237,36	СВ:74°30'	
Vz.3	35 + 65,88	26°00'	—	1000	120	290,96	573,77	26,90	8,15	32 + 74,92	38 + 48,69	1040,00	115,53	СВ:42°30'	
К.Тр.	472 + 57,73											1200,00	909,04	СВ:16°30'	

Рис. 2.6. План трассы с закруглениями из переходных кривых с круговой вставкой (южный вариант)



47

№ углов поворота	Положение вершины угла ПК+	Угол поворота, град		Радиус R, м	Элементы круговой кривой, м					Местоположение точек закругления		Расстояние между вершинами, м	Прямая вставка, м	Румб линий, град
		ЛЕВО	ПРАВО		L	Tn	Kn	Bn	Дn	Начало ПК+	Конец ПК+			
Н.Тр.	0 + 00											1060,00	775,15	СВ:68°00'
Уз.1	10 + 60,00	13°00'	—	2500	—	284,85	567,22	16,18	2,48	7 + 75,15	13 + 42,37	1415,00	872,56	СВ:55°00'
Уз.2	24 + 72,52	15°00'	—	1500	120	257,59	512,58	13,34	2,60	22 + 14,93	27 + 27,51	910,00	370,59	СВ:40°00'
Уз.3	33 + 79,92	—	25°00'	1000	120	281,82	556,09	24,88	7,55	303 + 98,10	36 + 54,19	915,00	633,18	СВ:65°00'
К.Тр.	42 + 87,37													

Рис. 2.7. План трассы с закруглениями из переходных кривых с круговой вставкой (северный вариант)

### *Оценка вариантов трассы*

Анализируя геометрические параметры вариантов трассы, запроектированные с закруглениями из переходных кривых с круговой вставкой (см. рис. 2.6; 2.7 и табл. 2.5), делаем следующий вывод: трасса южного варианта является «жесткой» из-за коротких прямых вставок ( $l_1=237,36$  м,  $l_2=115,53$  м).

Согласно СНиП [4] короткая прямая вставка между двумя кривыми в плане, направленными в одну сторону, не рекомендуется.

При длине ее менее 100 м обе кривые необходимо заменять одной кривой большого радиуса; при длине 100–300 м прямую вставку следует заменять переходной кривой большого параметра  $A$ . Прямая вставка, как самостоятельный элемент, допускается для дорог I и II категорий при ее длине более 700 м; для дорог III и IV категории – более 300 м. Поэтому принимаем решение: для обеспечения плавности движения южный вариант трассы запроектировать в виде клотоид большого параметра без круговых вставок. Вариант трассы, состоящей из переходных кривых длиной 120 м с круговыми вставками, исключить из дальнейшего рассмотрения, как не отвечающий требованиям СНиП.

По северному варианту трасса состоит из переходных кривых длиной 120 м с круговыми вставками (см. рис. 2.7), является достаточно плавной (длина прямых вставок больше 300 м). Прочие показатели северного варианта трассы с переходными кривыми также соответствуют требованиям строительных норм. Поэтому данный вариант принимаем к дальнейшему проектированию как конкурентоспособный южному варианту.

## **2.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИКЛОТОИДНЫХ ТРАСС**

Закругления, состоящие из двух сопряженных между собой ветвей клотоид, без круговой вставки называют биклотоидными. Расчетная схема биклотоидного закругления с одинаковой длиной клотоид (симметричная биклотоида) представлена на рис. 2.8, из которого видно, что на закруглениях из симметричных биклотоид центральный угол  $\gamma=0$ , а углы клотоид  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ . Сложность проектирования биклотоидных закруглений состоит в том, что значения радиусов биклотоид (в точке стыкования ветвей) устанавливаются подбором.



Таблица 2.4

Определение пикетажного положения вершин углов поворота  
и основных точек закруглений  
(к варианту № 2, северному)

Положение вершин углов поворота:		Основные точки закруглений:	
Н Тр	ПК0+00,00	1.	ВУ <sub>1</sub> ПК10+60,00
+S <sub>1</sub>	10 60,00		-Т 2 84,85
<hr/>			НKK ПК7+75,15
ВУ <sub>1</sub>	ПК10+60,00		+К 5 67,22
+S <sub>2</sub>	14 15,00		ККК ПК13+42,37
	ПК24+75,00		-1/2 К 2 83,61
-Д <sub>1</sub>	2,48		СКК ПК10+58,76
ВУ <sub>2</sub>	ПК24+72,52		+1/2Д 1,24
+S <sub>3</sub>	9 10,00		ВУ <sub>1</sub> ПК10+60,00
	ПК33+82,52	2.	ВУ <sub>2</sub> ПК24+72,52
-Д <sub>2</sub>	2,60		-Т <sub>п</sub> 2 57,59
ВУ <sub>3</sub>	ПК33+79,92		НПК ПК22+14,93
+S <sub>4</sub>	9 15,00		+L 1 20,00
	ПК42+94,92		НKK ПК23+34,93
-Д <sub>3</sub>	7,55		+К <sub>0</sub> 2 72,58
К Тр=	ПК42+87,37		ККК ПК26+07,51
			+L 1 20,00
			КПК ПК27+27,51
			-1/2 К <sub>п</sub> 2 56,29
			СКК ПК24+71,22
			+1/2Д 1,30
			ВУ <sub>2</sub> ПК24+72,52
		3.	ВУ <sub>3</sub> ПК33+79,92
			-Т <sub>п</sub> 2 81,82
			НПК ПК30+98,10
			+L 1 20,00
			НKK ПК32+18,10
			+К <sub>0</sub> 3 16,09
			ККК ПК35+34,19
			+L 1 20,00
			КПК ПК36+54,19
			-1/2 К <sub>п</sub> 2 78,05
			СКК ПК33+76,14
			+1/2Д 3,78
			ВУ <sub>3</sub> ПК33+79,92

Таблица 2.5

Ведомость углов поворота, прямых, кривых в плане по существующей дороге

№ вершин углов поворота	Пикетажное положение вершины угла	Угол поворота, град		Элементы закругления с переходными кривыми, м														Основные точки закругления				Расстояние между вершинами углов S, м	Длина прямой вставки l, м	Румбы линий, град						
				Круговой кривой					Переходной			Круговая вставка		Полного закругления				Начало ПК+		Конец ПК+										
				Лево	Право	R	T	K	B	D	L	t	P	T <sub>0</sub>	K <sub>0</sub>	T <sub>н</sub>	K <sub>н</sub>	B <sub>н</sub>	D <sub>н</sub>	Переходной	Круговой				Круговой	Переходной				
<b>Южный вариант</b>																														
Н.Тр.	0+00,00	-	-																								1360,00	1030,87	СВ..89°30'	
Уз.1	13+60,00	15° 00'	-	2500	329,13	654,50	21,58	3,76	-	-	-	-	-	329,13	654,50	21,58	3,76	-	10+30,87	16+85,37	-						1200,00	237,36	СВ..74°30'	
Уз.2	25+56,24	32° 00'	-	2000	573,50	1117,02	80,60	29,98	120	59,92	0,30	573,59	996,66	633,51	1236,66	80,90	30,36	19+22,73	20+42,73	30+39,39	31+59,39							1040,00	115,53	СВ..42°30'
Уз.3	35+65,88	26° 00'	-	1000	230,87	453,79	26,30	7,95	120	59,92	0,60	231,04	333,77	290,96	573,77	26,90	8,15	32+74,92	33+94,92	37+28,69	38+48,69							1200,00	909,04	СВ..16°30'
К.Тр.	47+57,73	-	-											1253,60	2464,93		42,27													
				Проверка: 1. $\sum T_n \times 2 - \sum K_n = \sum D_n$ 2. $\sum S - \sum D_n = \sum l + \sum K_n$									1253,60 × 2 - 2464,93 = 42,27 (4800,00 - 42,27) = (2292,80 + 2464,93) = 4757,73 м									48000	2292,80							
<b>Северный вариант</b>																														
Н.Тр.	0+00,00	-	-																								1060,00	755,15	СВ..68°00'	
Уз.1	10+60,00	13° 00'	-	2500	284,85	576,22	16,18	2,48						284,85	576,22	16,18	2,48	-	7+75,15	13+42,37	-						1415,00	872,56	СВ..55°00'	
Уз.2	24+72,52	15° 00'	-	1500	197,48	392,70	12,94	2,26	120	59,99	0,40	197,60	272,58	257,59	512,58	13,34	2,60	22+14,93	23+34,93	26+07,51	27+27,51							910,00	370,59	СВ..40°00'
Уз.3	33+79,92	-	25° 00'	1000	221,69	436,33	24,28	7,05	120	59,99	0,60	221,83	316,09	281,82	556,09	24,88	7,55	30+98,10	32+18,10	35+34,19	36+54,19							915,00	633,18	СВ..65°00'
К.Тр.	42+87,37	-	-											824,26	1635,89		12,63													
				Проверка: 1. $\sum T_n \times 2 - \sum K_n = \sum D_n$ 2. $\sum S - \sum D_n = \sum l + \sum K_n$									824,26 × 2 - 1635,89 = 12,63 (4300,00 - 12,63) = (2651,48 + 1635,89) = 4287,37 м									4300,00	2651,48							

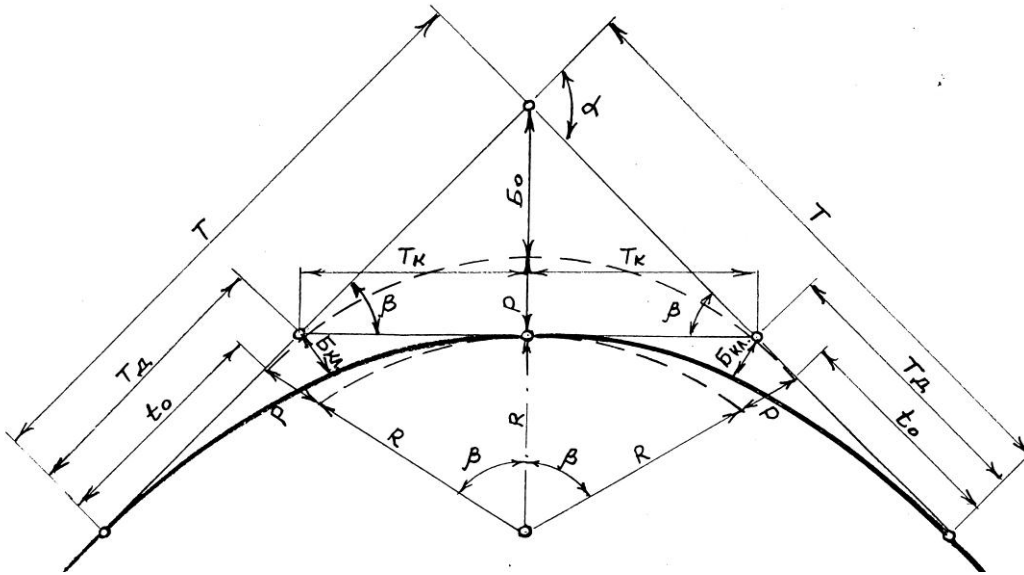


Рис. 2.8. Расчетная схема закругления из симметричной биклотоиды (без круговой вставки)

Подбирая радиусы биклотоид, необходимо руководствоваться фактическим расстоянием между вершинами смежных углов, помня, что на данном участке длиной  $S_n$  должны разместиться тангенсы двух смежных биклотоид, т.е. должно быть выдержано условие  $S_n = T_{B_n} + T_{B_{n-1}}$ . Кроме того, сложная математическая зависимость между радиусами смежных кривых  $R_1$  и  $R_2$  и длинами переходных кривых  $L_1$  и  $L_2$  затрудняет практические расчеты клотоидной трассы. Поэтому для вычисления элементов сопряжений клотоидных кривых используются специальные таблицы для клотоидного проектирования [12].

### 2.3.1. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ БИКЛОТОИДНЫХ ЗАКРУГЛЕНИЙ

**Задание:** запроектировать южный вариант трассы (см. рис. 2.1) с закруглениями из симметричных биклотоид большого параметра  $A$ .

Исходные данные принять согласно рис. 2.2.

#### **Решение**

Проектирование биклотоидных закруглений южного варианта трассы выполняем в такой последовательности.

1. Устанавливаем по таблице на рис. 2.2 расчетные данные:

Угол № 1 (ПК13+60),  $\alpha_1 = 15^\circ 00'$ .

Угол № 2 (ПК25+56,24),  $\alpha_2 = 32^\circ 00'$ .

Угол № 3 (ПК35+66,74),  $\alpha_3 = 26^\circ 00'$ .

Расстояния между вершинами:  $S_1 = 1360 \text{ м}$ ,  $S_2 = 1200 \text{ м}$ ,  $S_3 = 1040 \text{ м}$ ,  $S_4 = 1200 \text{ м}$ .

2. Подбором назначаем радиусы клотоид (в точке их стыкования), ориентируясь на фактические расстояния между смежными углами поворота трассы  $S_1, S_2, S_3, S_4$  и значения углов  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  (см. рис. 2.2).

Определение (подбор) радиусов начинаем с закругления № 2, как наиболее сложного для укладки клотоид (наименьшие расстояния между вершинами смежных углов).

Значение радиуса  $R_2$  назначаем путем следующего логического рассуждения: при укладке биклотоиды на закруглении № 2 необходимо выполнить условие  $T_{B_2} + T_{B_3} = S_3$  (на участке длиной  $S_3$  должны разместиться по одной ветви второй и третьей биклотоид), а поскольку элементы смежных закруглений предпочтительно назначать одинаковыми, то ориентировочно принимаем тангенсы биклотоид № 2 и №3 равными половине расстояния между углами:  $T_{B_1} = T_{B_2} = S_3/2$ .

Следовательно,  $T_{B_2} = 1040/2$ . По аргументу  $\alpha_2 = 32^\circ$  находим по табл. Ia Ксенодохова [12] значение тангенса симметричной биклотоиды для  $R=100 \text{ м}$  и вычисляем отношение тангенсов принятого  $T_{B_2}$  к табличному  $T_{табл.}$ :

$$K = T_{B_2} / T_{табл.} = 520 / 56,899 = 9,139 .$$

Для упрощения вычислений принимаем  $K=10$  и вычисляем окончательное значение радиуса биклотоиды путем умножения табличного значения  $T_{табл.} = 100 \text{ м}$  на отношение  $T_{B_2} / T_{табл.} = 10$ .

$$R_2 = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ м}.$$

Находим фактический тангенс биклотоиды при  $R_2 = 1000 \text{ м}$ :

$$T_{B_2} = 56,899 \cdot 10 = 568,99 \text{ м}.$$

3. Определяем радиус симметричной биклотоиды №3. Для этого предварительно вычисляем длину участка, оставшегося после укладки тангенса второй биклотоиды, т.е. вычисляем разность

$$S_3 - T_{B_2} = 1040 - 568,99 = 474,01 \text{ м}.$$

На оставшемся расстоянии  $S_3 - T_{B_2}$  необходимо разместить тангенс биклотоиды № 3, причем без остатка. Поэтому принимаем  $T_{B_3} = 471,01 \text{ м}$  и находим табличное значение тангенса по аргументу  $\alpha = 26^\circ 00'$ ;  $T_{табл.} = 45,935 \text{ м}$ , вычисляем отношение тангенсов:

$$\kappa = T_{B_3} / T_{табл.} = 471,01 / 45,935 = 10,2538.$$

Определяем фактический радиус биклотоиды №3:

$$R_3 = 100 \cdot 10,2538 = 1025,38 \text{ м.}$$

4. Определяем фактическое значение тангенса симметричной биклотоиды первого закругления, т.е. вычисляем разность ( $S_2 - T_{B_2}$ ):

$$T_{B_1} = 1200 - 568,99 = 631,01 \text{ м.}$$

Далее по аргументу  $\alpha = 15^\circ 00'$  ( $U_{21}$ ) находим табличное значение тангенса:  $T_{табл} = 26,285 \text{ м}$ , и вычисляем отношение

$$\kappa_1 = T_{B_1} / T_{табл} = 631,01 / 26,285 = 24,0065 .$$

Фактическое значение радиуса биклотоиды первого закругления равно:

$$R_1 = 100 \cdot 24,0065 = 2400,65 \text{ м.}$$

5. После того, как назначены радиусы всех симметричных биклотоид, последовательно, начиная с  $U_{21}$ , вычисляем фактические параметры биклотоид, умножая табличные значения на отношение  $R_{факт} / R_{табл}$ .

Биклотоида №1 ( $\alpha = 15^\circ 00'$ ;  $R = 2400,65 \text{ м}$ ).

Отношение радиусов  $T_{факт} / T_{табл} = 2400,65 / 100 = 24,0065$ .

Фактические значения элементов биклотоиды:

тангенс биклотоиды  $T_{B_1} = 26,285 \cdot 24,0065 = 631,01 \text{ м}$ ;

длина биклотоиды  $K_{B_1} = 56,360 \cdot 24,0065 = 1353,06 \text{ м}$ ;

домер биклотоиды  $D_{B_1} = 0,211 \cdot 24,0065 = 5,06 \text{ м}$ ;

параметр биклотоиды  $A = 51,166 \cdot 24,0065 = 1228,32$ ;

длина ветви биклотоиды  $L_{B_1} = 26,180 \cdot 24,0065 = 628,49 \text{ м}$ .

Биклотоида №2 ( $\alpha = 32^\circ 00'$ ;  $R = 1000 \text{ м}$ ).

Отношение радиусов  $R_{факт} / R_{табл} = 1000 / 100 = 10$ .

Фактические значения элементов биклотоиды:

тангенс биклотоиды  $T_{B_2} = 65,899 \cdot 10 = 568,99 \text{ м}$ ;

длина биклотоиды  $K_{B_2} = 111,701 \cdot 10 = 1117,01 \text{ м}$ ;

биссектриса биклотоиды  $B_{B_2} = 5,378 \cdot 10 = 53,78 \text{ м}$ ;

домер биклотоиды  $D_{B_2} = 2,097 \cdot 10 = 20,97 \text{ м}$ ;

параметр биклотоиды  $A_{B_2} = 55,851 \cdot 10 = 558,51$ ;

длина ветви биклотоиды  $L_{B_2} = 55,851 \cdot 10 = 558,51 \text{ м}$ .

Биклотоида №3 ( $\alpha = 26^\circ 00'$ ;  $R = 1025,38 \text{ м}$ )

Отношение радиусов  $R_{факт} / R_{табл} = 1025,38 / 100 = 10,2538$ .

Фактические значения элементов биклотоиды:  
 тангенс биклотоиды  $T_{B_3} = 45,935 \cdot 10,2538 = 471,01$  м;  
 длина биклотоиды  $K_{B_3} = 90,757 \cdot 10,2538 = 930,60$  м;  
 биссектриса биклотоиды  $B_{B_3} = 3,509 \cdot 10,2538 = 35,98$  м;  
 домер биклотоиды  $D_{B_3} = 1,113 \cdot 10,2538 = 11,42$  м;  
 параметр биклотоиды  $A_{B_3} = 67,364 \cdot 10,2538 = 690,74$  м;  
 длина ветви биклотоиды  $L_{B_3} = 45,379 \cdot 10,2538 = 465,30$  м.

6. Вычисляем пикетажное положение вершин углов и основных точек симметричных биклотоид по схеме табл. 2.6 и обозначаем их на плане рис. 2.9.

### 2.3.2. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КЛОТОИДНОЙ ТРАССЫ

В практике проектирования дорог наиболее распространенным методом детальной разбивки клотоид является метод ординат и абсцисс от главной касательной. Главной касательной называют точку отхода от начальной прямой, где  $\rho = \infty$  (рис. 2.10).

Суть данного метода заключается в том, что координаты клотоиды  $x$  и  $y$  вычисляют в зависимости от аргумента

$$l = S_n / A,$$

где  $S_n$  – расстояние от главной касательной клотоиды до точки  $M_n$  на ней (текущая длина переходной кривой), м.

Координаты клотоиды, имеющей параметр  $A=1$ , можно вычислить по формулам

$$x = l - l^5/40 + l^9/3456, \quad (2.18)$$

$$y = l^3/6 - l^7/336 + l^{11}/42240. \quad (2.19)$$

При  $A \neq 1$  координаты  $x$  и  $y$ , вычисленные по формулам (2.18) и (2.19), необходимо умножить на фактическое значение параметра  $A$ :

$$A = \sqrt{RL}. \quad (2.20)$$

В практике проектирования координаты клотоиды определяют по специальным таблицам для детальной разбивки клотоиды [8].

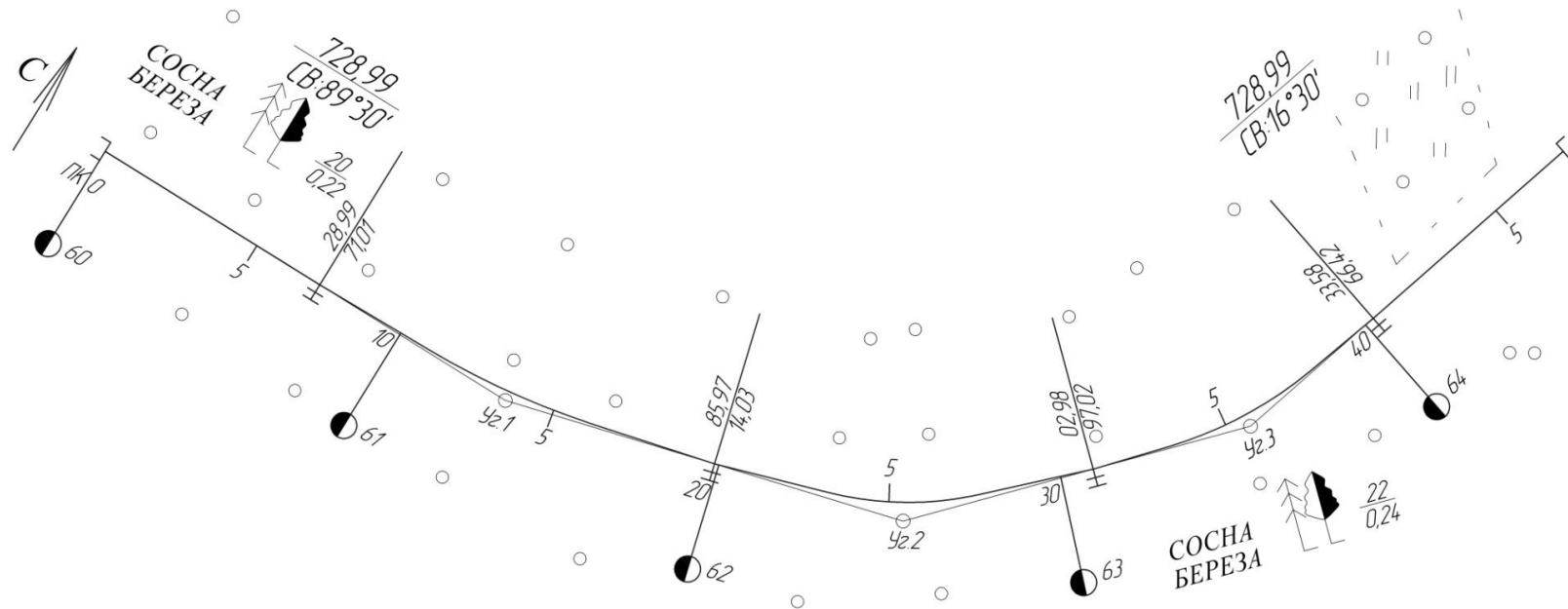
**Задание:** выполнить детальную разбивку симметричной биклотоиды, запроектированной на закруглении №2 южного варианта трассы.

Исходные данные принять согласно рис. 2.9 и расчетам, выполненным в п. 2.3.

Таблица 2.6

Пикетажное положение вершин углов поворота и основных точек симметричных биклотоид (к варианту № 1, южный)

Положение вершин углов поворота:		Основные точки закругления:	
Н Тр	ПК0+00,00	1.	ВУ <sub>1</sub> ПК13+60,00
+S <sub>1</sub>	13 60,00		<u>-Т<sub>Б1</sub> 6 31,01</u>
ВУ <sub>1</sub>	ПК13+60,00		Н. Бикл. ПК7+28,99
+S <sub>2</sub>	12 00,00		<u>+К<sub>Б1</sub> 12 56,98</u>
	ПК25+60,00		К.Бикл. ПК19+85,97
-Д <sub>Б1</sub>	5,04		<u>-L<sub>Б1</sub> 6 28,49</u>
ВУ <sub>2</sub>	ПК25+54,96		С. Бикл. ПК13+57,48
+S <sub>3</sub>	10 40,00		<u>+1/2Д<sub>Б1</sub> 2,52</u>
	ПК35+94,96		ВУ <sub>1</sub> ПК13+60,00
-Д <sub>Б2</sub>	20,97		
ВУ <sub>3</sub>	ПК35+73,99	2.	ВУ <sub>2</sub> ПК25+54,96
+S <sub>4</sub>	12 00,00		<u>-Т<sub>Б2</sub> 5 68,99</u>
	ПК47+73,99		Н. Бикл. ПК19+85,97
-Д <sub>Б3</sub>	11,42		<u>+К<sub>Б2</sub> 11 17,01</u>
К Тр=	ПК47+62,57		К.Бикл. ПК31+02,98
			<u>-L<sub>Б2</sub> 5 58,51</u>
			С. Бикл. ПК25+44,47
			<u>+1/2Д<sub>Б2</sub> 10,49</u>
			ВУ <sub>2</sub> ПК25+54,96
		3.	ВУ <sub>3</sub> ПК35+73,99
			<u>-Т<sub>Б3</sub> 4 71,01</u>
			Н. Бикл. ПК31+02,98
			<u>+К<sub>Б3</sub> 9 30,60</u>
			К.Бикл. ПК40+33,58
			<u>-L<sub>Б3</sub> 4 65,30</u>
			С. Бикл. ПК35+68,28
			<u>+1/2Д<sub>Б3</sub> 5,71</u>
			ВУ <sub>3</sub> ПК35+73,99



№ углов поворота	Положение вершины угла ПК+	Угол поворота, град		Радиус R, м	Элементы круговой кривой, м					Местоположение точек закругления		Расстояние между вершинами, м	Прямая вставка, м	Румб линий, град
		лево	право		L	Tп	Kп	Bп	Dп	Начало ПК+	Конец ПК+			
Н.Тр.	0 + 00											1360,00	728,99	СВ:89°30'
У2.1	13 + 60,00	15°00'	-	2400,65	628,49	631,01	1256,98	27,63	5,04	7 + 28,99	19 + 85,97	1200,00	0	
У2.2	25 + 54,96	32°00'	-	1000,00	558,51	568,99	1117,01	53,78	20,97	19 + 85,97	31 + 02,98	1040,00	0	
У2.3	35 + 73,99	26°00'	-	1025,38	455,30	471,01	930,60	35,98	11,42	31 + 02,98	40 + 33,58	1200,00	728,99	СВ:16°30'
К.Тр.	47 + 62,57													

Рис. 2.9. План трассы с закруглениями из переходных симметричных биклотоид (южный вариант)



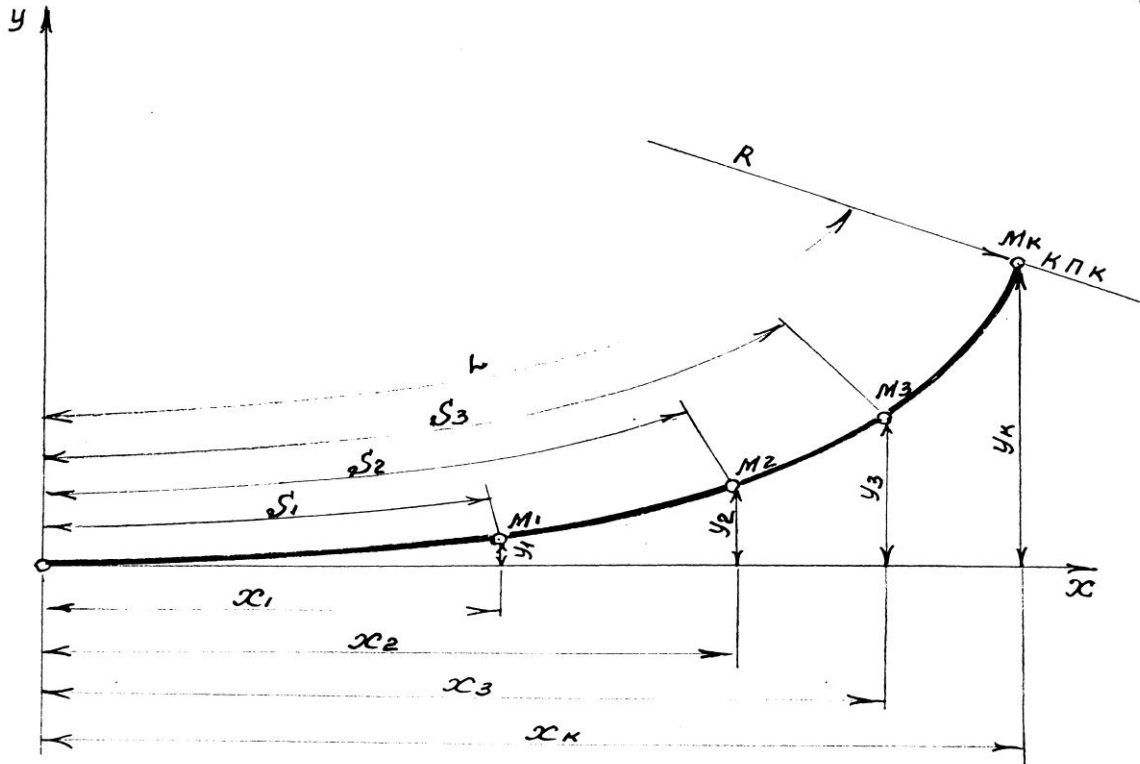


Рис. 2.10. Схема для детальной разбивки клотоиды

**Решение**

1. По рис. 2.9 устанавливаем условия, необходимые для детальной разбивки клотоиды:  $BV_2$  ПК25+54,96;  $\alpha=32^\circ00'$ .

Начало закругления (положение главной касательной клотоиды) ПК19+85,97.

Конец закругления ПК31+02,98;

радиус биклотоиды  $R=1000$  м;

длина одной ветви симметричной биклотоиды  $L_{B_2} = 558,51$  м;

параметр клотоиды  $A = 747,33$ .

2. Принимаем шаг разбивки клотоиды 25 м (расстояние между промежуточными точками на клотоиде) и вычисляем отношение

$$l_n = S_n / A, \quad (2.21)$$

где  $S_n$  – текущая длина клотоиды (переходной кривой), под которой понимается расстояние от начала клотоиды до промежуточной точки.

Для первой промежуточной точки на расстоянии  $S_1$  от начала клотоиды ( $S_1 = 25$  м) отношение  $l_1 = 25/747,33 = 0,0334$  ;

для второй промежуточной точки ( $S_2 = 50$  м) отношение  $l_2 = 50/747,33 = 0,0668$  и т.д.

Для конечной точки биклотоиды  $l_k = 558,51/747,33 = 0,7473$ .

3. По аргументу  $l_n$  выписываем из табл. II [12] координаты  $x_m$  и  $y_m$  (при  $A=100$ ) и вычисляем фактические значения координат клотоиды умножением табличных величин на отношение  $A_\phi / A_{табл}$ .

Например, для  $l_1=0,0334$  табличные значения координат  $x_m=3,340$  и  $y_m=0,001$ . Следовательно, фактические координаты клотоиды равны:

$$x_\phi = x_{табл} A_\phi / A_{табл}, x_\phi = 3,34 \cdot 747,33/100 = 24,96; y_\phi = 0,001 \cdot 747,33/100 = 0,01.$$

Координаты прочих промежуточных точек, вычисленные для одной ветви биклотоиды, представлены в табл. 2.7. Вторая ветвь биклотоиды (вторая половина закругления) разбивается по тем же координатам (зеркальное отражение первой ветви).

Таблица 2.7

Ведомость детальной разбивки клотоиды второго закругления  
(уг. №2, южный вариант)

Пикетажное положение точек, ПК+	Текущая длина, S, м	Отношение $\frac{S}{A_\phi}$	Координаты точек клотоиды, м			
			при $A=100$ (табличные)		при $A_\phi=747,33$ (фактические)	
			x	y	$x_\phi$	$y_\phi$
19+85,97	0	0	0	0	0	0
20+10,97	25	0,0334	3,340	0,001	24,96	0,01
35,97	50	0,0668	6,685	0,005	49,96	0,04
60,97	75	0,1003	10,030	0,017	74,95	0,13
85,97	100	0,1336	13,365	0,040	99,88	0,30
21+10,97	125	0,1671	16,708	0,078	124,87	0,58
35,97	150	0,2006	20,055	0,134	149,86	1,00
60,97	175	0,2340	23,398	0,214	174,85	1,60
85,97	200	0,2674	26,740	0,322	199,8,	2,41
ПК 22+10,97	225	0,3010	30,090	0,454	224,83	3,39
35,97	250	0,3344	33,440	0,623	249,82	4,65
С. Кл ПК 22+65,22	279,25	0,3736	37,342	0,869	279,06	6,49
85,97	300	0,4014	40,114	1,077	299,77	8,05
ПК 23+10,97	325	0,4349	43,451	1,370	324,71	10,23
35,97	350	0,4683	46,744	1,710	349,54	12,78
60,97	375	0,5018	50,100	2,103	374,40	15,72
85,97	400	0,5352	53,410	2,551	399,13	19,06
ПК 24+10,97	425	0,5687	56,721	3,060	423,88	22,87
35,97	450	0,6021	60,013	3,630	448,48	27,13
60,97	475	0,6356	63,301	4,267	473,05	31,89
85,97	500	0,6690	66,566	4,972	497,45	37,16
ПК 25+10,97	525	0,7025	69,824	5,753	521,79	42,99
35,97	550	0,7360	73,062	6,610	545,99	49,40
К. Кл. ПК 25+44,47	558,50	0,7473	74,150	6,917	554,12	51,69

### 2.3.3. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КЛОТОИДЫ И СОПРЯЖЕННОЙ С НЕЙ КРУГОВОЙ КРИВОЙ

Детальную разбивку клотоиды (переходной кривой), непосредственно сопряженной с круговой кривой (рис. 2.11), как правило, выполняют методом прямоугольных координат  $XOY$  с расположением центра координат в начале клотоиды и с направлением оси абсцисс по начальной (главной) касательной.

Для вычисления координат в системе  $XOY$  используют формулы

$$x = t + R \sin(\beta + \gamma), \quad (2.22)$$

$$y = p + R[1 - \cos(\beta + \gamma)], \quad (2.23)$$

где  $t$  – расстояние от начала переходной кривой до начала круговой кривой, м;  $p$  – величина сдвижки круговой кривой, м.

Угол клотоиды  $\beta$  и центральный угол  $\gamma$  в формулах (2.22) и (2.23) выражены в радианах, т.е. определяются по формулам

$$\beta = L/2R \text{ и } \gamma = (K - L)/R, \quad (2.24)$$

где  $K$  – расстояние от начала клотоиды до точки  $M$ , расположенной на круговой части закругления, м (см. рис. 2.11).

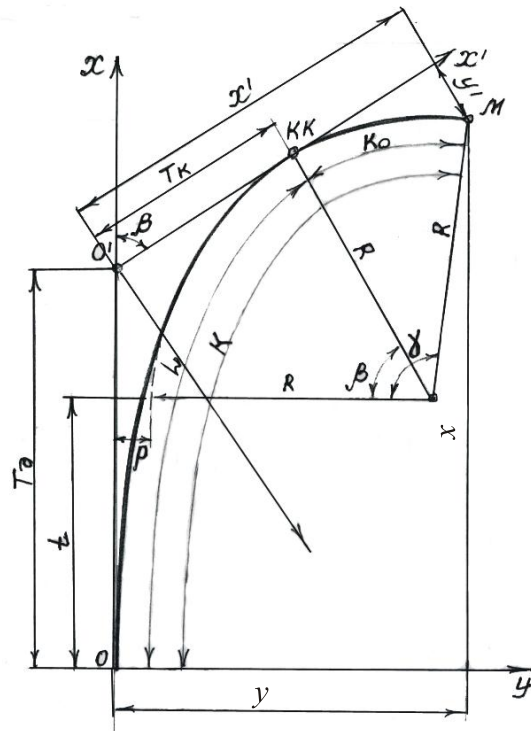


Рис. 2.11. Схема детальной разбивки закругления из круговой и переходной кривых

Для закругления №2:  $\beta = 120/2 \cdot 1500 = 0,04$  рад, или  $\beta = 2^\circ 18'$ ;  $\gamma = \alpha - 2\beta$ . При  $\alpha = 15^\circ$  центральный угол  $\gamma = 15 - 2 \cdot 2^\circ 18' = 10^\circ 24'$ , или  $\gamma = 0,18$  рад.

Вычисление координат  $x$  и  $y$  по формулам трудоемко, поэтому на практике детальную разбивку клотоиды и сопряженной с ней круговой кривой выполняют по таблицам. При известных значениях радиусов круговых кривых  $R$  и длин переходных кривых  $L$  наиболее удобно пользоваться табл. III [12], где для каждого стандартного (круглого) значения  $R$  дан ряд значений длины клотоиды  $L$ . Для промежуточных значений  $R$  и  $L$  табличные значения координат  $x$  и  $y$  определяют интерполяцией. Для каждого случая  $R$  и  $L$  в табл. III приведены также некоторые основные элементы клотоиды:  $A$ ,  $\beta$ ,  $T_d$ ,  $T_k$ ,  $t$  и  $p$ , которые могут быть полезны при разбивке трассы.

**Задание:** определить координаты  $x$  и  $y$  для разбивки закругления, состоящего из клотоиды и сопряженной с ней круговой кривой.

Исходные данные принять согласно рис. 2.7 (вариант трассы северный, закругления №2 и №3).

### **Решение**

1. Устанавливаем расчетные данные для разбивки закругления №2 северного варианта трассы (см. рис. 2.7):

$$\alpha_2 = 15^\circ 00', R_2 = 1500 \text{ м}; L = 120 \text{ м}.$$

Пикетажное положение основных точек закругления выписываем из табл. 2.5.

Начало переходной кривой (начало закругления) ПК22+14,93.

Конец переходной кривой (начало  $KK$ ) ПК 23+34,93.

Середина закругления (середина круговой кривой) ПК24+71,22.

2. Принимаем шаг разбивки закругления 15 м и определяем по табл. III Ксенодихова значения  $x$  и  $y$  до середины закругления. Вторая половина закругления разбивается по тем же координатам (зеркально).

3. Расчетные данные для разбивки закругления №3:  $\alpha = 25^\circ 00'$ ,  $R_3 = 1000 \text{ м}; L = 120 \text{ м}.$

Начало переходной кривой ( $НПК$ ) ПК30+98,10.

Конец переходной кривой (начало  $KK$ ) ПК32+18,10.

Середина закругления ( $Ср.з.$ ) ПК33+81,15.

Вычисленные по таблицам значения координат  $x$  и  $y$  для закруглений №2 и №3 северного варианта трассы представлены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Ведомость координат  $x$  и  $y$  для детальной разбивки закруглений, состоящих из переходных и круговых кривых (северный вариант трассы)

Основные точки закругления	Пикетажное положение точек, ПК +	К (текущая длина), м	Координаты	
			$x$	$y$
Закругление № 2 (Уг№2) $R=1500$ м, $L=120$ м				
НПК	22+14,93	0	0	0
Пикетажные значения промежуточных точек переходной кривой	22+29,93	15	15,00	0,01
	22+44,93	30	30,00	0,03
	22+59,93	45	45,00	0,08
	22+74,93	60	60,00	0,20
	22+89,93	75	75,00	0,40
	23+04,93	90	89,99	0,68
	23+19,93	105	104,98	1,06
КПК–НKK	23+34,93	120	119,97	1,60
Пикетажные значения промежуточных точек круговой кривой	23+49,93	135	134,95	2,12
	23+64,93	150	149,93	3,02
	23+79,93	165	164,90	4,10
	23+94,93	180	179,85	5,40
	24+09,93	195	194,78	6,80
	24+24,93	210	209,55	8,55
	24+39,93	225	224,36	9,90
	24+54,93	240	239,15	11,06
Середина закругления	24+71,22	256,29	255,61	13,28
Закругление № 3 (Уг№3) $R=1000$ м, $L=120$ м				
НПК	30+98,10	0	0	0
Пикетажные значения промежуточных точек переходной кривой	31+13,10	15	15,00	0,01
	31+28,10	30	30,00	0,04
	43,10	45	45,00	0,13
	58,10	60	60,00	0,30
	73,10	75	75,00	0,59
	88,10	90	89,99	1,01
	ПК 32+03,10	105	104,97	1,52
КПК–НKK	18,10	120	119,96	2,40
Пикетажные значения промежуточных точек круговой кривой	33,10	135	134,92	3,52
	48,10	150	149,87	4,68
	63,10	165	164,79	6,14
	ПК32+78,10	180	179,67	8,09
	93,10	195	194,50	10,46
	ПК 33+08,10	210	209,29	12,83
	23,10	225	223,95	14,74
	38,10	240	238,62	16,42
	53,10	255	253,24	18,12
	68,10	270	267,52	21,16
Середина закругления	ПК 33+81,15	283,05	279,28	24,59

## 2.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИРАЖЕЙ

Для обеспечения безопасного движения автомобилей с расчетной скоростью  $V_p$  на кривых в плане устраивают виражи. Вираж представляет собой односкатный поперечный профиль проезжей части с уклоном, направленным внутрь кривой (рис. 2.12).

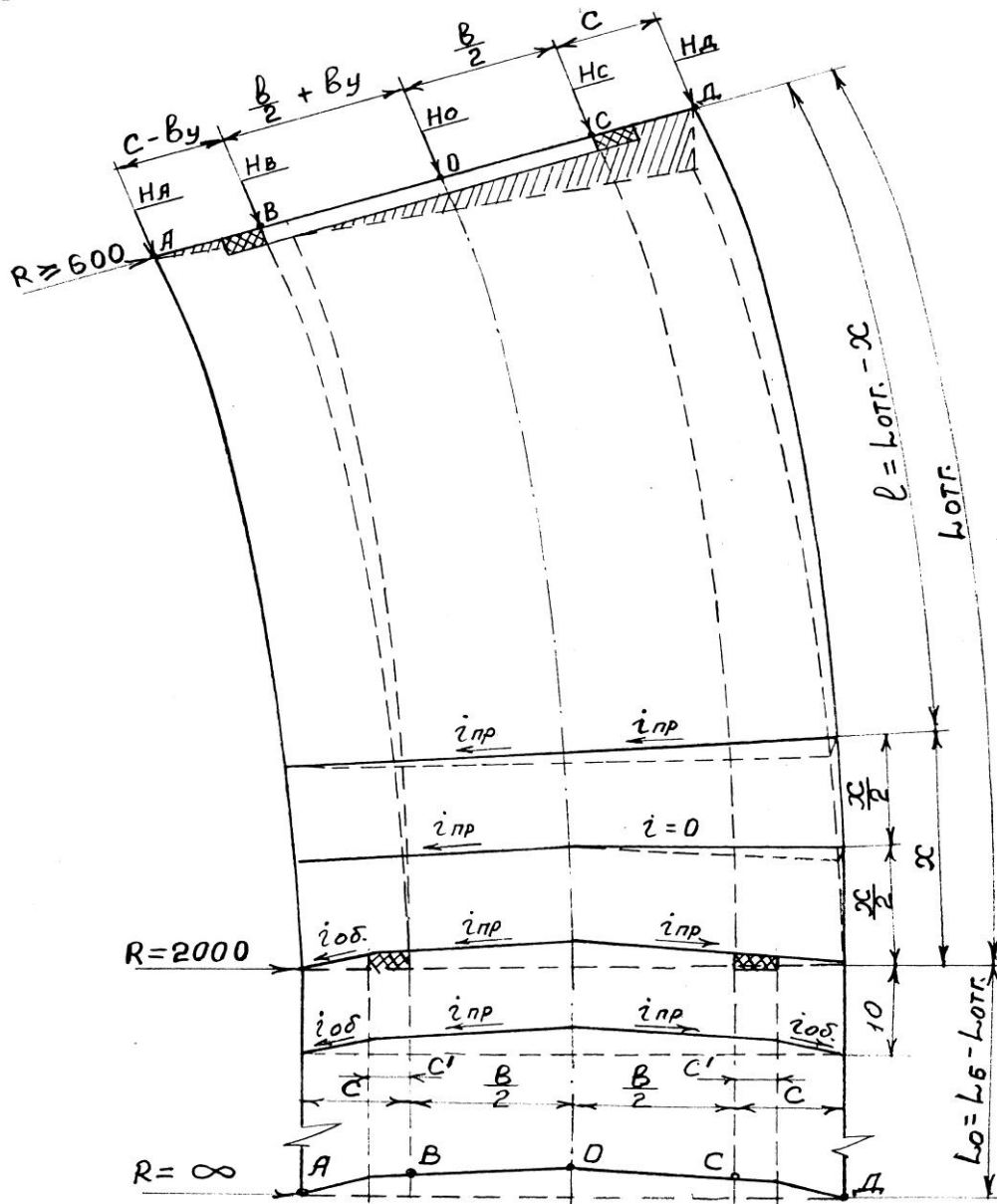


Рис. 2.12. Схема отгона виража на клотоиде:

$O-O$  – ось проезжей части дороги;  $A-A$  – внутренняя бровка земельного полотна;  $B-B$  – внутренняя кромка проезжей части;  $C-C$  – внешняя кромка проезжей части;  $D-D$  – внешняя бровка земельного полотна

Согласно СНиП 2.05.02–85 виражи должны устраиваться при радиусах кривых  $R \leq 3000$  м на дорогах I категории и при  $R \leq 2000$  м на дорогах прочих категорий.

Уклон проезжей части на вираже определяют из условия устойчивости автомобиля против заноса (и опрокидывания) по формуле

$$i_e = \frac{V_p^2}{gR} - \mu, \quad (2.25)$$

где  $V_p$  – расчетная скорость движения на дороге данной категории, м/с;  $\mu$  – коэффициент поперечной силы, характеризующий устойчивость автомобиля против заноса на кривой. Значение  $\mu$  не нормировано; для практических расчетов принимают равным части коэффициента сцепления (используемого в поперечном направлении):

$$\mu = \gamma \varphi_{cy}, \quad (2.26)$$

где  $\varphi_{cy}$  – коэффициент сцепления колеса с покрытием; принимается по справочной литературе в зависимости от типа и состояния покрытия. Ориентировочное значение коэффициента  $\mu = 0,15$ , в сложных условиях  $\mu = 0,20$  [14].

В практике проектирования уклон виража принимают по СНиП в зависимости от радиуса кривой в плане и категории дороги (прил. 2, табл. 4).

Переход от двускатного поперечного профиля к односкатному на вираже осуществляется на участке, называемом отгоном виража. Длина отгона виража может быть вычислена по формуле

$$L_{отг} = \frac{H}{i_{ек}} \quad \text{или} \quad L_{отг} = \frac{B_{прч} i_{вир}}{i_{ек}}, \quad (2.27)$$

где  $i_{ек}$  – дополнительный продольный уклон наружной (внешней) кромки проезжей части по отношению к проектному продольному уклону на участках. Чтобы не допустить толчка при движении автомобиля в пределах отгона виража, т.е. для обеспечения плавности движения, дополнительный продольный уклон ограничивается строительными нормами до следующих значений:

$i_{ек} \leq 0,005$  – для дорог I и II категорий;

$i_{ек} \leq 0,010$  – для дорог III – V категорий в равнинной местности;

$i_{ек} \leq 0,020$  – для дорог III – V категорий в горной местности.

На дорогах II – V категорий переход к односкатному профилю (на вираже) производится постепенным вращением внешней полосы дороги (верха земляного полотна) вокруг оси проезжей части до получения односкатного поперечного профиля с уклоном, равным

поперечному уклону проезжей части  $i_{np}$  при двускатном профиле, затем (если  $i_e > i_{np}$ ) вращением всей проезжей части вокруг оси до необходимого поперечного уклона выража  $i_e$ .

Поперечный уклон *внешней обочины* на вираже принимается одинаковым с уклоном проезжей части. Переход от нормального уклона обочин при двускатном профиле к уклону проезжей части осуществляется на расстоянии 10 м до начала отгона виража.

Поперечный уклон *внутренней обочины* принимают равным уклону проезжей части на вираже, но не менее уклона обочины на прямолинейном участке.

Если две соседние кривые в плане, обращенные в одну сторону, расположены близко одна к другой и прямая вставка между ними отсутствует или длина ее незначительна, односкатный поперечный профиль следует принимать непрерывным на всем протяжении.

Принципиально возможные схемы отгона виража разработаны институтом «Союздорпроект» и представлены в типовых материалах для проектирования элементов дороги на закруглениях [11].

Наиболее распространенным в практике проектирования дорог является закругление, состоящее из переходных кривых нормативной длины с круговой вставкой между дугами клотоиды. Разбивку отгона виража на таком закруглении выполняют по типовой схеме: переход от двускатного профиля к односкатному осуществляется на протяжении всей длины переходной кривой, т.е. длину отгона виража принимают равной длине переходной кривой:  $L_{омг} = L_{перех}$ .

Суть расчета отгона виража заключается в том, чтобы определить поперечные уклоны в соответствующих сечениях отгона и вычислить превышения характерных точек (бровок земляного полотна, кромок проезжей части) относительно оси дороги.

Расчет отгона виража начинают с определения дополнительного продольного уклона внешней кромки проезжей части  $\Delta i$  по отношению к продольному уклону на участке отгона виража. Значение  $\Delta i$  определяется по характерным поперечным профилям начала и конца отгона виража:

$$\Delta i = \frac{e (i_{np} + i_e)}{2 L_{омг}}, \quad (2.28)$$

где  $e$  – ширина проезжей части, м;  $i_{np}$  – поперечный уклон проезжей части при двускатном профиле, ‰;  $L_{омг}$  – длина отгона виража, м.

Если вираж устраивается на переходной кривой, длина  $L$  которой не больше, чем нормативная, принимают  $L_{омг} = L$ .



При больших клотоидах (больше нормативной) длина отгона определяется по формулам:

$$\text{при } R < 600 \text{ м} \quad L_{омз} = \frac{7A^2}{6000} \quad \text{или} \quad L_{омз} = \frac{7LR}{6000}, \quad (2.29)$$

$$\text{при } R > 600 \text{ м} \quad L_{омз} = L - \frac{A^2}{2000} \quad \text{или} \quad L_{омз} = \frac{L(2000 - R)}{2000}. \quad (2.30)$$

Протяженность участка с максимальным уклоном выража

$$L_6 = L - \frac{A^2}{600} \quad \text{или} \quad L_6 = \frac{L(600 - R)}{600}. \quad (2.31)$$

Расстояние от начала клотоиды до начала отгона выража независимо от величины радиуса  $R$  определяется по формуле

$$l_0 = \frac{RL}{2000}. \quad (2.32)$$

Дополнительный продольный уклон внешней кромки проезжей части  $\Delta i$  принимают не менее 0,003 (для лучшего отвода воды с проезжей части), но не более нормативного  $i_{норм}$ , установленного СНиП [4] в зависимости от категории дороги и рельефа местности.

Рассматривают следующие соотношения между  $\Delta i$ , вычисленным по формуле (2.28), и  $i_{норм}$ , установленным строительными нормами.

*1-й случай:*  $i_{норм} > \Delta i < 0,003$ .

Тогда для обеспечения водоотвода с проезжей части на участке перехода от двускатного поперечного профиля к односкатному с уклоном, равным уклону прямолинейного участка, создается дополнительный продольный уклон внешней кромки  $\Delta i = 0,003$ . Длина участка  $X$  с дополнительным продольным уклоном не менее  $\Delta i = 0,003$  определяется по формуле

$$X = \frac{v i_{np}}{0,003}, \quad (2.33)$$

где  $v$  – ширина проезжей части, м;  $i_{np}$  – уклон проезжей части, доли ед.

Отгон выража и уширение на этом участке  $X$  производятся пропорционально его длине.

Поперечный уклон в любом сечении участка  $X$  определяется по формуле

$$i_x = 2i_{np} \frac{\Delta X}{X} - i_{np}, \quad (2.34)$$

где  $\Delta X$  – расстояние от начала отгона выража до данной точки, м.

На оставшейся части отгона выража  $l=L_{отв}-X$  отгон (и уширение) производится пропорционально длине кривой.

Тогда поперечный уклон в любом сечении участка  $l$  определяется по формуле

$$i_l = (i_e - i_{np})\Delta l/l + i_{np}, \quad (2.35)$$

где  $\Delta l$  – расстояние от точки  $X$  до данной точки ( $X \leq \Delta l \leq L_{отг}$ ).

Расстояние  $C$  от начала отгона выража до поперечного профиля с уклоном, равным уклону при двускатном профиле, будет  $C=X$ , а расстояние от начала отгона выража до поперечного профиля с уклоном  $i=0$

$$C' = X/2. \quad (2.36)$$

2-й случай:  $0,003 \leq \Delta i \leq i_{норм}$ .

В этом случае поперечный уклон в любом сечении переходной кривой (на участке отгона выража) определяется по формуле

$$i_l = (i_e + i)\Delta l/L_{отв} - i_{np}, \quad (2.37)$$

где  $\Delta l$  – расстояние от начала отгона выража до данного сечения ( $0 \leq \Delta l \leq L_{отв}$ ).

Расстояние  $C$  от начала отгона выража до односкатного профиля с уклоном  $i_e=i_{np}$  определяется по формуле

$$C = 2L_{отг}i_{np}/(i_{np} + i_e), \quad (2.38)$$

а расстояние  $C'$  от начала отгона выража до поперечного профиля, где  $i=0$ , равно:

$$C' = L_{отг}i_{np}/(i_{np} + i_e). \quad (2.39)$$

3-й случай:  $\Delta i > i_{норм}$ .

Если дополнительный продольный уклон больше допускаемого нормативного, тогда необходимо смягчение продольного уклона по внешней кромке проезжей части. Для этого следует увеличить длину отгона выража  $L_{отг}$  до расчетной величины  $l_p$ :

$$l_p = \frac{(i_{np.ч} + i_e)v_{np.ч}}{2i_{норм}}, \quad (2.40)$$

где  $v_{np.ч}$  – ширина проезжей части;  $i_{np.ч}$  – уклон проезжей части при 2-скатном профиле.

Формулы для расчета отгона выража и отвода уширения на дорогах II – V категорий представлены в виде сводной таблицы (табл. 2.9). Эти формулы могут использоваться для расчета выража

как при большой длине клотоиды, так и при обычных переходных кривых. В последнем случае  $L_{omz} = L$ . Тогда начало отгона выража принимается в начале переходной кривой.

Таблица 2.9

Сводная таблица формул для расчета отгона выража

Элементы поперечного профиля на участке отгона выража	I участок – x (от начала отгона до односкатного профиля с уклоном $i_{np}$ )	II участок – l (от односкатного профиля с уклоном $i_{np}$ до конца отгона $i_{\epsilon}$ )
1. При $\Delta i < 0,003$		
Поперечный уклон в любом сечении $\Delta x$ или $\Delta l$	На внутренней полосе поперечного профиля: $i_x = i_{np} = const$ ; на внешней полосе: $i_x = \frac{2i_{np}\Delta x}{C} - i_{np}$ , где $C = \epsilon i_{np} / 0,003$ ; $0 \leq x \leq C$	На всем участке: $i_l = (i_{\epsilon} - i_{np}) \frac{\Delta l}{l} + i_{np}$ , где $l = L_{omz} - C$ ; $C = \epsilon i_{np} / 0,003$ ; $C \leq \Delta l \leq L_{omz}$
Уширение проезжей части	$\Delta \epsilon_{yx} = \frac{\epsilon_y \Delta X}{L_{omz}}$ , где $0 \leq \Delta x \leq L_{omz}$	$\Delta \epsilon_{yl} = \frac{\epsilon_y \Delta L}{L_{omz}}$ , где $0 \leq \Delta L \leq L_{omz}$
Превышения характерных точек в любом сечении x, l	$H_{Ax} = H_{Bx} - (c - \Delta \epsilon_{yx} - c') i_{np}$ ; $H_{Bx} = -(\epsilon/2 + \Delta \epsilon_{yx} + c'') i_{np}$ ; $H_{Ox} = 0$ ; $H_{Cx} = \frac{\epsilon}{2} i_x$ ; $H_{Dx} = (\frac{\epsilon}{2} + c) i_x$	$H_{Al} = H_{Bl} - (c - \Delta \epsilon_{yl} - c'') i_{об}$ если $i_l > i_{np}$ , то $H_{Al} = H_{Bl} - (c - \Delta \epsilon_{yl} - c'') i_l$ ; $H_{Bl} = -(\epsilon/2 + \Delta \epsilon_{yl} + c'') i_l$ ; $H_{Ol} = 0$ ; $H_{Cl} = \frac{\epsilon}{2} i_l$ ; $H_{Dl} = (\frac{\epsilon}{2} + c) i_l$
2. При $0,003 \leq \Delta i \leq i_{норм}$		
Поперечный уклон	$i_l = (i_{\epsilon} + i_{np}) \frac{\Delta l}{L_{omz}} - i_{np}$ ;	$0 \leq \Delta l \leq L_{omz}$
Уширение проезжей части	$\Delta \epsilon_{yl} = \epsilon_y \Delta l / L_{omz}$ ;	$0 \leq \Delta l \leq L_{omz}$
Превышения характерных точек в любом сечении x или l	$H_{Al} = H_{Bl} - (c - \Delta \epsilon_{yl} - c'') i_{об}$ , если $i_l > i_{об}$ , то $H_{Al} = H_{Bl} - (c - \Delta \epsilon_{yl} - c'') i_l$ ; $H_{Bl} = -(\epsilon/2 + \Delta \epsilon_{yl} - c'') i_{np}$ ; $H_{Ol} = 0$ ; $H_{Cl} = \frac{\epsilon}{2} i_l$ ; $H_{Dl} = (\frac{\epsilon}{2} + c) i_l$	$H_{Al} = H_{Bl} - (c - \Delta \epsilon_{yl} - c'') i_{об}$ если $i_l > i_{об}$ , то $H_{Al} = H_{Bl} - (c - \Delta \epsilon_{yl} - c'') i_l$ ; $H_{Bl} = -(\epsilon/2 + \Delta \epsilon_{yl} - c'') i_{np}$ ; $H_{Ol} = 0$ ; $H_{Cl} = \frac{\epsilon}{2} i_l$ ; $H_{Dl} = (\epsilon/2 + c'' + \Delta \epsilon_{yl}) i_l$
Примечание. Обозначения, принятые в формулах табл. 2.9, см. на рис. 2.12.		

2.4.1. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВИРАЖА НА ЗАКРУГЛЕНИИ,  
СОСТОЯЩЕМ ИЗ ПЕРЕХОДНОЙ КРИВОЙ С КРУГОВОЙ ВСТАВКОЙ

**Задание:** на закруглениях северного варианта трассы запроектировать виражи с детальной разбивкой отгона.

Исходные данные принять согласно рис. 2.7 и другим ранее принятым проектным решениям.

**Решение**

Закругление №1 северного варианта запроектировано без переходной кривой, поскольку здесь вписана круговая кривая большого радиуса ( $R_2 = 2500 \text{ м} > 2000 \text{ м}$ ). Поэтому расчет виража начинаем с закругления №2.

*Исходные данные* (см. рис. 2.7):

- угол поворота  $\alpha = 15^\circ 00'$ , радиус круговой кривой  $R = 1500 \text{ м}$ , длина переходной кривой (клотоиды)  $L = 120 \text{ м}$ ;
- начало закругления (НЗ) ПК22+14,93;
- начало круговой кривой (НKK) ПК23+34,93;
- конец круговой кривой (KKK) ПК26+07,51;
- конец закругления (КЗ) ПК27+27,51.

*Дополнительные расчетные параметры:*

- ширина проезжей части  $b_{пр.ч} = 7,0 \text{ м}$ , ширина обочин на прямом участке  $c = 2,5 \text{ м}$ ;
- поперечные уклоны проезжей части на прямом участке  $i_{пр} = 20 \text{ ‰}$ , уклоны обочин  $i_{об} = 40 \text{ ‰}$ .

*Последовательность расчета*

1. Поскольку длина переходной кривой равна нормативной и относительно невелика, отгон виража осуществляем на всей ее длине, т.е. принимаем  $L_{отг} = L = 120 \text{ м}$ .

2. Для радиуса круговой кривой  $R = 1500 \text{ м}$  устанавливаем по СНиП уклон виража  $i_e = 30 \text{ ‰}$  и по формуле (2.28) вычисляем дополнительный продольный уклон  $\Delta i$ :

$$\Delta i = \frac{7}{2} \frac{(0,020 + 0,030)}{120} = 0,0014 < 0,003.$$

3. Расчетное значение  $\Delta i < 0,003$ , поэтому отгон виража осуществляем, предварительно разделив длину отгона на два участка:

- длина первого участка с дополнительным продольным уклоном  $0,003$  по формуле (2.33) равна:

$$X = 7 \cdot 0,020 / 0,003 = 46,67 \text{ м},$$

- длина второго участка  $l = 120 - 46,67 = 73,33 \text{ м}$ .

4. Принимаем шаг разбивки виража 10 м и вычисляем по формуле (2.34) поперечные уклоны в соответствующих сечениях участка X:

$$\text{при } \Delta X=10 \text{ м имеем } i_{\Delta X=10} = 2 \cdot 0,02 \cdot 10/46,67 - 0,02 = -0,011,$$

$$\text{при } \Delta X=20 \text{ м имеем } i_{\Delta X=20} = 2 \cdot 0,02 \cdot \frac{20}{46,67} - 0,02 = -0,0028 \text{ и т.д.}$$

Вычисления по формуле (2.34) заканчиваем при  $\Delta X=X=46,67$  м, т.е. в конечной точке первого участка:

$$i_{\Delta X=X} = 2 \cdot 0,02 \cdot 46,67/46,67 - 0,02 = +0,020.$$

5. На втором участке длиной  $l=73,33$  м поперечные уклоны вычисляем по формуле (2.35) при условии  $X \leq \Delta l \leq L_{омг}$  и том же шаге разбивки 10 м:

при  $\Delta l = 46,67+10$  м находим

$$i_{\Delta X=56,67} = (0,03 - 0,02) \cdot 56,67/73,33 + 0,02 = +0,028,$$

при  $\Delta l = l=73,33$  м (конец переходной кривой) имеем

$$i_l = (0,03 - 0,020) \cdot 73,33/73,33 + 0,020 = +0,030.$$

Результаты расчета вносим в ведомость (табл. 2.10).

Таблица 2.10

Ведомость расчета виража на закруглении из переходной кривой с круговой вставкой (уг. №2, северный вариант)

Основные точки закругления	Местоположение основных точек, ПК+	Текущая длина от начала, м	Расчетный уклон виража, ‰
НПК – Н. отгона виража	22+14,93	0	-20
	+24,93	10	-11
	+34,93	20	-03
	+38,27	23,34	0
	+44,93	30	+06
	+54,93	40	+14
Односкатный профиль	22+61,60	46,67	+20
	22+71,60	10	21
	+71,630	20	23
	+91,60	30	24
	23+01,60	40	25
	11,60	50	27
	+21,60	60	28
	+31,60	70	29
КПК–НКК–К. отгона виража	23+34,93	73,33	30

Примечание. Знак «минус» перед значением поперечного уклона означает двухскатный профиль дороги.

2.4.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВИРАЖА НА ЗАКРУГЛЕНИИ,  
СОСТОЯЩЕМ ИЗ СИММЕТРИЧНЫХ БИКЛОТОИД

**Задание:** на закруглении №2 южного варианта трассы запроектировать вираж с детальной разбивкой отгона.

Исходные данные принять согласно рис. 2.9 и другим ранее принятым проектным решениям.

**Решение**

1. Устанавливаем расчетные параметры для закругления №2 (Уг 2 ПК25+54,96) по рис. 2.9.

$$\alpha = 32^{\circ}00'; R_B = 1000 \text{ м}; L_B = 558,51 \text{ м}.$$

– начало закругления (НЗ) ПК19+85,97,

– конец закругления (КЗ) ПК31+02,98.

Дополнительные расчетные данные принимаем те же, что в примере 2.4.1:

$$b_{\text{нр.ч}} = 7,0 \text{ м}, c = 2,5 \text{ м}, i_{\text{нр}} = 20 \text{ ‰}, i_{\text{об}} = 40 \text{ ‰}.$$

Уклон виража  $i_g = 30 \text{ ‰}$  (для радиуса  $R = 1000 \text{ м}$ ).

2. Закругление № 2 запроектировано в виде симметричных биклотоид (ветви одинаковой длины), причем длина клотоид больше нормативной, поэтому отгон виража следует начинать с точки, где радиус кривизны клотоиды  $\rho = 2000 \text{ м}$ , а заканчивать в точке, где радиус клотоиды  $600 \text{ м}$ .

Длину участка, на котором осуществляется отгон виража, определяем по формуле (2.30), так как  $R_B > 600 \text{ м}$ :

$$L_{\text{отг}} = 558,51(2000 - 1000)/2000 = 279,25 \text{ м}.$$

Расстояние от начала клотоиды до точки начала отгона виража  $l_0$  определяем по формуле (2.32).

$$l_0 = 1000 \cdot 558,51/2000 = 279,25 \text{ м}.$$

В данном случае начало отгона виража совпадает с серединой клотоиды:  $L_B = L_{\text{отг}} + l_0 = 558,51$ , т.е. расположено на

$$\text{ПК}19+85,97+279,25 = \text{ПК} 22 + 65,22.$$

Расчет виража на закруглении из симметричной биклотоиды выполняем по той же методике, что и закругление, состоящее из переходной кривой, сопряженной непосредственно с круговой кривой (см. п. 2.4.1):

Определяем дополнительный продольный уклон по формуле (2.28):

$$\Delta i = 3,5 \cdot 0,020/0,003 = 46,67.$$

Имеем случай, когда  $\Delta i < 0,003$ , поэтому отгон виража  $L_{отг}$  делим на 2 участка:  $X$  и  $l = L_{отг} - X$ .

Определяем длину первого участка по формуле (2.33):

$$X = 3,5 \cdot 0,020 / 0,003 = 46,67 \text{ м.}$$

Длина второго участка  $l = L_{отг} - X$  равна:  $l = 279,25 - 46,67 = 232,58 \text{ м.}$

Расстояние  $C$  от начала отгона виража до поперечного профиля с уклоном, равным уклону проезжей части  $i = i_{пр}$ , равно:  $C = X = 46,67 \text{ м.}$

Расстояние от начала отгона виража до поперечного профиля с уклоном  $i = 0$  согласно выражению (2.36) равно:

$$C' = 46,67 / 2 = 23,34 \text{ м.}$$

Принимаем шаг разбивки отгона виража  $10 \text{ м}$  и по формулам (2.34) и (2.35) вычисляем уклоны виража в соответствующих сечениях на участках  $X$  и  $l$ .

Например, при  $\Delta X = 10 \text{ м}$  имеем

$$i_{\Delta X=10} = 2 \cdot 0,02 \cdot 10 / 46,67 - 0,02 = -0,011, \text{ при } \Delta X = X = 46,67 \text{ м}$$

$$i_{\Delta X=X} = 2 \cdot 0,02 \cdot 46,67 / 46,67 - 0,02 = +0,020.$$

На втором участке (на оставшейся части отгона виража) при шаге разбивки  $20 \text{ м}$  имеем:

$$i_{\Delta l=20} = (0,03 - 0,02) \cdot 20 / 232,58 + 0,02 = 0,021; \text{ при } \Delta l = 40 \text{ м}$$

$$i_{\Delta l=40} = (0,03 - 0,02) \cdot 40 / 232,58 + 0,02 = 0,0217.$$

Вычисления по формуле (2.35) заканчиваем в конце отгона виража, т.е. при  $\Delta l = l = 232,58 \text{ м}$ :

$$i_{\Delta l=l} = (0,03 - 0,02) \cdot 232,58 / 232,58 + 0,02 = 0,030.$$

Значения поперечных уклонов в соответствующих сечениях отгона виража представлены в ведомости (табл. 2.11); схема разбивки виража на закруглении №2 южного варианта – на рис. 2.13.

## 2.5. УШИРЕНИЕ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ НА КРИВОЙ В ПЛАНЕ

При движении на кривой автомобиль занимает большую ширину проезжей части, чем на прямом участке. При этом траектория движения заднего внутреннего колеса соответствует кривой наименьшего радиуса, а наружного переднего – наибольшего, поэтому строительными нормами предусматривается на кривых радиуса  $R \leq 1000 \text{ м}$  уширение проезжей части.

Уширение устраивается с внутренней стороны кривой за счет обочин. При этом ширина оставшейся части обочины должна быть не менее  $1,5 \text{ м}$  на дорогах I – II категорий и не менее  $1 \text{ м}$  для дорог

III – V категорий. Участок, на котором осуществляется переход от стандартной ширины проезжей части на прямом участке к уширенной, называют отводом уширения. Как правило, отвод уширения выполняют одновременно с разбивкой виража пропорционально его длине так, чтобы к концу отгона виража достигалась полная величина уширения  $v_y$ . Если прямые участки сопрягаются с круговой кривой посредством переходной кривой нормативной длины, то отвод уширения (равно как и отгон виража) осуществляют на всей длине переходной кривой, т.е. принимают  $L_{omz} = L_{omв} = L$ .

Таблица 2.11

Ведомость детальной разбивки отгона виража и уширения (южный вариант трассы). Закругление № 2

Характерные точки отгона виража	Пикетажное положение сечений ПК +	Текущая длина, м $\Delta x, \Delta l$	Уклон виража, ‰ $i_{\Delta x}$ и $i_{\Delta l}$	Уширение проезжей части, м		
Н. отг. вир. – Сред. бикл	ПК22+65,22	0	-20,00	0,00	Участок X, шаг разбивки 10 м	
	75,22	10	-11	0,01		
	85,22	20	-2,9	0,03		
Ср. уч. X ( $i_x=0$ )	87,56	22,34	0	0,03		
	95,22	30	+5,7	0,04		
	ПК23+05,22	40	+14,3	0,06		
К. уч. X	ПК23+11,89	46,67	+20,0	0,07		Участок l, шаг разбивки 20 м
Н.уч. l	31,89	20	+21	0,10		
	51,89	40	+21,7	0,12		
	71,89	60	+22,6	0,15		
	91,89	80	+23,4	0,18		
	ПК24+11,89	100	+24,3	0,21		
	31,89	120	+25,1	0,24		
	51,89	140	+26,0	0,27		
	71,89	160	26,9	0,30		
	91,89	180	+27,7	0,32		
	ПК25+11,89	200	+28,6	0,35		
Конец отгона	31,89	220	+29,4	0,38		
	ПК 25+44,47	232,58	+30	0,40		

Примечание. Вторая половина закругления разбивается по тем же уклонам (зеркально).

Уширение проезжей части в любом сечении на расстоянии  $\Delta X$  от начала отгона виража и отвода уширения до односкатного профиля с уклоном, равным уклону двускатного профиля на прямом участке  $i_x = i_{np}$ , определяется по формуле

$$\Delta v_x = v_{yш} \Delta X / L_{omz}, \quad (2.41)$$

где  $0 < \Delta X < L_{omz}$ .



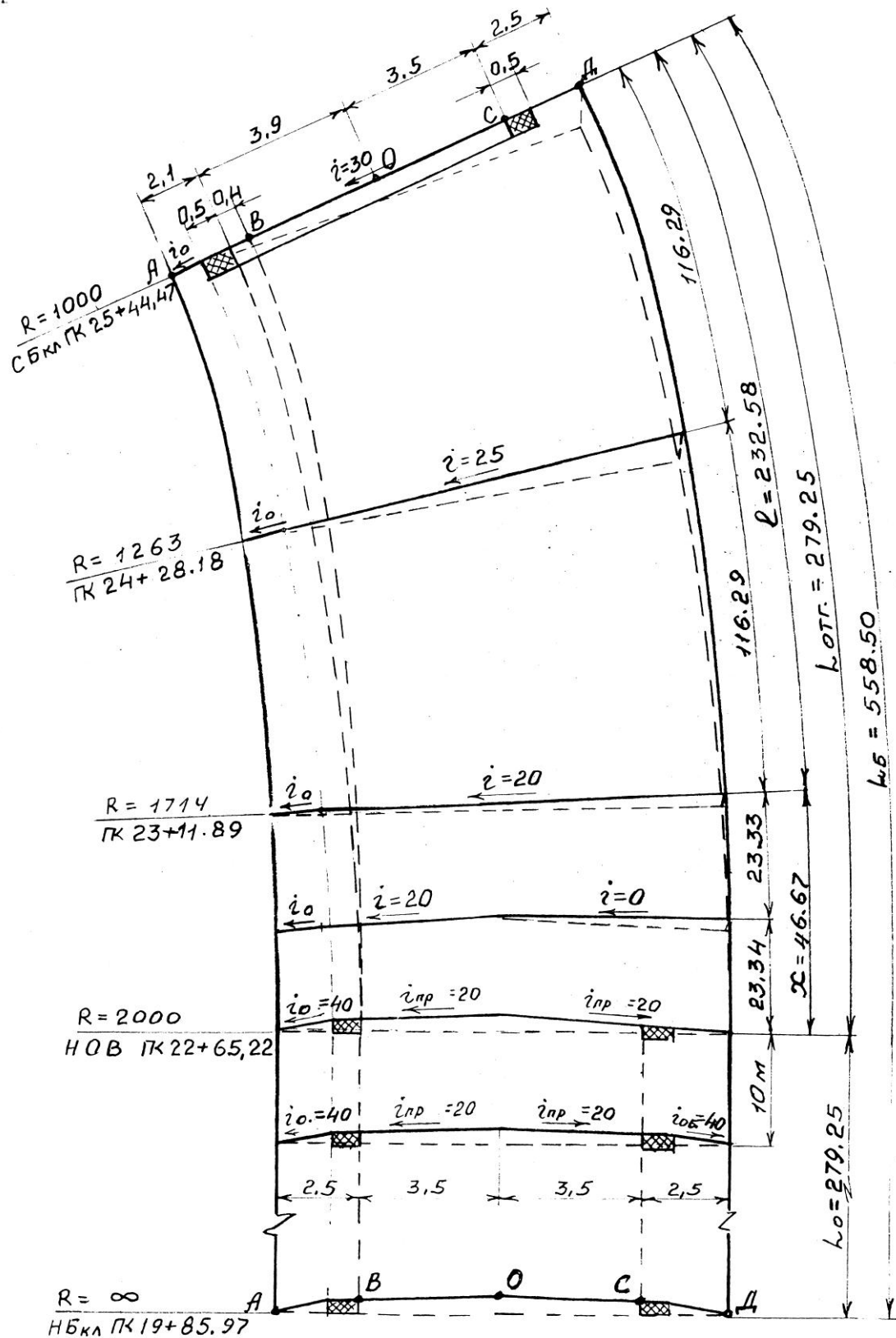


Рис. 2.13. Схема разбивки виража на симметричной биклотоиде (южный вариант, угол №2)

На оставшейся части отгона виража ( $l=L_{отг} - X$ ) уширение в любом сечении на расстоянии  $\Delta l$  от точки  $X$  до конца отвода уширения определяется по формуле

$$\Delta v_l = v_{yш} (X + \Delta l) / L_{отг}, \quad (2.42)$$

где  $0 < \Delta l \leq L_{отг}$ .

### **Пример расчета уширения**

**Задание:** выполнить расчет отвода уширения проезжей части на закруглении №2 южного варианта трассы.

Исходные данные принять согласно рис. 2.9 и табл. 2.10.

### **Решение**

1. Устанавливаем расчетные параметры закругления №2:

$\alpha=32^{\circ}00'$  (ПК 25+54,96);  $R=1000$  м;  $L_B=558,51$  м;  $L_{отг}=279,25$ .

2. Согласно СНиП 2.05.02–85 при  $R=1000$  м величина полного уширения проезжей части  $v_y=0,4$  м (прил. 2, табл. 5), а поскольку длина клотоиды больше нормативной  $L_B=558,51 > 120$  м, отвод уширения устраиваем на участке отгона виража, т.е. принимаем  $L_{отг} = L_{отв}$ .

При этом всю длину отвода уширения делим на два участка: длина первого участка  $X=46,67$  м, длина второго участка  $l = L_{отг} - X = 232,58$  м (см. пример 2.4.1).

3. По формулам (2.41) и (2.42) вычисляем величину уширения в каждом сечении с шагом разбивки 10 м.

Например, уширение на расстоянии  $\Delta X = 10$  м от начала отвода равно:

$$\Delta v_{\Delta X=10} = 0,4 \cdot 10 / 279,25 = 0,01 \text{ м.}$$

В сечении, где поперечный уклон  $i = 0$ , уширение проезжей части равно:

$$\Delta v_{\Delta X=C'=23,34} = 0,4 \cdot 23,34 / 279,25 = 0,03 \text{ м.}$$

В конце отгона, т.е. при  $\Delta X = 279,25$  м, уширение равно максимальной (нормативной) величине:

$$\Delta v_{\Delta X=279,25} = 0,4 \cdot 279,25 / 279,25 = 0,4 \text{ м.}$$

Ведомость детальной разбивки виража и уширения проезжей части одной ветви клотоиды представлена в табл. 2.11. Вторая клотоида закругления №2 разбивается зеркально первой.

## 2.6. РАСЧЕТ ПРЕВЫШЕНИЙ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК НА ОТГОНЕ ВИРАЖА

Превышения характерных точек  $\Delta H$  в любом сечении определяются с учетом дополнительного продольного уклона  $\Delta i$  внешней кромки проезжей части, вычисленного по формуле (2.28).

При  $\Delta i < 0,003$  превышения точек относительно  $O-O$  на 1-м участке  $X$  равно:

по внутренней бровке земляного полотна ( $A-A$  на рис. 2.12):

$$\Delta H_{A_x} = \Delta H_{B_x} - (c - \Delta e_{y_x} - c'')i_{об}, \quad (2.43)$$

где  $\Delta H_{A_x}$  – превышение точек по внутренней кромке проезжей части ( $B-B$  на рис. 2.13);  $\Delta e_{y_x}$  – уширение проезжей части в сечении, соответствующем текущей длине отгона виража (табл. 2.12).

$$\Delta H_{B_x} = -(e/2 + \Delta e_{y_x} + c'')i_{np}. \quad (2.44)$$

Превышения точек по внешней кромке ( $C-C$  на рис. 2.13) равны:

$$\Delta H_{C_x} = (e/2)i_x, \quad (2.45)$$

где  $i_x$  – уклон проезжей части в том же сечении (на расстоянии  $x$  от начала отгона виража).

Превышения точек по внешней бровке земляного полотна ( $D-D$  на рис. 2.13) равны:

$$\Delta H_{D_x} = (e/2 + c)i_x. \quad (2.46)$$

На 2-м участке  $l$  отгона виража превышения характерных точек  $\Delta_{A2}$ ,  $\Delta_{B2}$ ,  $\Delta_{C2}$  и  $\Delta_{D2}$  вычисляются по тем же формулам, если уклон в данном сечении  $i_l \leq i_{np}$ .

Начиная с сечения, где уклон виража  $i_e > i_{np}$ , формулы имеют вид

$$\Delta H_{B_l} = -(e/2 + c'' + \Delta e_{y_c}) i_l, \quad (2.47)$$

где  $i_l$  – уклон виража в сечении, расположенном на расстоянии  $l$  (текущая длина виража), доли единицы.

$$\Delta H_{A_l} = \Delta H_{B_l} - (c - \Delta e_{y_l} - c'')i_l, \quad (2.48)$$

$$\Delta H_{C_l} = (e/2)i_l, \quad (2.49)$$

$$\Delta H_{D_l} = (e/2 + c) i_l. \quad (2.50)$$

Если  $0,003 < \Delta i < i_{норм}$  для вычисления превышений характерных точек в любом сечении отгона виража используются формулы, представленные в табл. 2.9.

Таблица 2.12

Ведомость отметок точек детальной разбивки виража на закруглении №2 южного варианта трассы

Пикетажное положение	Расстояние от оси, м		Превышения и отметки относительно оси в поперечниках											
	ОВ	ОА	Внутренняя бровка А-А, м		Внутренняя кромка В-В, м		Ось дороги О-О, м		Внешняя кромка С-С, м		Внешняя бровка Д-Д, м			
ПК	+		$\Delta H$	H	$\Delta H$	H	$\Delta H$	H	$\Delta H$	H	$\Delta H$	H		
22	65,22	3,50	6,0	-0,16	193,55	-0,08	193,63	0	193,71	-0,07	193,64	-0,12	193,59	
	75,22	3,51	6,0	-0,16	193,67	-0,08	193,75	0	193,83	-0,04	193,79	-0,07	193,76	
	87,56	3,53	6,0	-0,16	193,86	-0,08	193,94	0	194,02	0	194,02	0	194,02	
	95,22	3,54	6,0	-0,16	193,97	-0,08	194,05	0	194,13	0,02	194,15	0,03	194,16	
23	11,89	3,57	6,0	-0,16	94,27	-0,08	194,35	0	194,43	0,07	194,50	0,12	194,55	
	51,89	3,62	6,0	-0,13	195,18	-0,09	195,22	0	195,31	0,08	195,39	0,13	195,44	
	71,89	3,65	6,0	-0,13	195,62	-0,09	195,66	0	195,75	0,08	195,83	0,14	195,89	
	91,89	3,68	6,0	-0,14	196,05	-0,10	196,09	0	196,19	0,08	196,27	0,14	196,33	
24	11,89	3,71	6,0	-0,14	196,49	-0,10	196,53	0	196,63	0,08	196,71	0,14	196,77	
	31,89	3,74	6,0	-0,15	196,92	-0,11	196,96	0	197,07	0,09	197,16	0,15	197,22	
	71,89	3,80	6,0	-0,16	197,79	-0,12	197,83	0	197,95	0,09	198,04	0,16	198,11	
	91,89	3,82	6,0	-0,17	198,22	-0,12	198,27	0	198,39	0,10	198,49	0,17	198,56	
25	11,89	3,85	6,0	-0,17	198,66	-0,12	198,71	0	198,83	0,10	198,93	0,17	199,00	
25	44,47	3,90	6,0	-0,18	199,37	-0,13	199,42	0	199,55	0,10	199,65	0,18	199,73	

**Пример вычисления превышений**

**Задание:** вычислить превышения характерных точек относительно оси дороги на отгоне виража, запроектированного на закруглении №2 южного варианта трассы.

Исходные данные принять согласно проектным решениям предыдущих примеров.

**Решение**

1. Записываем в соответствующую графу табл. 2.12 проектные отметки оси дороги в сечениях, указанных в табл. 2.11, т.е. при шаге разбивки отгона виража 10 и 20 м соответственно на участках  $x$  и  $l$ . При этом проектные отметки вычисляем обычным способом (по уклонам проектной линии и расстояниям на продольном профиле).

2. Учитывая, что дополнительный продольный уклон  $\Delta i < 0,003$ , превышения характерных точек вычисляем по формулам (2.43) – (2.46).

Превышения по внутренней кромке проезжей части следует определять в первую очередь.

В сечении ПК22+65,22 (точка начала отгона виража) уклон равен, уклону проезжей части  $i_{\Delta x=0} = 20 \text{ ‰}$  и уширение  $\Delta b_{yx} = 0$  (см. табл. 2.12), следовательно,

$$\Delta H_{B_{x=0}} = -(7/2 + 0,5)0,020 = -0,08.$$

Аналогично вычисляем превышения внутренней кромки проезжей части в промежуточных точках 1-го участка.

На 2-м участке  $l$ , где уклон виража  $i_l > i_{np}$ , превышения внутренней кромки определяем по формуле (2.47).

Например, на ПК24+11,89, где уклон виража  $i_l = 24,3 \text{ ‰}$ , а уширение проезжей части  $b_{yl} = 0,21 \text{ м}$ , превышение внутренней кромки равно:

$$\Delta H_{B_{l=100}} = -(7/2 + 0,5 + 0,21) 0,024 = -0,10 \text{ м}.$$

В конце отгона виража (ПК25+44,47), где  $i_l = i_g = 30 \text{ ‰}$ , а уширение  $b_y = 0,4 \text{ м}$  (см. табл. 2.11), превышение  $\Delta H_B$  равно:

$$\Delta H_B = -(7/2 + 0,5 + 0,4) 0,030 = -0,13 \text{ м},$$

т.е. проектная отметка внутренней кромки проезжей части равна:

$$H = 199,55 - 0,13 = 199,42.$$

3. Превышения прочих характерных точек (по  $A-A$ ,  $C-C$  и  $D-D$ ) относительно оси  $O-O$  вычисляем по формулам (2.48) – (2.50) и вносим в табл. 2.12.

4. По вычисленным превышениям  $\Delta H$  определяем проектные отметки  $H$  всех характерных точек на отгоне виража  $H = H_{O-O} \pm \Delta H$ .

## 2.7. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВАРИАНТА ТРАССЫ

Обоснование выбора наиболее рационального варианта трассы базируется на сравнении технических, экономических и других показателей конкурирующих вариантов. Для предварительного выбора наилучшего варианта можно ограничиться их сравнением только по техническим параметрам и оценкой вариантов на соответствие требованиям строительных норм.

В табл. 2.13 представлены значения основных технических параметров трассы по двум вариантам:

1 вариант (южный) – трасса из симметричных биклотоид;

2 вариант (северный) – трасса состоит из прямых участков и круговых вставок, сопрягающихся между собой посредством переходных кривых.

Таблица 2.13

Технические параметры трассы по конкурирующим вариантам

Показатели	Значения	
	вариант 1 (южный)	вариант 2 (северный)
Длина трассы, м: по воздушной линии фактическая	4200,00 4762,57	4200,00 4287,37
Коэффициент удлинения трассы ( $m=L_{\phi}/L_e$ )	1,13	1,02
Количество углов поворота, шт.	3	3
Наименьший радиус круговой кривой в плане, м	–	1000
Наименьшая длина клотоиды, м	465,13	120
Наименьшая длина прямой вставки: между двумя кривыми, направленными в одну сторону между обратными кривыми	– –	872,62 370,66
Количество пересечений: автомобильных и железных дорог логов	– 2	– 2
Максимальный продольный уклон поверхности земли, ‰	80	100
Протяженность участков с максимальным продольным уклоном, м	100	100
Протяженность участков с уклоном больше допустимого строительными нормами, м: в прямом направлении в обратном направлении	100 200	700 988

На рис. 2.14 и 2.15 представлены сокращенные продольные профили конкурирующих вариантов, вычерченные в отметках земли.

На основе сравнения южного и северного вариантов трассы можно сделать следующее заключение.

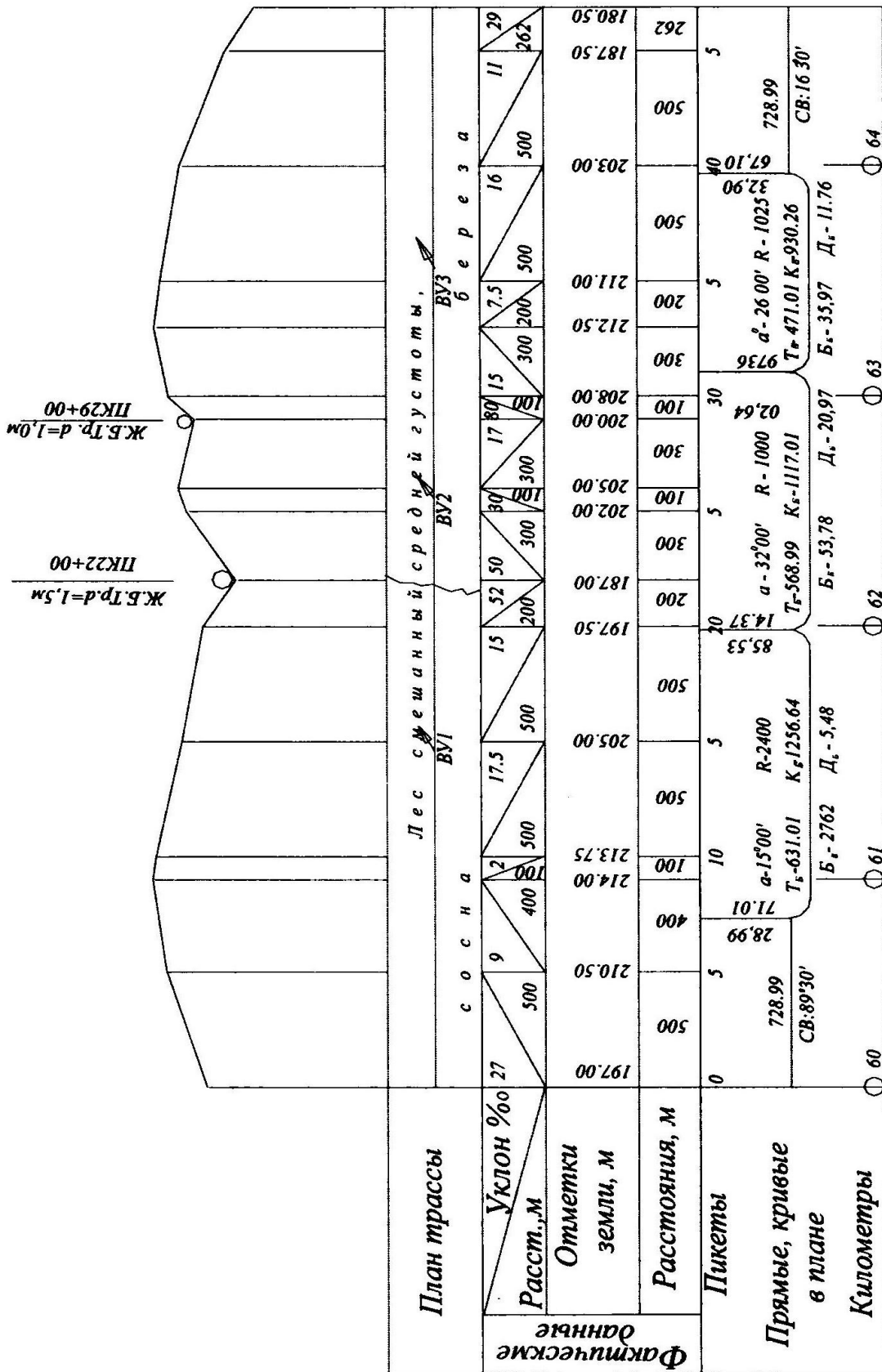


Рис. 2.14. Сокращенный продольный профиль трассы по варианту «Южный» (с закруглениями симметричными биклотоидами)

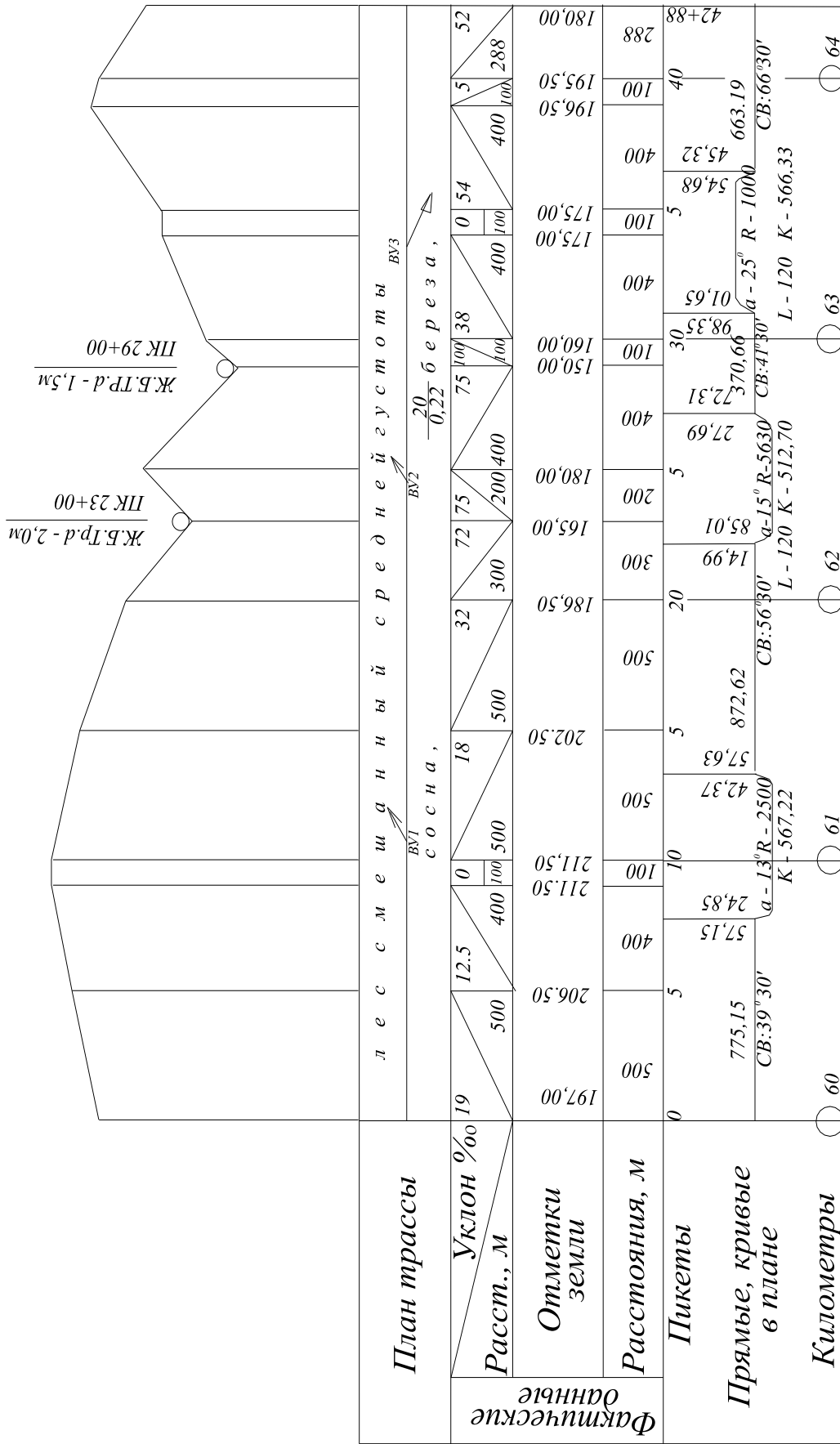


Рис. 2.15. Сокращенный продольный профиль трассы по варианту «Северный»



Оба варианта трассы отвечают требованиям СНиП 2.05.02–85 и являются конкурентоспособными по техническим показателям. Однако южный вариант имеет определенные преимущества перед северным, а именно:

– клотоидная трасса южного варианта без круговых кривых обеспечивает плавность и безопасность движения с высокими скоростями, зрительную ясность и постоянный режим движения;

– пересечение логов по южному варианту более выгодное (в узких местах);

– протяженность участков с продольными уклонами выше допускаемых по южному варианту составляет 100 м; по северному – 700 м. Следовательно, уменьшение продольных уклонов (в процессе проектирования продольного профиля) до допускаемых обеспечит по южному варианту существенно меньший объем земляных работ.

Преимуществом северного варианта перед южным является меньшая длина всей дороги ( $L_d = 4287,37$  м против  $L_d = 4762,57$ ). Тем не менее сокращение длины дороги на 475,2 м по северному варианту нельзя считать достаточным основанием для того, чтобы принять его как наилучший по следующей причине: северный вариант трассы проложен в непосредственной близости к пойме р. Реж (см. рис. 2.1), и земляное полотно может оказаться подтопленным. В силу указанных обстоятельств принимаем решение: южный вариант трассы считать наиболее эффективным.

### Контрольные вопросы

1. Как влияет рельеф местности на развитие (удлинение) трассы? Назовите способы трассирования на местности.
2. Что такое вираж и его назначение?
3. Когда устраивают переходные кривые? Назовите преимущества клотоидной трассы в сравнении с трассой, где закругления состоят из переходных кривых и круговой вставки.
4. Что называют отгоном виража?
5. Назовите виды планов; от чего зависят масштабы планов?
6. С какой стороны и за счет чего устраивают уширения проезжей части?

## 3. ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ

### 3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Продольный профиль дороги – это проекция оси дороги на вертикальную плоскость, совпадающую с направлением дороги. Продольный профиль входит в состав основного комплекта рабочих чертежей для выполнения строительно-монтажных работ. На этом чертеже должна быть представлена информация о местности (гидрогеологические данные) и проектные решения, от которых зависят как объемы предстоящих строительных работ, так и транспортно-эксплуатационное качество дороги. Поэтому проектирование продольного профиля – наиболее ответственный и сложный этап работы над проектом.

Каждое проектное решение на продольном профиле принимается на основе комплексной оценки всех факторов и условий, влияющих на параметры дороги, в том числе: ситуационные особенности местности, топографические, климатические, почвенно-грунтовые, гидрогеологические и другие условия. Инженер-проектировщик обязан строго соблюдать требования строительных норм, учитывать безопасность движения, эстетику автомобильной магистрали и требования экологии окружающей среды.

Проектирование продольного профиля включает следующие этапы.

1. Подготовка исходных данных.
2. Проектирование вариантов положения проектной линии.
3. Оценка вариантов проектных решений.
4. Проектирование водоотвода в продольном профиле.
5. Оформление продольного профиля по ГОСТ Р 21.1701–97 [9].

Информация для проектирования продольного профиля принимается по материалам полевых изысканий, выполненных изыскательской организацией в соответствии с заданием заказчика на проектирование дороги. Для учебного проектирования основная исходная информация задается руководителем. Сведения о районе проектируемой дороги устанавливаются самим студентом по энциклопедической, нормативной и справочной литературе.

*Вычерчивание продольного профиля по ГОСТ Р 21.1701–97 [9].*

Для изображения продольного профиля дороги на чертеже принимают основные масштабы: по горизонтали – 1:5000; по вертикали 1:500; допускаемые: по горизонтали – 1:2000, по вертикали – 1:200. Масштабы изображения указывают над боковиком таблицы (рис. 3.1).

Сетку продольного профиля рекомендуется вычерчивать так, чтобы вертикальная линия штампа сетки справа и верхняя горизонтальная линия совпали с жирными линиями сетки миллиметровки. После вычерчивания сетки вписывают фактические данные в соответствующие графы, а затем вычерчивают линию поверхности земли (черный профиль).

Вычерчивают продольный профиль следующим образом.

1. Разбивают графу 13 на пикеты и снизу (в графе 14) подписывают номера пикетов. Положение плюсовых точек показывают в пикетах вертикальными линиями и записывают расстояния между точками.

2. Показывают в графе 14 километровые знаки, прямые и кривые плана трассы. На прямых участках сверху указывают их длину, а снизу – румб. Кривые в плане от начала закругления (*НЗ*) до конца закругления (*КЗ*) показывают скобками вверх при правом повороте, вниз – при левом. В точках *НЗ* и *КЗ* указывают расстояния до предыдущих пикетов. На свободном месте записывают номер и величину угла, значения радиуса, виража и уширения.

3. Записывают в графу 12 фактические отметки земли (вычисленные по горизонталям на карте).

4. Устанавливают условный горизонт (*УГ*) для вычерчивания профиля. Линию поверхности земли рекомендуется располагать на расстоянии 8–13 см от верхней линии сетки. Это составляет (с учетом вертикального масштаба) 40–65 см, т.е. превышение самой высокой отметки земли  $H_{max}$  над самой низкой  $H_{min}$  должно быть примерно 25 м. Если  $(H_{max} - H_{min}) > 25$  м, принимают два и более условных горизонта, разбивая профиль на участки. Если принята высота формата чертежа 297 мм, условный горизонт можно принять равным:  $УГ = H_{max} = 65$  мм. При значительной разности отметок  $(H_{max} - H_{min})$  принимают высоту формата чертежа 420 мм и  $УГ = H_{max} = 90$  мм (или 100). Величину вычисленного *УГ* округляют до ближайшего целого числа, кратного 5. Принятую величину *УГ* заносят на верхнюю линию сетки продольного профиля.

5. По данным графы 12 строят линию поверхности земли по оси дороги, откладывая против каждого пикета и плюсовой точки (по вертикали от верха рамки сетки) ординаты, равные  $H = H_3 - УГ$  ( $H_3$  – отметка поверхности земли).

<i>Тип местности по увлажнению</i>			5
<i>Проектные данные</i>	<i>Тип поперечного профиля</i>	<i>слева</i>	5,5
		<i>справа</i>	5,5
	<i>Левый кювет</i>	<i>Укрепление</i>	5
		<i>Уклон, ‰</i> <i>Длина, м</i>	10
		<i>Отметка дна, м</i>	35
	<i>Правый кювет</i>	<i>Укрепление</i>	5
		<i>Уклон, ‰</i> <i>Длина, м</i>	10
		<i>Отметка дна, м</i>	15
	<i>Уклон, ‰, вертикальная кривая</i>		10
	<i>Отметка оси дороги, м</i>		15
<i>Фактические данные</i>	<i>Отметка земли, м</i>		15
	<i>Расстояние, м</i>		10
<i>Пикет</i> <i>Элементы плана</i> <i>Километры</i>			20
			145
			75
			10
			25
			20
			20

Рис. 3.1. Таблица боковика продольного профиля

6. Для заполнения графы 1 необходимо установить номер типа местности по признакам увлажнения верхнего слоя земли. Классификация типов местности по характеру и степени увлажнения представлена в прил. 3, табл. 1.

Основные признаки увлажнения (сток поверхностных вод, уровень подземных вод и др.) устанавливаются по топографической карте (по результатам бурения скважин) и на основе характеристик района проложения трассы.

7. Графы 2 – 11 заполняют по результатам принятых проектных решений.

При вычерчивании продольного профиля необходимо пользоваться соответствующими условными знаками.

### 3.2. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

*До начала проектирования продольного профиля необходимо подготовить следующие исходные данные:*

1) вычерченный по отметкам поверхности земли продольный профиль дороги, где нанесены разведочные геологические выработки с обозначением влажности и консистенции грунтов; отметки уровня грунтовых вод с датой их замера; наименование грунтов; группы грунтов по трудности их разработки; границы слоев грунтов и прочие данные, установленные в процессе инженерно-геологических изысканий;

2) руководящие отметки, вычисленные для каждого характерного участка дороги;

3) технические нормы проектирования дороги данной категории, установленные по нормативным документам.

Отметки поверхности земли снимают с топографической карты по оси проложенной трассы, вычисляя их на каждом пикете и плюсовых точках. Плюсовыми точками на карте являются крайние точки на возвышениях и понижениях рельефа местности, где изменяется продольный уклон; переломные точки на обрывах и оврагах; точки изменения крутизны склонов (резкое изменение густоты горизонталей).

Отметки земли вычисляют двумя способами: интерполяцией и экстраполяцией. Если пикет или плюсовая точка расположены между соседними горизонталями, отметки вычисляют методом интерполяции. Отметки точек, расположенных внутри замкнутой горизонтали или за пределами горизонталей, определяют экстраполяцией.

#### 3.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ОТМЕТОК КОНТРОЛЬНЫХ ТОЧЕК

*Контрольными* называют точки, где высотное расположение проектной линии строго фиксируется вследствие ситуационных особенностей и требований строительных норм. Установление местоположения контрольных точек относится к подготовке исходных данных для проектирования продольного профиля.

Контрольными точками являются: начальная и конечная точки трассы; пересечения трассы с реками и периодически действующими водотоками; пересечения с автомобильными и железными дорогами; границы различных контурных зон и ограничивающие точки, ниже которых не допускается прохождение проектной линии. Высотное

положение контрольных точек позволяет ориентировочно наметить проектную линию и установить ориентировочную рабочую отметку в данном сечении.

Наиболее сложно назначать рабочие отметки на участках у искусственных сооружений. Положение проектной линии на таких участках должно обеспечивать незатопляемость подходов и возвышение низа пролетного строения над поверхностью воды, достаточное для нормальной работы сооружения в период пропуска высоких вод.

Ориентировочное значение отметки по оси малого моста может быть вычислено по формуле

$$H_p = H_e + Z + h_{nc}, \quad (3.1)$$

где  $H_e$  – глубина протекающей воды с учетом подпора у входа в сооружение,  $m$ ;  $Z$  – высота просвета между уровнем подпертой воды (УПВ) и низом пролетного строения,  $m$ . Значение  $Z$  для малых мостов принимается из условия, что просвет должен обеспечить безопасный пропуск плавущих предметов и неподтопление пролетного строения при паводках;  $h_{nc}$  – высота пролетного строения,  $m$ .

В местах пересечений периодически действующих водотоков, где для пропуска воды укладываются трубы, рабочая отметка должна обеспечить нормальное их размещение. На подходах к трубам (и малым мостам) бровка земляного полотна должна возвышаться над расчетным горизонтом с учетом подпора воды перед сооружением не менее чем на  $0,5 m$  при безнапорном режиме работы и не менее  $1 m$  при напорном и полупапорном.

При безнапорном режиме протекания потока минимальная рабочая отметка (высота насыпи) над трубой должна быть не менее вычисленной по формуле

$$H_p = d + \delta + \Delta, \quad (3.2)$$

где  $d$  – диаметр круглой трубы или высота в свету прямоугольной трубы,  $m$  (определяют гидравлическим расчетом в зависимости от расчетного расхода воды);  $\delta$  – толщина стенки круглой трубы или толщина плиты перекрытия прямоугольной трубы,  $m$ ;  $\Delta$  – толщина засыпки трубы у входного оголовка,  $m$ ; принимается равной  $0,5 m$  при толщине дорожной одежды менее  $0,5 m$ . При толщине дорожной одежды  $h_{do} > 0,5 m$  толщину засыпки следует принять  $\Delta \geq h_{do}$ .

На пересечении с железной дорогой фиксированные рабочие отметки назначают в зависимости от типа пересечения. Если пересечение в одном уровне, тогда отметка фиксируется на уровне головки

рельса. При этом следует помнить, что в продольном профиле необходимо запроектировать горизонтальный участок длиной не менее 10 м от крайнего рельса, если проектная линия проходит в насыпи, и не менее 20 м, если в выемке.

### 3.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУКОВОДЯЩЕЙ ОТМЕТКИ

Руководящая отметка  $H_{рук}$  – это отметка, которой следует придерживаться при нанесении проектной линии. Величина руководящей отметки определяется по СНиП [3] с учетом ограничений и требований, зависящих от ДКЗ, типа грунта и типа местности по увлажнению (табл. 3.1).

Таблица 3.1

#### Наименьшее возвышение поверхности покрытия

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение поверхности покрытия, м, в пределах дорожно-климатических зон			
	II	III	IV	V
Песок мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	1,1/0,9	0,9/0,7	0,75/0,55	0,5/0,3
Песок пылеватый, супесь пылеватая	1,5/1,2	1,2/1,0	1,1/0,8	0,8/0,5
Суглинок легкий, суглинок тяжелый, глины	2,2/1,6	1,8/1,4	1,5/1,1	1,1/0,8
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	2,4/1,8	2,1/1,5	1,8/1,3	1,2/0,8

Примечание. В числителе – возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод, верховодки 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 условиям увлажнения верхней толщи грунта строительные нормы выделяют три типа местности:

1-й тип – сухие участки;

2-й тип – сырые участки с избыточным увлажнением в отдельные периоды года;

3-й тип – мокрые участки с постоянным избыточным увлажнением.

Для безошибочного определения типа местности по увлажнению необходимо пользоваться классификацией СНиП (см. прил. 3, табл. 1), где представлены для II – V дорожно-климатических зон и каждого типа местности классификационные признаки по условиям увлажнения верхней толщи грунтов.

На местности, отнесенной к 1-му типу (сухие участки), руководящую отметку, как правило, назначают по условию незаносимости дороги снегом.

На участках, отнесенных к местности 2-го типа (сырые участки), когда поверхностный сток не обеспечен, но поверхностные воды стоят кратковременно (менее 30 сут) и грунтовые воды *не влияют* на увлажнение верхней толщи, руководящая отметка равна знаменателю табл. 3.1.

На участках 3-го типа, где поверхностные воды стоят длительно (более 30 сут) и влияют на увлажнение верхней толщи, а также при наличии верховодки и болотных и полуболотных почв руководящая отметка равна:

$$H_p = H_\partial + h_n, \quad (3.3)$$

где  $H_\partial$  – высота длительно стоящих поверхностных вод, м, устанавливается по данным инженерных изысканий (по заданию на проектирование) или по метеорологическим справочникам;

$h_n$  – нормативное значение минимального возвышения поверхности покрытия над уровнем верховодки или длительно стоящих поверхностных вод, м; принимается по числителю табл. 3.1, но не должно превышать табличные значения более чем в 1,5 раза.

По условию незаносимости дороги снегом руководящая отметка равна:

$$H_p = H_{сн} + h_{бр}, \quad (3.4)$$

где  $H_{сн}$  – расчетная высота снегового покрова, м; принимается в зависимости от района строительства по среднесезонным наблюдениям (при вероятности превышения 5 %);  $h_{бр}$  – наименьшее возвышение бровки насыпи над уровнем снегового покрова, м. Значение  $h_{бр}$  принимают в зависимости от категории дороги:  $h_{бр} = 1,2$  м для дорог I категории и 0,7; 0,6; 0,5 и 0,4 м соответственно для дорог II, III, IV и V категорий.

Рабочие отметки, установленные по условиям увлажнения земляного полотна на каждом характерном участке, необходимо сравнить с отметкой по условию незаносимости дороги снегом и наибольшую из них принять за руководящую (для данного участка).

В районах, где расчетная высота снегового покрова  $H_{сн} > 1$  м, необходимо проверять достаточность возвышения бровки насыпи над снежным покровом по условию беспрепятственного размещения снега, сбрасываемого с дороги при снегоочистке. Возвышение *бровки насыпи* над расчетным уровнем снегового покрова по условиям снегоочистки  $\Delta h_{sc}$  должно быть не менее вычисленного по формуле:

$$\Delta h_{sc} = 0,375 h_s B/a, \quad (3.5)$$



где  $B$  – ширина земляного полотна, м;  $a$  – расстояние отбрасывания снега с дороги снегоочистителем, м. Для дорог с регулярным режимом зимнего содержания допускается принимать  $a = 8$  м.

В случаях, когда  $h_{\text{бр}} < \Delta h_{\text{sc}}$ , в формулу (3.4) вместо  $h_{\text{бр}}$  вводится  $\Delta h_{\text{sc}}$ .

### **3.3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛОЖЕНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ**

Современная автомобильная магистраль должна обладать высокими транспортно-эксплуатационными качествами и по возможности удовлетворять требованиям эстетики сооружения. Поэтому задача нанесения проектной линии должна решаться с учетом всех влияющих факторов: рельефа местности, гидрогеологических, гидрологических и прочих условий, а также с учетом требований и ограничений, установленных строительными нормами.

#### **3.3.1. ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОЛОЖЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ**

##### ***Влияние рельефа местности***

В равнинной местности с плавными формами рельефа проектную линию наносят по принципу обертывающей, т.е. в насыпях с руководящей рабочей отметкой [12].

В пересеченной местности проектная линия в ряде мест может проходить в виде секущей. Проектируя такие участки, необходимо стремиться к обеспечению баланса объемов земляных работ на смежных участках насыпей и выемок.

В горной местности и особенно если трасса проложена на крутых косогорах, положение проектной линии рекомендуется устанавливать так, чтобы земляное полотно располагалось в полунасыпи – полувыемке с обеспечением баланса объемов земляных работ в поперечном направлении.

##### ***Влияние гидрогеологических условий***

Гидрогеологические условия больше всего влияют на глубину выемок: при высоком уровне грунтовых вод глубина выемки должна ограничиваться, чтобы избежать пересечения выемкой грунтовых вод. В противном случае для обеспечения устойчивости откосов и сохранения постоянного водно-теплового режима приходится устраивать дорогостоящие подкюветные либо подоткосные дренажи.

Не допускается в выемках устройство вогнутых кривых и горизонтальных участков.

При неблагоприятных *грунтово-геологических условиях* (пучинистые пылеватые грунты) глубину выемки по возможности следует уменьшать, поскольку качество грунтов не позволяет использовать их для отсыпки насыпи на смежных участках дороги.

На открытых участках, где в зимних условиях преобладают направления ветра под углом, близким к  $90^\circ$ , а следовательно, большая вероятность снежных заносов, выемок рекомендуется избегать, особенно мелких. На участках, запроектированных в насыпях, руководящую отметку, как правило, назначают из условия незаносимости дороги снегом.

### 3.3.2. ТРЕБОВАНИЯ К ПОЛОЖЕНИЮ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ

Удобство и безопасность движения, себестоимость грузопассажирских перевозок и другие транспортно-эксплуатационные показатели дороги существенно зависят от проектных решений, принятых в продольном профиле. Требования и ограничения, предусмотренные строительными нормами, продиктованы необходимостью обеспечить нормальные условия эксплуатации дороги при наименьших затратах на ее строительство и содержание. Поэтому соблюдение технических норм проектирования является обязательным. Кроме того, следует стремиться назначить параметры дороги по рекомендуемым нормативным величинам, а не допускаемым.

Необходимость соблюдения требований строительных норм нередко вынуждает проектировщика назначать рабочие отметки с отклонениями от руководящих, вычисленных по условиям увлажнения и снеготаносимости. При этом чем выше категория дороги, тем большими могут быть эти отклонения (но только в сторону увеличения).

#### ***Основные требования и рекомендации СНиП 2.05.02–85\****

Продольные уклоны необходимо стремиться принимать не более  $30\text{‰}$ . На участках, где по условиям местности не представляется возможным выполнить это условие, допускается принимать предельные уклоны, нормируемые в зависимости от рельефа местности и категории дороги (см. табл. 1.3).

Затяжные уклоны (более  $60\text{‰}$ ) допускаются в горной местности на трудных участках с обязательным включением участков с

уменьшенными продольными уклонами ( $20 ‰$  и менее) или площадок для остановки автомобилей. Расстояния между площадками должны приниматься не более указанных в табл. 1.4.

На затяжных спусках с уклонами более  $50 ‰$  следует предусматривать противоаварийные съезды, которые устраивают *перед кривыми* малых радиусов, расположенными в конце спуска, а также на прямых участках спуска через каждые  $0,8–1,0$  км. Элементы противоаварийных съездов определяют расчетом из условия безопасной остановки автопоезда.

Для обеспечения зрительной ясности и плавности движения положение проектной линии необходимо увязывать с планом трассы. Кривые в плане и продольном профиле, как правило, следует совмещать. При этом кривые в плане должны быть на  $100–150$  м длиннее кривых в продольном профиле, а смещение вершин кривых должно быть не более  $1/4$  длины меньшей из них. Следует избегать сопряжений концов кривых в плане с началом кривых в продольном профиле. Расстояние между ними должно быть не менее  $150$  м. Переломы проектной линии в продольном профиле следует сопрягать кривыми (выпуклыми и вогнутыми) при алгебраической разности уклонов на смежных участках  $5 ‰$  и более – на дорогах I и II категорий,  $10 ‰$  и более – на дорогах III категории и  $20 ‰$  и более – на дорогах IV и V категорий [3].

### 3.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

#### 3.4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СВОЙСТВА ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ КРИВОЙ

Суть графоаналитического способа заключается в том, что на резких переломах продольного профиля проектируют вертикальные кривые параболического очертания, используя для этой цели специальные лекала – шаблоны.

Вертикальная кривая параболического очертания представляет собой геометрическое место векторных точек, уклон которых изменяется по уравнению параболы. Векторной условно называют точку, через которую проектная линия может быть проложена не в любом направлении, а в строго определенном, с заранее заданным уклоном. Векторная точка, кроме координат (пикетажное положение и отметка), определяется также уклоном. Иначе говоря, касательная к верти-

кальной кривой в каждой точке имеет один строго заданный уклон, численная величина которого зависит от радиуса кривой и изменяется постепенно. При этом чем больше радиус параболической кривой, тем медленнее изменяется уклон и координаты векторных точек, а проектная линия становится более плавной.

Векторная точка, в которой касательная к кривой имеет уклон  $i=0$ , является вершиной (центром) кривой (рис. 3.2).

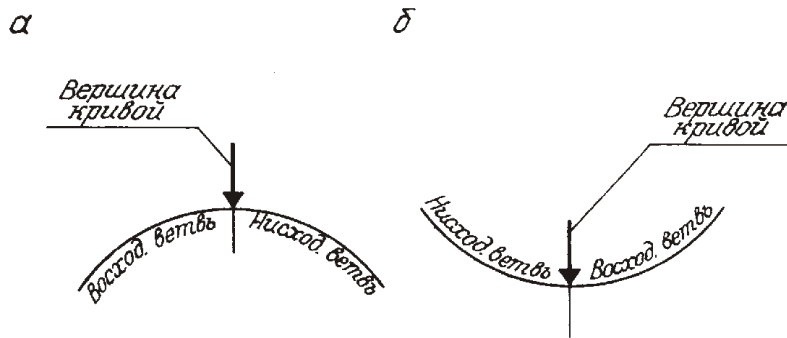


Рис. 3.2. Схема нисходящих и восходящих ветвей кривых:  
а – выпуклая кривая; б – вогнутая кривая

При расположении начала координат в вершине кривой координаты параболической кривой связаны уравнением

$$Y = X^2/2R, \quad (3.6)$$

где  $X$  и  $Y$  – координаты параболы;  $R$  – радиус кривизны.

В дорожном проектировании принято допущение о равенстве длины элемента профиля его горизонтальной проекции (на рис. 3.3 отрезок кривой  $MO=l$ ), поэтому для привязки вертикальной кривой в продольном профиле пользуются уравнением

$$h = l^2/2R, \quad (3.7)$$

где  $h$  – превышение вершины параболической кривой над любой (произвольно взятой) точкой  $M$  в пределах этой кривой.

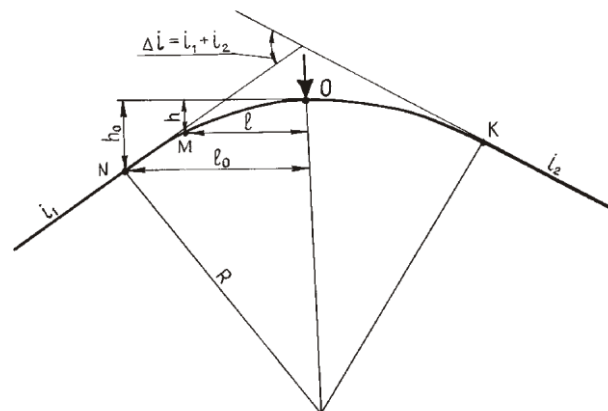


Рис. 3.3. Расчетная схема параболической кривой (выпуклая кривая)

### Стыкование и сопряжение элементов проектной линии

Нанесение проектной линии графоаналитическим способом состоит в том, чтобы выполнить стыкование или сопряжение рационально подобранных прямолинейных отрезков проектной линии, а также отрезков вертикальных кривых заранее подобранных радиусов.

Под сопряжением понимают соединение двух смежных элементов за счет введения третьего сопрягающего отрезка прямой или кривой. На рис. 3.3 прямые участки с уклонами  $i_1$  и  $i_2$  сопрягаются кривой в точках  $N$  и  $K$ .

Под стыкованием понимают соединение двух смежных элементов проектной линии путем продления одного или обоих. В качестве стыкуемых элементов могут быть только прямолинейные участки или только кривые (рис. 3.4).

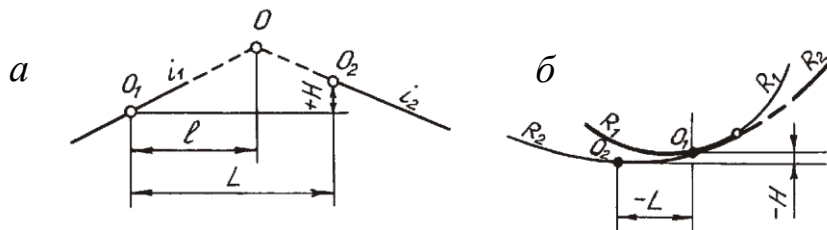


Рис. 3.4. Схемы стыкования: а – двух прямых участков; б – двух кривых (при условии  $R_2 > R_1$ )

#### 3.4.2. ТЕХНИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ

Для проектирования вертикальных кривых используют прозрачные лекала – шаблоны, изготовленные в масштабе продольного профиля. Шаблоны представляют собой параболические очертания вертикальных кривых различных радиусов. На рис. 3.5 показан шаблон вертикальных кривых  $R=2500$  м (верхний обрез шаблона) и  $R=1000$  м (нижний обрез).

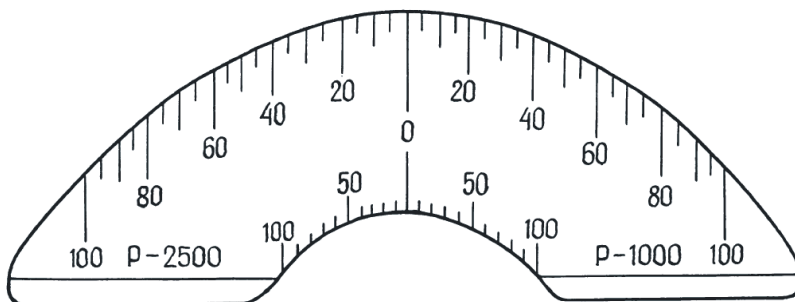


Рис. 3.5. Расчетная схема параболической кривой (выпуклая кривая)

На периметре шаблонов цифрами показаны (в тысячных) уклоны касательных в точках, обозначенных штрихами. Вершина кривой обозначена цифрой 0 (уклон касательной  $I = 0$ ). Для ориентирования на шаблоны нанесены горизонтальная и вертикальная линии. При работе эти линии должны точно совпадать с сеткой миллиметровой бумаги.

При пользовании шаблонами необходимо соблюдать следующие правила.

1. При подборе положения проектной линии шаблоны можно перемещать относительно линии поверхности земли вверх, вниз, вправо, влево, но при этом оси шаблона (горизонтальная и вертикальная линии) должны оставаться строго параллельными линиям миллиметровой бумаги.

2. Смежные вертикальные кривые должны стыковаться между собой в точках с одинаковыми продольными уклонами, т.е. касательные в точке стыкования кривых должны иметь одинаковые уклоны и направления (см. рис. 3.4).

3. При стыковании прямолинейного участка с кривой и наоборот касательная в точке стыкования должна иметь тот же уклон, что и прямолинейный участок.

4. Горизонтальный участок должен начинаться и заканчиваться с вершины кривой ( $i=0$ ).

### 3.4.3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПИКЕТАЖНОГО ПОЛОЖЕНИЯ И ОТМЕТОК СВЯЗУЮЩИХ ТОЧЕК ВЕРТИКАЛЬНЫХ КРИВЫХ

К связующим точкам относятся: начало вертикальной кривой (*НВК*), конец вертикальной кривой (*КВК*) и вершина вертикальной кривой (*ВВК*). Пикетажное положение связующих точек всегда определяют сразу после нанесения кривой по шаблону, последовательно переходя к следующей [15].

Наиболее удобно вести расчеты по схеме рис. 3.3 (начало координат расположено в вершине кривой), пользуясь следующими обозначениями:

$l$  – расстояние от вершины кривой до искомой точки,  $m$ ;

$h$  – превышение вершины кривой над точкой  $M$ ,  $m$ ;

$i$  – уклон касательной к кривой в точке  $M$ , ‰;

$K$  – длина кривой,  $m$ .

Расстояние между двумя любыми точками параболической кривой с уклонами  $i_2$  и  $i_1$  равно:

$$L = (i_2 - i_1)R, \quad (3.8)$$

где  $i_2$  – уклон точки, расположенной справа от вершины кривой, доли единицы;  $i_1$  – уклон точки, расположенной слева от вершины, доли единицы.

В формуле (3.8) и последующих принято следующее *правило знаков*:

– радиусы вогнутых кривых положительны, выпуклых – отрицательны;

– уклоны подъемов положительны, спусков – отрицательны;

– превышения положительны, если последующая точка выше предыдущей, и отрицательны в противном случае. Последовательность точек принимается слева направо. Расстояние от вершины до точки с уклоном  $i_2$ , расположенной справа от вершины кривой, равно:

$$l_2 = i_2 R. \quad (3.9)$$

Расстояние от вершины до точки с уклоном  $i_1$ , расположенной слева от вершины:

$$l_1 = -(i_1 R). \quad (3.10)$$

Для вычисления превышений *связующих точек* пользуются формулами:

– превышение правой точки с уклоном  $i_2$  над левой точкой с уклоном  $i_1$  равно:

$$H = (i_2^2 - i_1^2) R/2; \quad (3.11)$$

– превышение вершины кривой над точкой с уклоном  $i_2$ , расположенной справа от вершины:

$$h_2 = i_2^2 R/2; \quad (3.12)$$

– превышение вершины кривой над точкой с уклоном  $i_1$ , расположенной слева от вершины:

$$h_1 = -i_1^2 R/2. \quad (3.13)$$

При вычислении превышения вершины над промежуточными точками необходимо пользоваться формулами:

– превышение вершины над точкой, расположенной справа от вершины, равно:

$$h_2 = l^2/2R; \quad (3.14)$$

– превышение вершины над точкой, расположенной слева от вершины:

$$h_1 = -l^2/2R. \quad (3.15)$$

При правильном применении правила знаков расчетные формулы (3.8) – (3.15) могут быть использованы для любых знакосочетаний элементов.

#### 3.4.4. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРОЕКТНЫХ ОТМЕТОК ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТОЧЕК

К промежуточным точкам относятся пикеты, плюсовые и другие точки, расположенные в пределах вертикальных кривых или в пределах прямолинейных участков продольного профиля. К вычислению проектных отметок промежуточных точек приступают только после оценки положения проектной линии и заключения о соответствии рабочих отметок связующих точек требованиям строительных норм.

Проектные отметки промежуточных точек всегда вычисляют *от вершины кривой* (от начала координат) в такой последовательности:

- устанавливают по чертежу положение промежуточной точки (расстояние от вершины до промежуточной точки  $l$ ) и величину радиуса кривой;
- по известным значениям  $R$  и  $l$  выписывают из таблиц или определяют по формулам превышение вершины над данной точкой;
- вычисляют проектные, а затем и рабочие отметки.

### 3.5. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

**Задание:** запроектировать продольный профиль дороги III категории на участке ПК0 – ПК47+62. Положение оси трассы принять по южному варианту, запроектированному симметричными биклотоидами без круговой вставки (см. рис. 2.9).

Природно-климатические условия района принять согласно описанию, выполненному в разделе 1.4; прочую информацию – по проектным решениям и чертежам раздела 2.

#### 3.5.1. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Подготовку исходных данных выполняем поэтапно. Первый этап заключается в вычерчивании линии поверхности земли и внесении известных фактических данных в соответствующие графы сетки продольного профиля по ГОСТ Р21.1701–97 (см. рис. 3.1).



Линию поверхности земли вычерчиваем по отметкам, вычисленным с помощью горизонталей на карте (см. рис. 2.1). Затем вычерчиваем на профиле условный план трассы, запроектированной симметричными биклотоидами, используя для этой цели рис. 2.9 и табл. 2.5.

На основе описания гидрогеологических и других условий района (см. п. 1.4.1) вычерчиваем грунтово-геологический профиль в масштабе 1:100, где обозначаем основные характеристики грунтов, влияющие на проектные решения (тип грунта, уровень грунтовых вод и др.).

*Обоснование типа местности по увлажнению грунта*

Для установления типа местности используем топографическую карту (см. рис. 2.1) и следующие исходные данные:

- тип грунта по трассе (кроме логов) – суглинки легкие; на участках пересечения логов грунт – песок пылеватый;
- установившийся уровень грунтовых вод (*УГВ*) в предморозный период на глубине 3,6 м от поверхности земли; в логах *УГВ* расположен на глубине 0,6 м;
- глубина промерзания грунта 1,9 м.

Согласно СНиП 2.05.02.–85\* поверхностный сток считается обеспеченным при уклонах поверхности грунта в пределах полосы отвода более 2 ‰, а поскольку рельеф местности относится к пересеченному (см. карту рис. 2.1), делаем заключение: поверхностный сток обеспечен.

По табл. 1 прил. 3 устанавливаем, что если на местности суглинки легкие, то грунтовые воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщи грунтов в случае, если уровень грунтовых вод в предморозный период расположен ниже глубины промерзания не менее чем на 1,5 м. Согласно исходным данным примера *УГВ* на глубине 3,6 м, а промерзание грунтов – до 1,9 м. Вычисляем:  $3,6 - 1,9 = 1,7 \text{ м} > 1,5 \text{ м}$ . Следовательно, грунтовые воды не оказывают влияния на увлажнение грунта.

Сравнивая другие характеристики местности с классификационными для II ДКЗ, делаем заключение: трасса практически на всем протяжении проходит на местности 1-го типа. Исключение представляют места пересечения логов, где грунтовые воды залегают на глубине 0,6 м, т.е. в зоне промерзания грунта. На данных участках грунтовые условия являются неблагоприятными для морозного пучения (песок пылеватый). Согласно строительным нормам такие участки относятся к 3-му типу местности.

Границы участков по типу местности обозначаем в графе 1 продольного профиля.

*Определение рабочих отметок контрольных точек*

На продольном профиле прил. 4 контрольными являются точки пересечения оси трубы с осью дороги: ПК22+00 и ПК28+75. Других точек, относящихся к контрольным, по трассе нет.

Рабочая отметка на ПК22+00 определена на основе выполненного в разд. 6 гидравлического расчета отверстия трубы прямоугольного сечения 3,0х2,5 м. Расчетом установлено, что минимальная рабочая отметка на ПК 22+00 должна быть  $H_{min} = 3,3$  м.

На ПК28+75 назначена типовая круглая труба с раструбным оголовком, работающая в безнапорном режиме. Характеристика трубы:

- диаметр отверстия  $d=1,75$  м;
- глубина воды перед трубой  $H_g = 1,47$  м;
- толщина звена (толщина стенки)  $\delta=0,16$  м.

Минимальную рабочую отметку на ПК 28+75 вычисляем по формуле (3.2), принимая толщину засыпки над трубой  $\Delta$  равной толщине дорожной одежды  $h_{до} = 0,65$  м.

$$H_{min} = 1,75 + 0,16 + 0,65 = 2,56 \text{ м.}$$

*Определение руководящей отметки*

Руководящую отметку по условиям увлажнения грунта определяем по нормам, установленным в зависимости от ДКЗ и вида грунта (см. табл. 3.1)

*Исходные данные:*

– тип местности по увлажнению 1-й (поверхностный сток обеспечен, грунтовые воды не влияют на увлажнение верхней толщи); только на отдельных участках – кратковременно стоящие поверхностные воды;

– грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий. Согласно прил. 3, табл. 5 относительное морозное пучение таких грунтов 1–2 %; по степени пучинистости относятся к слабопучинистым и могут использоваться в рабочем слое земляного полотна (см. прил. 3, табл. 3–6).

По табл. 3.1 устанавливаем, что на участках с необеспеченным стоком поверхностных вод и суглинках легких возвышение поверхности покрытия над поверхностью земли (или над уровнем кратковременно стоящих поверхностных вод) должно быть не менее 1,6 м.

На участках 1-го типа местности с обеспеченным стоком руководящую отметку назначаем по условию незаносимости дороги снегом.

Последнюю определяем для следующих исходных данных:  
 – толщина снегового покрова  $H_{сн}=0,74$  м (см. п. 1.4.1);  
 – наименьшее нормативное возвышение бровки насыпи над уровнем снегового покрова  $h_{бр}=0,6$  (для дороги III категории). По формуле (3.4) находим:

$$H_p = 0,74 + 0,6 = 1,34 \text{ м.}$$

Сравниваем руководящую отметку по условию увлажнения земляного полотна с вычисленной по формуле (3.4) и принимаем для проектирования продольного профиля на местности 1-го типа наибольшую из них –  $H_p=1,6$  м.

*Технические нормы проектирования продольного профиля*

На заключительном этапе подготовки исходных данных устанавливаем нормы проектирования продольного профиля по СНиП 2.05.02–85. При пересеченном рельефе местности для дорог III категории необходимо принять основную расчетную скорость движения 100 км/ч; допускаемую – 80 км/ч; на особо трудных участках – 60 км/ч.

Нормы проектирования продольного профиля дороги III категории приведены ниже.

	Значение по СНиП [3]
Уклоны проектной линии, ‰:	
рекомендуемый.....	30
допускаемый при скорости, км/ч:	
100.....	60
80.....	50
Радиусы вертикальных кривых, м:	
рекомендуемые:	
выпуклых кривых.....	70000
вогнутых кривых.....	8000
допускаемые при скорости 100 км/ч:	
выпуклых кривых.....	10000
вогнутых кривых.....	3000
допускаемые при скорости 80 км/ч:	
выпуклых кривых.....	5000
вогнутых кривых.....	2000
допускаемые в особо трудных условиях рельефа (в горной и сильно пересеченной местности) при скорости 60 км/ч:	
выпуклых кривых.....	2500
вогнутых кривых.....	1500
Минимальная длина вертикальной кривой, м:	
выпуклой.....	300
вогнутой.....	100
Алгебраическая разность смежных уклонов, при которой перелом проектной линии должен сопрягаться вертикальной кривой .....	10 и более

Наименьшее расстояние видимости при скорости 100 км/ч, м:	
для остановки .....	200
встречного автомобиля.....	350
Минимальный уклон проектной линии в выемках, ‰ .....	5

### 3.5.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

После подготовки исходных данных приступаем к установлению наивыгоднейшего положения проектной линии. Наивыгоднейшим можно считать такое положение проектной линии, при котором обеспечиваются требования строительных норм, а отметки контрольных точек соответствуют расчетным.

Нанесение проектной линии начинаем со сложных участков, где требуется *смягчение* резких переломов продольного профиля путем вписывания в них вертикальных кривых. Участок с ПК19 до ПК31, где трасса пересекает два лога с достаточно крутыми склонами, является наиболее сложным и требует проработки вариантов положения проектной линии. Поэтому решение задачи отыскания наивыгоднейшего положения проектной линии на данном участке рассмотрим подробно.

#### *Нанесение проектной линии с помощью лекал–шаблонов*

На участке трассы ПК19 – ПК31 проектную линию наносим с помощью специальных лекал в такой последовательности (рис. 3.6).

1. На продольном профиле, вычерченном по отметкам поверхности земли, намечаем ориентировочное положение отметок контрольных точек (в местах пересечения логов на ПК22 и ПК28+75).

2. Помня, что проектная линия на контрольных точках не может проходить ниже обозначенных отметок, подбираем шаблон для каждого перелома профиля, где разность смежных уклонов более 10 ‰. Срез шаблона должен по возможности повторять рельеф местности на проектируемом участке, а радиус шаблона должен быть не менее допускаемого СНиП (прил. 2, табл.1). На проектируемом участке рис. 3.6 такими оказались лекала радиусов  $R=4000$  м,  $R=5000$  м и  $R=6000$  м.

3. Уклон первого прямолинейного участка назначаем  $i=40$  ‰, поэтому нисходящую ветвь первой вертикальной (вогнутой) кривой начинаем вычерчивать с того же уклона 40 ‰ (на шаблоне штрих с цифрой 40). Эта точка является точкой стыкования прямолинейного участка с кривой  $R=4000$  м.

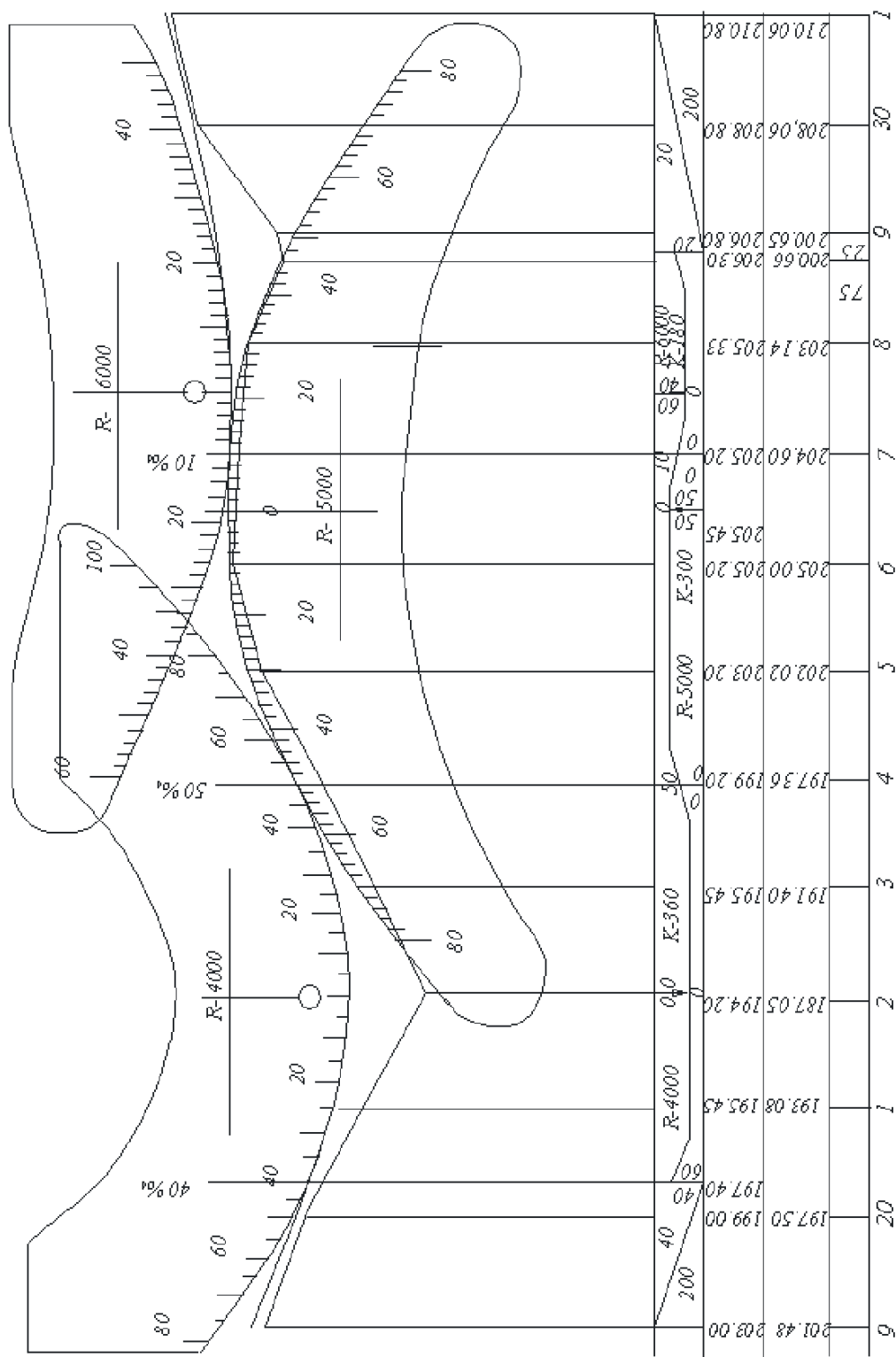


Рис. 3.6. Фрагмент продольного профиля, запроектированного вертикальными кривыми (вариант без устройства выемки)

4. Следующую кривую ( $R=5000$  м) начинаем вычерчивать от точки стыкования первой и второй кривых: от точки с уклоном 50 ‰ до точки стыкования второй и третьей кривых с уклоном касательной к кривой  $i=10$  ‰.

5. Вычерчивание третьей кривой начинаем от точки с уклоном  $i=10$  ‰ и заканчиваем в точке с уклоном  $i=20$  ‰ (на восходящей ветви кривой радиуса  $R=6000$  м), т.е. в точке стыкования кривой с прямолинейным участком, уклон которого  $i=20$  ‰ назначен в соответствии с фактическим уклоном на местности.

Ориентируясь на точки стыкования элементов проектной линии, усиливаем ее изображение сплошной толстой линией.

Заканчиваем вычерчивание первой вертикальной кривой в точке с допусаемым уклоном  $i=50$  ‰.

Положение проектной линии, обозначенное на рис.3.6, является одним из возможных вариантов проектирования данного участка дороги. Но такой вариант нельзя считать наилучшим по следующей причине: выпуклая вертикальная кривая запроектирована радиусом  $R=5000$  м, т.е. меньше допусаемого для дорог III категории. Поэтому выполнен второй вариант проектирования этого же участка, а именно с устройством выемки (рис. 3.7). Здесь два прямолинейных участка запроектированы с одинаковыми уклонами  $i_1=i_2=22$  ‰. Данные участки сопрягаются посредством вогнутой вертикальной кривой  $R=5000$  м. Вписывание вертикальной кривой по шаблону выполняется так же, как на рис. 3.6 и не требует дополнительных пояснений.

### ***Заключение***

Вариант проектной линии, представленный на рис. 3.7, отвечает требованиям строительных норм по основным показателям: радиус вогнутой вертикальной кривой больше минимально допусаемого ( $R_{дон}=3000$  м). Продольные уклоны в прямом и обратном направлениях не превышают 22 ‰, что позволит обеспечить безопасное движение автомобилей без снижения расчетной скорости. Поэтому данный вариант положения проектной линии принимаем для дальнейшего проектирования продольного профиля как наиболее эффективный для эксплуатации дороги.

*Расчет вертикальных кривых по формулам* покажем на примере первого участка дороги, где назначена выпуклая вертикальная кривая  $R=23700$  м (см. прил. 4). Уклон в начальной точке кривой  $i_1=38$  ‰; конечной  $i_2=22$  ‰.

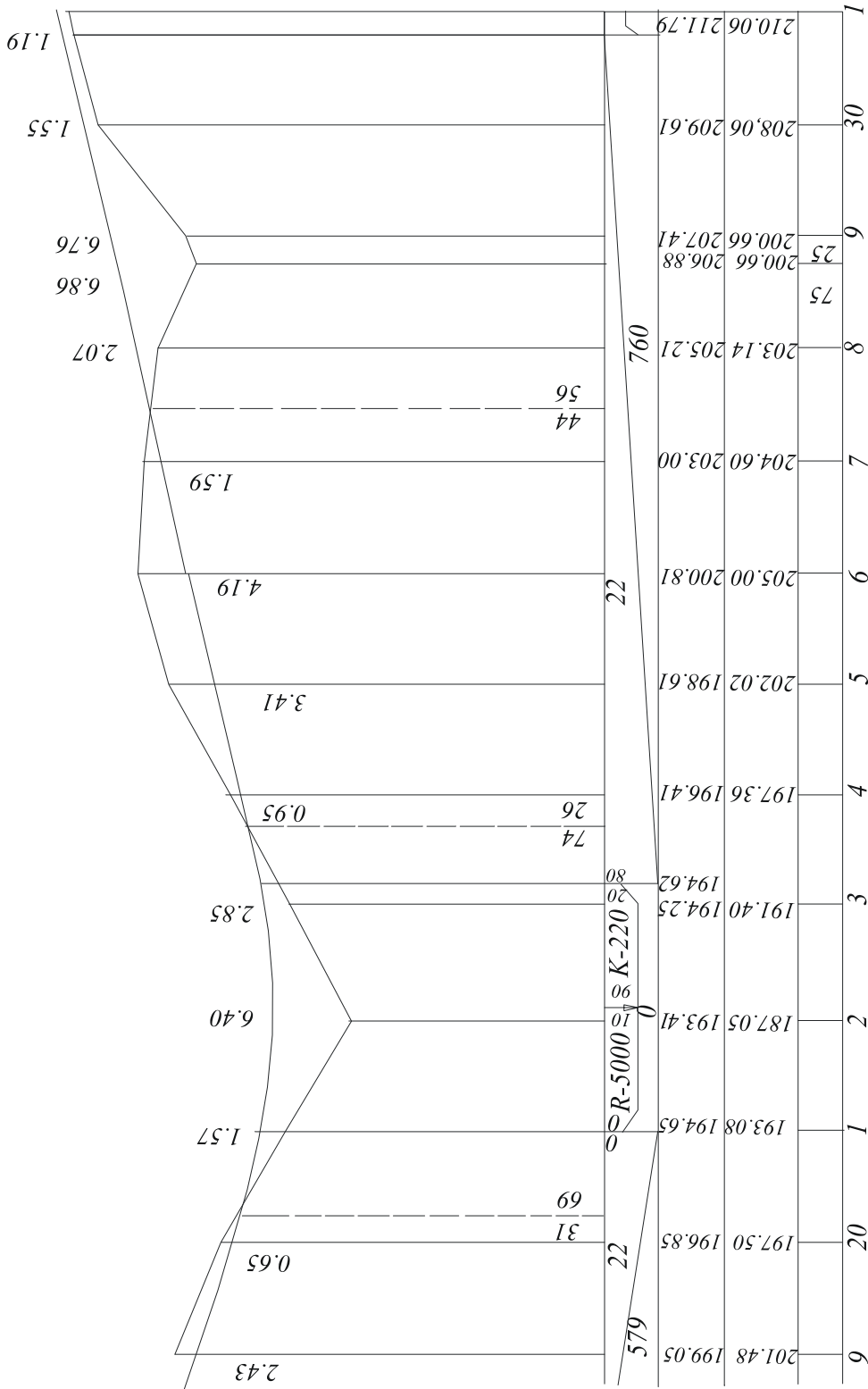


Рис. 3.7. Фрагмент продольного профиля, запроектированного с устройством выемки

**Последовательность решения**

1. Определяем пикетажное положение связующих точек (*НВК*, *КВК*, *ВВК*), начиная с вершины кривой (середины кривой):

– вычисляем расстояние от середины кривой до точки с известным уклоном  $i_1=0,038$ , расположенной слева от вершины. С учетом правила знаков (см. п. 3.4.3) по формуле (3.10) имеем:

$$l_1 = - [0,038 (-23700)] = +900,60,$$

– определяем пикетажное положение вершины:

$$\text{ПК}0 + 900,60 = \text{ПК}9 + 00,60,$$

– определяем расстояние от вершины до точки с уклоном  $i_2 = 22 \text{ ‰}$ , расположенной справа от вершины, по формуле (3.9):

$$l_2 = (-0,022) (-23700) = +521,40 = \text{ПК}5 + 21,40,$$

– находим пикетажное положение конца кривой:

$$\text{КВК} = \text{ВВК} + l_2 = \text{ПК}9 + 00,60 + \text{ПК}5 + 21,40 = \text{ПК}14 + 22,00;$$

– вычисляем длину кривой:  $K = 900,60 + 521,40 = 1422 \text{ м}$ .

2. Определяем превышения и проектные отметки связующих точек.

Поскольку начало кривой  $R=23000 \text{ м}$  совпадает с началом трассы, то вычисление проектных отметок начинаем с ПК0, где необходимо назначить рабочую отметку, равную руководящей. Согласно ранее выполненным расчетам  $H_{рук} = 1,6 \text{ м}$ . Следовательно, проектная отметка ПК0 равна:  $196,50 + 1,6 = 198,10$ . Далее определяем превышение вершины над левой точкой с уклоном  $i_1 = 38 \text{ ‰}$  (над точкой ПК0). Искомое превышение определяем по формуле (3.13). С учетом правила знаков имеем:

$$h_1 = 0,038^2 \cdot 23700 / 2 = 17,11 \text{ м}.$$

Проектную отметку вершины кривой определяем как сумму первой проектной отметки (ПК0) и превышения  $h_1$ :

$$198,20 + 17,11 = 215,31.$$

Превышение вершины над точкой с уклоном  $i_2 = 22 \text{ ‰}$ , расположенной справа от вершины вертикальной кривой  $R=237000 \text{ м}$ , находим по формуле (3.12):

$$h_2 = 0,022^2 \cdot (-23700) / 2 = -5,73 \text{ м}.$$

Проектная отметка конечной точки кривой равна:

$$215,31 - 5,73 = 209,57.$$

3. Определяем превышения и проектные отметки промежуточных точек, расположенных в пределах вертикальной кривой.

Расчеты выполняем всегда относительно вершины кривой.

Первой промежуточной точкой является ПК9+00 (см. прил. 4). Расстояние от вершины кривой до данной точки равно  $0,6 \text{ м}$ . При



столь малом расстоянии и  $R=23700$  м превышение вершины над точкой ПК9+00 практически равно нулю. Поэтому сразу вычисляем превышение вершины над точкой ПК8+00. При расстоянии от вершины до ПК8+00, равном 100,6 м, превышение вершины вычисляем по формуле (3.15):

$$h_{ПК8} = -100,6^2 / (2 \cdot 23700) = -0,21.$$

Проектная отметка ПК8+00 равна:

$$215,31 - 0,21 = 215,10.$$

Превышение вершины над промежуточной точкой ПК7 определяем аналогично, учитывая что  $l_2=200,6$  м:

$$h_{ПК7} = -200,6^2 / (2 \cdot 23700) = -0,85.$$

Проектная отметка ПК7 равна:

$$215,31 - 0,85 = 214,46.$$

Превышение прочих промежуточных точек, расположенных слева от вершины, вычисляем аналогично по формуле (3.15), а превышения промежуточных точек, расположенных справа от вершины, по формуле (3.14). При этом соблюдаем правило знаков: превышения положительны, если последующая точка выше предыдущей, и отрицательны в противном случае. Вычисленные проектные, а затем и рабочие отметки записываем в соответствующих графах продольного профиля.

Рабочую отметку вычисляем как разность между проектной отметкой и отметкой земли:  $H_p = H_{пр} - H_z$ .

Полученные рабочие отметки сравниваем с руководящей. Если окажется, что рабочие отметки промежуточных точек меньше руководящей ( $H_p < H_{рук}$ ), тогда необходимо внести коррективы в проектные решения (изменить радиус и пр.) При соблюдении условия  $H_p \geq H_{рук}$  приступают к проектированию следующего участка.

### Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы проектирования продольного профиля? Укажите условия применения каждого из них.
2. От чего зависит руководящая отметка при проектировании продольного профиля; как влияет вид грунта на её величину?
3. Как влияет уровень грунтовых вод (УГВ) на положение проектной линии?
4. С какой целью устраивают на продольном профиле вертикальные кривые (выпуклые и вогнутые)?
5. Укажите условия назначения выпуклых и вогнутых вертикальных кривых.

## 4. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

### 4.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ЗЕМЛЯНОМУ ПОЛОТНУ

#### 4.1.1. ЭЛЕМЕНТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

К земляному полотну относится вся часть полосы отвода, затронутая земляными работами. Земляное полотно включает следующие элементы:

- насыпь или выемку (в зависимости от положения проектной линии);
- резервы притрассовые;
- боковые канавы или кюветы (в выемке);
- банкеты и кавальеры, расположенные на крутом склоне.

Элементы земляного полотна в насыпи и выемке показаны на рис. 4.1.

*Рабочий слой земляного полотна* (подстилающий грунт) – верхняя часть земляного полотна в пределах от низа дорожной одежды до  $2/3$  глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия.

*Основание насыпи* – массив грунта в условиях естественного залегания, располагающийся ниже насыпного слоя, а при низких насыпях – и ниже границы рабочего слоя.

*Основание выемки* – массив грунта ниже границы рабочего слоя.

Боковые стороны тела насыпи – *откосы* – представляют собой правильно спланированные плоскости.

В выемках и боковых канавах различают внутренний и внешний откосы. Внутренние откосы неглубоких выемок и канав устраивают по возможности пологими – для съезда автомобилей в аварийных случаях.

Линия сопряжения поверхностей обочин и откосов насыпи – бровка земляного полотна, а расстояние между бровками условно называют *шириной земляного полотна*.

В выемке бровкой является линия сопряжения поверхностей обочины и внутреннего откоса кювета (см. рис. 4.1, б).

*Полоса безопасности* – специально подготовленный участок дорожного полотна, примыкающий к границе проезжей части, который допускает регулярные заезды транспортных средств для избегания аварийных ситуаций.

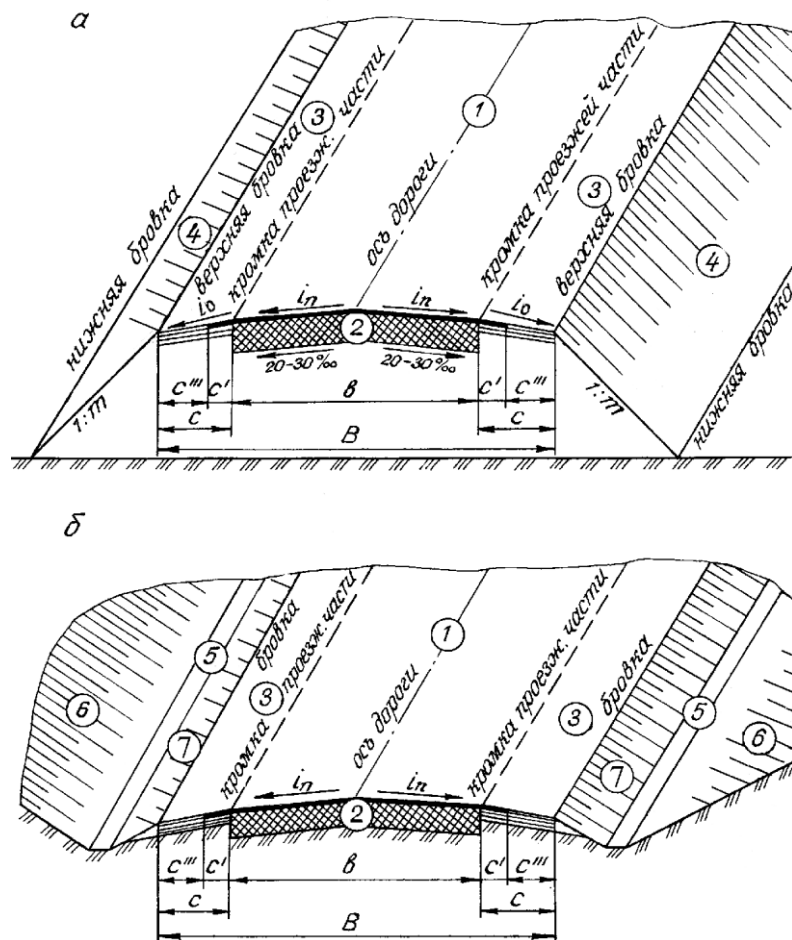


Рис. 4.1. Элементы земляного полотна:

*a* – в насыпи; *б* – в выемке; 1 – проезжая часть; 2 – дорожная одежда; 3 – обочина; 4 – откос насыпи; 5 – дно канавы в выемке; 6 – внешний откос выемки; 7 – внутренний откос выемки;  $B$  – ширина земляного полотна;  $b$  – ширина проезжей части;  $c$  – ширина обочины;  $c'$  – ширина укрепленной полосы на обочинах;  $c''$  – ширина полос прочих видов укрепления на обочинах

*Проезжая часть* – основной элемент дороги, предназначенный для непосредственного движения транспортных средств. *Стояночная полоса* – укрепленная часть поверхности земляного полотна, предназначенная для остановки и стоянки на ней транспортных средств, обозначенная специальными дорожными знаками. Обочины используются для временной стоянки автомобилей и для размещения дорожно-строительных материалов во время ремонта.

*Краевая полоса* – полоса обочины, предназначенная для защиты от разрушения кромки проезжей части и допускающая регулярные заезды на нее транспортных средств.

*Грунтовая часть обочины автомобильной дороги* – часть обочины, не имеющая дорожной одежды.

На дорогах I категории движение организуется отдельно для каждого направления, с этой целью устраивают самостоятельные проезжие части, а между проезжими частями – разделительную полосу. Такая конструкция обеспечивает высокий уровень удобства и безопасности движения.

#### 4.1.2. ТРЕБОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМ К ЗЕМЛЯНОМУ ПОЛОТНУ

Земляное полотно следует проектировать с учетом категории дороги, типа дорожной одежды, высоты насыпи (глубины выемки), свойств грунтов, используемых в земляном полотне, особенностей природно-климатических, инженерно-геологических и других условий, а также с учетом условий максимального сохранения ценных земель и наименьшего ущерба окружающей природной среде.

*Грунты для сооружения земляного полотна* следует применять с учетом их свойств и состояния.

Степень пригодности грунтов для устройства земляного полотна необходимо определять, ориентируясь на классификационные признаки, установленные СНиП 2.05.02–85\*, и расчетные характеристики того или другого вида грунта по величине морозного пучения, по просадочности, набуханию, влажности и другим показателям.

Особое внимание следует обращать на характеристики грунтов для рабочего верхнего слоя земляного полотна.

Верхнюю часть земляного полотна (рабочий слой) на глубину 1,2 м от поверхности цементобетонных покрытий и на глубину 1,0 м от поверхности асфальтобетонных покрытий во II ДКЗ и на 1,0 и 0,8 м соответственно в III ДКЗ следует отсыпать из непучинистых и слабопучинистых грунтов. Классификация грунтов по степени пучинистости и величина морозного пучения различных видов грунта представлены в прил. 3, табл. 3, 4, 5, а условия применения в рабочем слое земляного полотна – в прил. 3, табл. 6.

В условиях IV – V ДКЗ рабочий слой должен состоять из ненабухающих и непросадочных грунтов на глубину 1,0 и 0,8 м от поверхности соответственно цементобетонного и асфальтобетонного покрытий. Дорожно-климатическая зона (ДКЗ) устанавливается по карте прил. 1.

Не допускается использовать в рабочем слое грунты, отнесенные к *группе особых*: торфяные и заторфованные, сапропели, илы, лёссы, глинистые сланцы, черноземы, мергели, глинистые мергели и мергелистые глины, трепел, пески барханные, иольдевые глины, аргиллиты и алевролиты, черноземы, а также техногенные грунты (отходы промышленности). Нельзя использовать в рабочем слое и так называемые слабые грунты.

Земляное полотно в насыпях на основании из слабых грунтов проектируется с учетом дополнительных требований СНиП 2.05.02–85 (п. 6.30). К слабым относятся основания, в пределах активной зоны которых имеются слои слабых грунтов мощностью не менее 0,5 м. Мощность активной зоны принимают ориентировочно равной ширине насыпи по низу. К слабым грунтам следует относить связные грунты, имеющие модуль деформации ниже 0,5 МПа: торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции свыше 0,5, иольдиевые глины, грунты мокрых солончаков и др.

Дренирующие грунты могут использоваться в рабочем слое без ограничения.

Влажность грунтов земляного полотна должна быть в пределах допускаемой (прил. 3, табл. 2).

#### *Земляное полотно в насыпях*

Конструкции земляного полотна следует проектировать по типовым материалам «Союздорпроекта» с индивидуальной привязкой к характерному участку.

Возведение насыпей должно предусматриваться преимущественно из грунтов выемок и сосредоточенных резервов, а при прохождении дорог по малоценным угодьям – и из грунтов резервов. Если резервы располагаются на обрабатываемых (пахотных) землях, наружные откосы резервов уполаживают до крутизны не более 1:6 с последующим прикрытием дна и откосов резервов растительным грунтом (с последующей рекультивацией). На особо ценных угодьях притрассовые резервы не устраиваются.

При возведении насыпей из каменного материала, являющегося продуктом разработки выемок или процессов выветривания, верхний выравнивающий слой насыпи возводят из наиболее мелкого камня, приближающегося по своим размерам к размеру щебня основания покрытия (крупность обломков не более 0,2 м).

Как правило, насыпи следует возводить из однородных грунтов. При использовании неоднородных грунтов должны соблюдаться следующие условия:

- поверхность слоев *из менее дренирующих грунтов*, располагаемых под слоями из более дренирующих грунтов, должна иметь уклон в пределах от 40 до 100 ‰ от оси насыпи к краям;
- поверхность слоев *из более дренирующих грунтов*, располагаемых под слоями из менее дренирующих, должна быть горизонтальной;
- откосы из более дренирующих грунтов не должны прикрываться менее дренирующими;
- возведение насыпей из неоднородных грунтов, состоящих из песка, суглинка и гравия, допускается в виде естественной карьерной смеси.

При проектировании насыпей из грунтов, влажность которых превышает допустимую (прил. 3, табл. 2), необходимо предусмотреть специальные мероприятия, обеспечивающие устойчивость земляного полотна: осушение естественным путем или обработкой активными веществами типа негашеной извести, активных зол уноса и другие мероприятия, предусмотренные п. 6.31 и 6.42 СНиП 2.05.02–85.

На сопряжении с мостами насыпи *на длине поверху* не менее высоты насыпи плюс 2 м (считая от устоя) и *по низу* не менее 2 м необходимо проектировать из непучинистых дренирующих грунтов. К дренирующим относятся грунты с коэффициентом фильтрации не менее 0,5 м/сут при максимальной плотности при стандартном уплотнении.

Насыпи *на затопляемых пойменных участках*, пересечении водоемов и подходах к мостовым сооружениям следует проектировать с учетом волнового воздействия, а также гидростатического и эрозионного воздействия воды в период подтопления. Для обеспечения возможности ремонта и укрепления откосов в период эксплуатации на таких участках допускается предусматривать устройство берм шириной не менее 4 м. Конструкция насыпи на поймах рек показана на рис. 4.2 (типовое решение «Союздорпроекта»).

На болотах земляное полотно следует проектировать на основе технико-экономического сравнения вариантов с учетом требований п. 6.30 и 6.40 строительных норм [3]. Допускается выполнять проектирование насыпей по типовым решениям при глубине болот до 6 м и высоте насыпей до 3 м [16].

### *Земляное полотно в выемках*

При проектировании выемок по типовым решениям необходимо руководствоваться следующими нормативными требованиями:

– выемки глубиной до 1 м следует проектировать раскрытыми или разделанными под насыпь (в целях предохранения от снежных заносов);

– выемки глубиной от 1 до 5 м на снегозаносимых участках следует проектировать с крутыми откосами (1:1,5 – 1:2) и дополнительными полками или обочинами шириной не менее 4 м;

– выемки глубиной более 2 м в мелких и пылеватых песках, переувлажненных глинистых грунтах, легковыветривающихся или трещиноватых скальных породах и других сложных условиях следует проектировать в соответствии с п. 6.37 и п. 6.45 СНиП 2.05.02–85.

Излишний грунт из выемок на дорогах всех категорий следует по возможности использовать для уполаживания откосов земляного полотна насыпей, для устройства съездов, площадок отдыха, автобусных остановок, засыпки пониженных мест, оврагов, тальвегов и для улучшения форм рельефа.

В выемках, расположенных в пучинистых и сильнопучинистых грунтах, необходимо предусматривать *замену грунта* под дорожной одеждой.

При проектировании выемок, относящихся к объектам индивидуального проектирования, следует выполнять расчеты по оценке общей и местной устойчивости откосов и разрабатывать мероприятия по устройству дренажей, защитных слоев из стабильных материалов, укреплению откосов и т.п. [3].

### *Откосы земляного полотна*

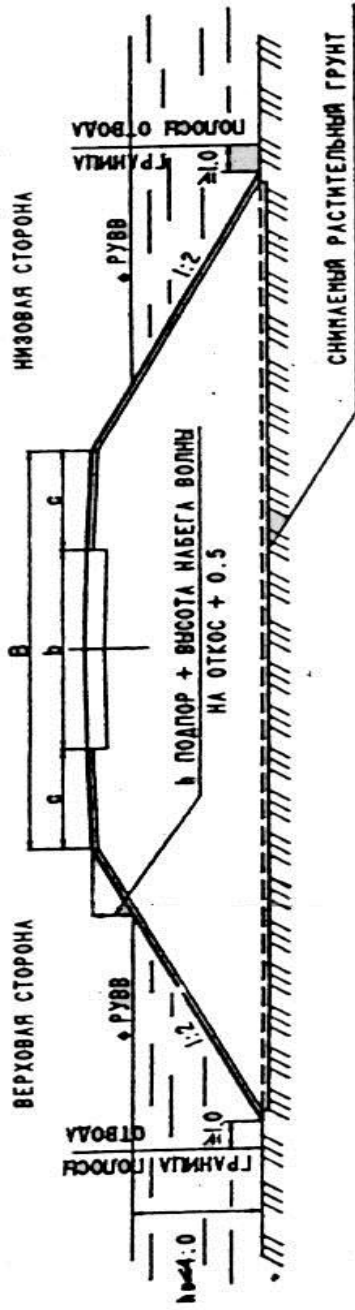
Устойчивость земляного полотна, безопасность движения и другие характеристики дороги в значительной степени зависят от крутизны откосов. Поэтому, назначая крутизну откосов, необходимо учитывать высоту насыпи (глубину выемки), тип грунта, ценность занимаемых земель и т.д.

Крутизна откосов характеризуется коэффициентом заложения  $m$ :

$$m = H/l, \quad (4.1)$$

где  $H$  – высота откоса, м;  $l$  – горизонтальная проекция откоса (заложение), м.

ТИП 1-Р



ТИП 2-Р

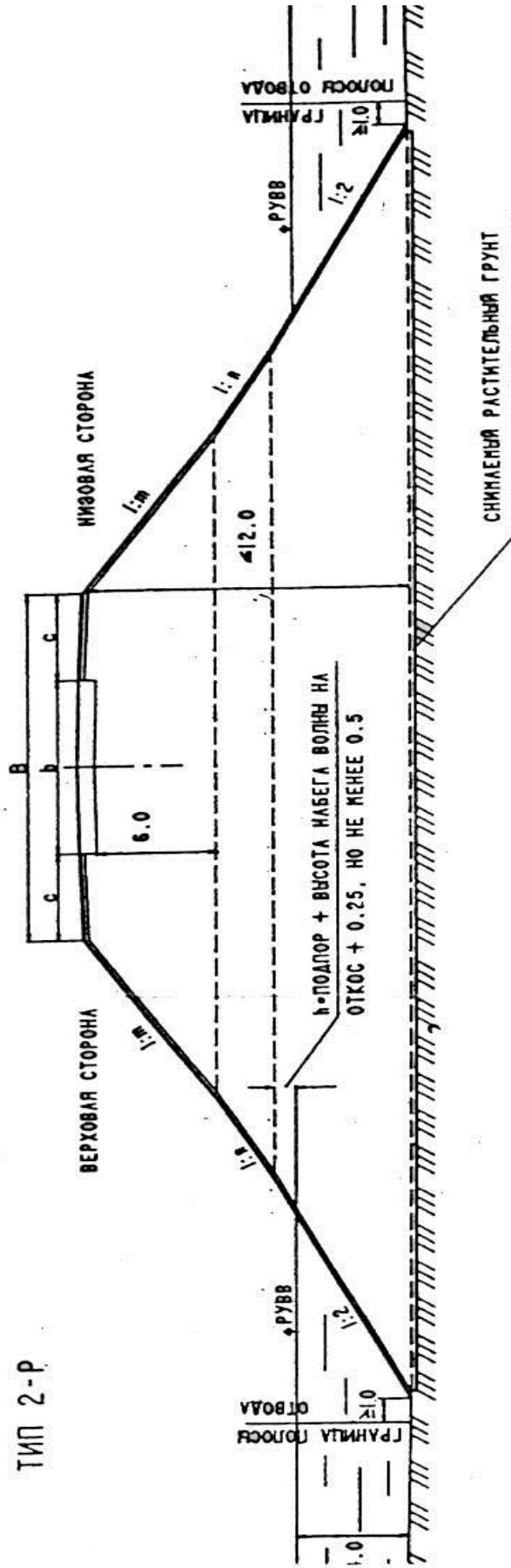


Рис. 4.2. Поперечные профили насыпи на поймах рек (типовое решение «Союздорпроект»)



Крутизну откосов насыпей с высотой откоса до 3 м на дорогах I – III категорий следует назначать с учетом безопасного съезда транспортных средств в аварийных ситуациях, как правило, не круче 1:4, на дорогах IV – V категорий при высоте откоса до 2 м – не круче 1:3.

На ценных землях допускается увеличение крутизны откосов до предельных значений, представленных в прил. 2, табл. 5а, с разработкой мероприятий по обеспечению безопасности движения.

Укрепление откосов насыпей, как правило, должно быть выполнено методами травосеяния или одерновки. Целесообразность более капитальных методов укрепления откосов должна обосновываться технико-экономическими расчетами.

Крутизну откосов выемок глубиной до 1 м (раскрытые выемки) следует назначать от 1:5 до 1:10. Откосы глубоких выемок (от 1 до 5 м) следует назначать более крутыми (1:1,5 – 1:2). Наибольшая крутизна откосов выемок установлена в зависимости от высоты откосов (прил. 2, табл. 5б).

Высота откоса насыпи при отсутствии косогорности определяется как разность отметок верхней и нижней бровок земляного полотна.

При наличии косогорности высота откоса насыпи равна разности отметок верхней и нижней бровок низового откоса (рис. 4.3, а).

Высота откоса выемки также равна разности отметок верхней и нижней бровок откоса, но при наличии косогорности в расчет принимают верховой откос (рис. 4.3, б).

*Отметки верхних бровок насыпи* равны проектной отметке по оси дороги, если на местности отсутствует косогорность.

При наличии косогорности отметки нижних бровок насыпи и выемки определяют в зависимости от наклонных расстояний от оси дороги  $l_1$  и  $l_2$ .

При крутизне естественного склона меньше чем 1:10 (угол  $\gamma \approx 6^\circ$ ) величины  $l_1$  и  $l_2$  можно вычислить по упрощенным формулам:

– для низового откоса насыпи расстояние  $l_2$  в сторону понижения склона равно:

$$l_2 = (B/2 + mH_0)n_{ск} / (n_{ск} - m), \quad (4.2)$$

где  $m$  – коэффициент заложения низового откоса насыпи;  $H_0$  – рабочая отметка по оси дороги на уровне бровки,  $m$ ;  $n_{ск}$  – коэффициент заложения естественного склона;

– для верхового откоса насыпи (в сторону повышения склона):

$$l_1 = (B/2 + mH_0)n_{ск} / (n_{ск} + m). \quad (4.3)$$

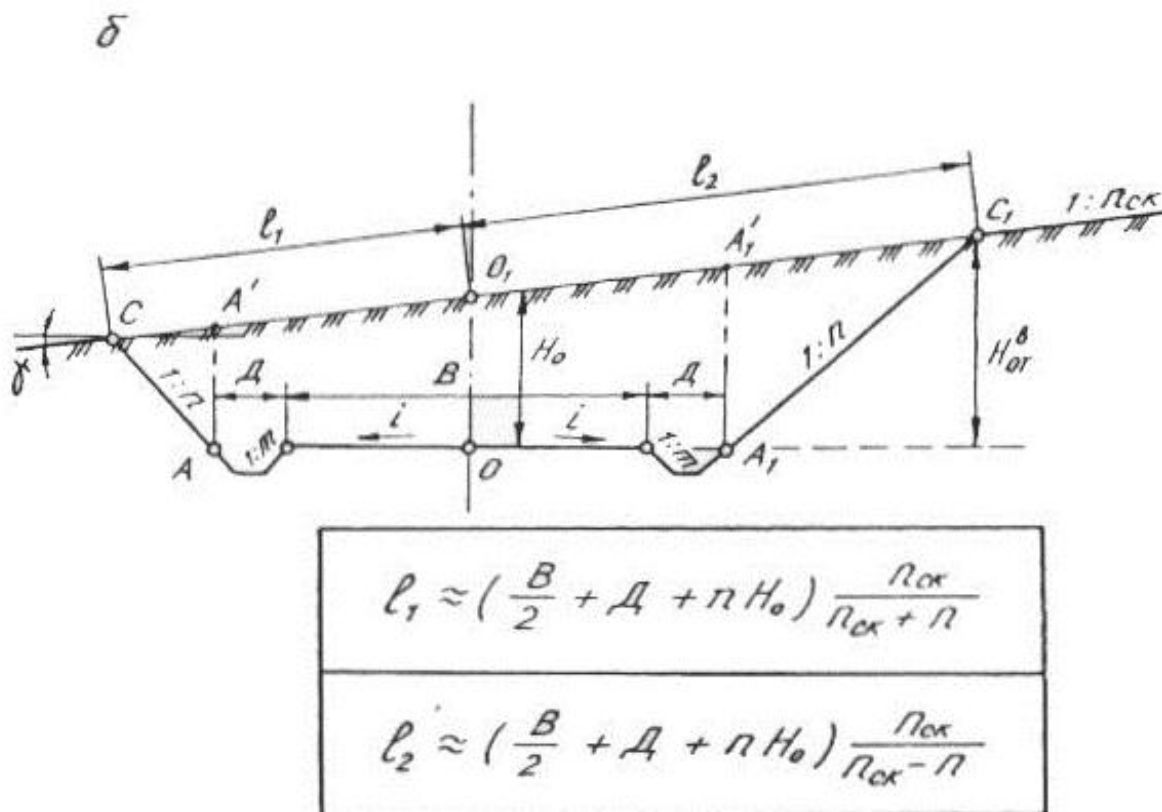
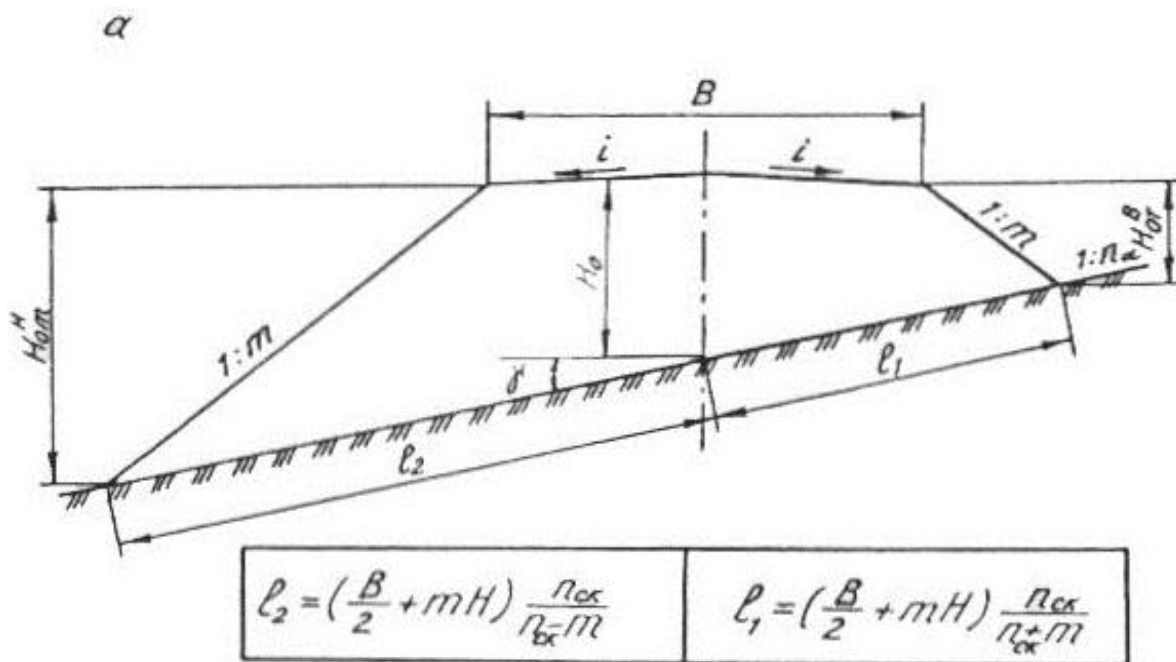


Рис. 4.3. Расчетная схема для определения наклонных расстояний от оси до бровки земляного полотна: *a* – насыпи; *б* – выемки

При обозначениях, принятых на рис. 4.3, отметка нижней бровки *низового откоса* насыпи равна:

$$H''_{бр} = H_3 - l_2 i_{ск} / 10^3, \quad (4.4)$$

где  $H_3$  – отметка поверхности земли по оси дороги, м;

$i_{ск}$  – уклон естественного склона, ‰.

Отметка *нижней бровки* верхового откоса насыпи

$$H'_{бр} = H_3 - l_1 i_{ск} / 10^3. \quad (4.5)$$

Для выемки *наклонные расстояния* от оси дороги до верхней бровки выемки можно определить по упрощенным формулам:

– в сторону понижения склона (см. рис. 4.3, б)

$$l_1 = (B/2 + D + n H_0) n_{ск} / (n_{ск} + n), \quad (4.6)$$

– в сторону повышения склона

$$l_2 = (B/2 + D + n H_0) n_{ск} / (n_{ск} - n), \quad (4.7)$$

где  $D$  – ширина кювета поверху, м;  $n$  – коэффициент заложения внешних откосов выемки.

Отметки бровок выемки определяют так же, как и для насыпи (в зависимости от отметки поверхности земли по оси дороги и крутизны склона), в соответствии с расчетной схемой рис. 4.3, б.

## 4.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Проектирование земляного полотна состоит из следующих этапов:

– сбор исходной информации, необходимой для конструирования земляного полотна (природно-климатические и другие условия, а также проектные решения, принятые на продольном профиле);

– выбор типовой конструкции земляного полотна применительно к исходным условиям и с учетом требований строительных норм;

– привязка типовой конструкции земляного полотна к конкретному его пикетажному положению;

– вычисление площадей поперечных сечений насыпи, выемки, резервов, канав, кюветов, banquetов, растительного грунта;

– вычисление объемов земляных работ.

Поперечные профили земляного полотна следует проектировать *по типовым* материалам. Типовые решения, применяемые на устойчивых естественных основаниях в равнинной, пересеченной, горной местностях или в толще устойчивых склонов и прочих «обычных»

условиях, представлены в материалах для проектирования «Союздор-проекта» [16].

Индивидуальные проектные решения следует принимать при соответствующих обоснованиях для условий, отнесенных СНиП 2.05.02–85 (п. 6.4) к особо сложным: для насыпей и выемок с высотой откоса более 12 м; для насыпей на участках временного подтопления и слабых основаниях; при использовании в насыпи грунтов повышенной влажности; для насыпей и выемок, сооружаемых в сложных инженерно-геологических условиях (на косогорах круче 1:3, на участках с наличием или возможным развитием оползневых и других опасных явлений).

Индивидуально должны проектироваться также водоотводные, дренажные, поддерживающие и другие сооружения, обеспечивающие устойчивость земляного полотна в сложных условиях, а также участки сопряжения земляного полотна с мостами и путепроводами.

#### 4.2.1. ПРАВИЛА ВЫЧЕРЧИВАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Чертежи поперечных профилей земляного полотна с индивидуальной привязкой и типовые конструкции входят в состав рабочих чертежей проекта (основной комплект рабочих чертежей марки АД) и оформляются по ГОСТ Р21.1701–97 [9].

Поперечный профиль земляного полотна выполняют с учетом данных, приведенных в таблице-сетке, помещаемой под профилем (рис. 4.4).

При размещении на листе двух и более поперечных профилей боковой таблицы допускается наносить только у первого поперечного профиля. Вычерчивают поперечные профили в масштабах 1:200 (основной) или 1:100 (допускаемый).

Высоты и отметки уровней указывают на чертежах с точностью до сантиметра, величину уклонов – в промилле без обозначения единицы измерения, крутизну откосов – в виде отношения высоты к горизонтальной проекции откоса: например, 1:1,5; 1:3.

На поперечном профиле земляного полотна показывают:

- ось проектируемого земляного полотна;
- линию фактической поверхности земли и линии ординат от точек ее переломов;

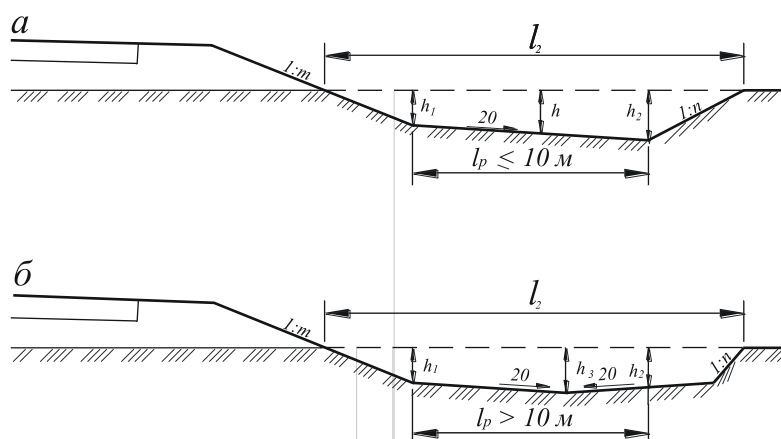


Рис. 4.4. Сетка для вычерчивания поперечных профилей по ГОСТ Р.21.1710–97

- контуры проектируемого земляного полотна и водоотводных сооружений, линии ординат от точек их переломов;
- контур срезки плодородного слоя, удаления торфа, непригодного грунта;
- инженерные коммуникации, их обозначение, наименование и отметки уровней, на которых они проложены;
- контур проектируемой поверхности дорожного покрытия и отметки уровней в точках ее переломов;
- границы полосы отвода земель (показывают при необходимости);
- привязку поперечного профиля к пикету.

Над боковиком поперечных профилей, привязанных к конкретному пикетажному положению, приводят числовые значения площадей поперечных сечений: насыпей  $F_n$ , выемок  $F_v$ , канав и кюветов  $F_k$ , срезки грунта  $F_{cp}$ , банкетов  $F_b$  с указанием обозначений групп слоев грунта в соответствии с классификацией по трудности разработки.

Поперечные профили *конструкций* земляного полотна и дорожной одежды выполняют без боковика. Симметричные поперечные профили конструкций, как правило, изображают до оси симметрии.

На конструкции земляного полотна показывают:

- конструкцию дорожной одежды (схематично);
- элементы укрепления обочин, откосов и водоотводных сооружений (схематично);
- контур и величину срезки плодородного слоя, удаления торфа и замены непригодного грунта;
- дренажные устройства и их обозначения (схематично);
- выносные элементы (узлы, фрагменты);
- границу полосы отвода земель (при необходимости).

Поперечные профили конструкций земляного полотна, различающиеся конфигурацией, высотой насыпи или глубиной выемки, крутизной откосов или другими показателями, обозначают: Тип 1, Тип 2 и т.д.

Номер *типа* поперечного профиля показывают в таблице-сетке *под продольным профилем* (см. рис. 3.1).

Конструкцию дорожной одежды представляют, как правило, на выносном элементе, где дополнительно показывают:

- элементы конструкции дорожной одежды: проезжей части, укрепительных полос. Выносные надписи к многослойной конструкции одежды выполняют по ГОСТ 21.101;
- границы участков дороги, на которых применены различные типы дорожной одежды.

#### 4.2.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ БОКОВЫХ РЕЗЕРВОВ

Боковые резервы назначают во всех случаях, когда они не нарушают общей планировки местности, а грунт пригоден для возведения насыпей. Как правило, резервы назначают только с одной стороны. При односторонних резервах ширина полосы отвода существенно меньше, чем при двусторонних, и это немаловажно в стесненных условиях местности. Кроме того, при односторонних резервах меньше объемы работ по снятию почвенно-растительного слоя. Резервы можно предусматривать с двух сторон, если грунта из одного резерва недостаточно для устройства насыпи. При этом косогор не должен быть круче чем 1:10. При косогоре от 1:10 до 1:5 резервы проектируются только с верхней стороны.

Глубину резерва принимают не более 1,5 м; при высоком залегании грунтовых вод глубина резерва должна быть минимальной, но не меньше 0,3 м. Дно резерва следует проектировать односкатным, с поперечным уклоном не менее 20 ‰, если ширина дна не более 10 м; при ширине дна более 10 м – двускатным с уклонами 20 ‰ к середине. Продольный уклон резерва должен назначаться не менее 3‰.

Крутизну внутреннего откоса резерва принимают равной крутизне откоса насыпи. Если устраивается берма (на косогоре крутизной от 1:10 до 1:5), крутизна внутреннего откоса может быть принята 1:1,5.

Крутизну внешнего откоса резерва назначают 1:4–1:6. В стесненных условиях (при необтекаемом очертании поперечного профиля) крутизну внешнего откоса принимают 1:1,5.

Определение ширины резервов

Ширину боковых резервов определяют из условия равенства площадей резерва  $F_p$  и насыпи  $F_n$ . Если резерв назначают с одной стороны, тогда принимают  $F_n = F_p$ ; при двусторонних резервах  $F_n = 2F_p$ .

Средняя площадь сечения насыпи с поправкой на устройство дорожной одежды, краевых полос и укрепления обочин равна:

$$F_n = BH_{cp} + mH_{cp}^2 - (v + 2c')h_{д.о} - 2c'''h_y, \quad (4.8)$$

где  $B$  – ширина земляного полотна, м;  $v$  – ширина проезжей части, м;  $c'$  – ширина укрепленной части обочин (краевой полосы), м;  $h_{д.о}$  – толщина дорожной одежды, м;  $c'''$  – ширина обочины за краевой полосой, м;  $h_y$  – толщина укрепления обочин за краевой полосой, м.

В соответствии с обозначениями на рис. 4.5 площадь резерва равна:

$$F_p = l_p h + \frac{h^2}{2}(m+n), \quad (4.9)$$

где  $l_p$  – ширина резерва понизу, м;  $m$  и  $n$  – соответственно коэффициенты заложения внутреннего и внешнего откосов резервов.

При средней глубине резерва  $h$ , м, ширина одностороннего резерва по низу равна:

$$l_p = \frac{F_{cp}}{h} - \frac{h}{2}(m+n). \quad (4.10)$$

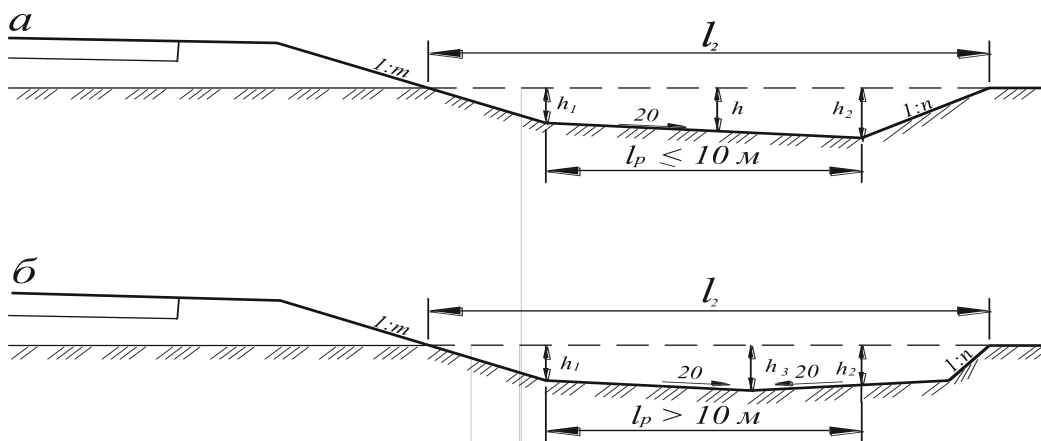


Рис. 4.5. Схема для расчета параметров резерва:  
 а – одностатный при  $l_p < 10$  м; б – двустатный при  $l_p > 10$  м

При двусторонних резервах, т.е. при  $F_{cp}=2F_p$ , ширина резерва по низу

$$l_p = \frac{F_{cp}}{2h} - \frac{h}{2}(m+n). \quad (4.11)$$

Среднюю глубину резерва определяют в соответствии с рис. 4.5. При незначительном уклоне поверхности земли для двускатного профиля резерва принимают  $h_1=h_2$ , т.е. глубину резерва у подошвы внутреннего и внешнего откосов принимают одинаковой, а глубину резерва посередине вычисляют по формуле

$$h_3 = h + 0,005 l_1. \quad (4.12)$$

Ширина резерва поверху для обоих вариантов (при односкатном и двускатном профилях) равна:

$$l_2 = l_p + mh_1 + nh_2. \quad (4.13)$$

При проектировании резервов грунта (боковых и сосредоточенных) фактический объем требуемого грунта для насыпей  $V_f$  следует определять по формуле

$$V_f = V k_1, \quad (4.14)$$

где  $V$  – объем проектируемой насыпи, вычисленный по рабочим отметкам продольного профиля,  $m^3$ ;  $k_1$  – коэффициент относительного уплотнения:

$$k_1 = \rho_{mp} / \rho_p, \quad (4.15)$$

где  $\rho_{mp}$  – требуемая плотность грунта в насыпи,  $г/см^3$ ,  $\rho_p$  – плотность грунта в резерве (карьере),  $г/см^3$ .

Ориентировочное значение  $k_1$  в зависимости от требуемой плотности (назначенного коэффициента уплотнения) может быть принято по прил. 3 табл. 7.

### 4.3. ПРИМЕР ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

**Задание:** назначить типовые конструкции земляного полотна на каждом характерном участке дороги III категории; выполнить индивидуальную привязку типовых конструкций к условиям на местности; определить площади поперечных сечений насыпей, выемок и других элементов земляного полотна.

#### **Исходные данные**

Поперечные размеры земляного полотна и прочие нормативные параметры установить по СНиП 2.05.02–85.



Отметки по оси трассы, разведочные геологические характеристики грунта и другую информацию принять по продольному профилю прил. 4 и ранее принятым проектным решениям.

#### 4.3.1. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

##### *Последовательность решения*

1. Устанавливаем по СНиП [3] нормы проектирования земляного полотна в поперечном профиле.

##### Дорога III категории; II ДКЗ

Число полос движения.....	2,0
Ширина полосы движения, м.....	3,5
Ширина проезжей части, м.....	7,0
Ширина обочин, м.....	2,5
Ширина укрепленной части обочины, м.....	1,5
Ширина краевой полосы у обочины, м.....	0,5
Поперечные уклоны проезжей части (кроме участков, на которых предусматривается устройство виражей), ‰ .....	20
Поперечные уклоны обочин при двускатном профиле, ‰ .....	
– при укреплении с применением вяжущих.....	30–40
– при укреплении гравием, щебнем, шлаком или мощении каменными материалами и бетонными плитами.....	40–60
– при укреплении дернованием или засевом трав.....	50–60

2. По продольному профилю и топографической карте (см. рис. 2.1) устанавливаем следующую информацию, необходимую для выбора типовой конструкции:

– трасса проходит в нестесненных условиях по землям, не отнесенным к категории ценных;

– местность относится к 1-му типу по увлажнению (кроме участков пересечения логов);

– на участке ПК0 – ПК36+00 направление склона справа налево в сторону р.Реж. После ПК36+00 и до конца трассы уклон естественного склона меняется на обратный (верховая сторона слева от оси трассы);

– крутизна естественного склона не превышает 1:10 на всем протяжении трассы;

– грунты суглинки легкие; в логах – песок мелкий.

3. Устанавливаем степень пригодности суглинка легкого для устройства рабочего слоя земляного полотна: согласно классификации СНиП 2.05.02–85 средняя величина относительного морозного

пучения для суглинков легких на местности 1-го типа составляет 2–4 % (прил. 3, табл. 5). Это означает, что в данном случае суглинок легкий относится ко II группе грунтов по степени пучинистости – слабопучинистые (прил. 3, табл. 3 и 4). Такие грунты используются в рабочем слое земляного полотна на местности 1-го типа без ограничений. Поэтому принимаем решение: для отсыпки насыпи использовать местный грунт – суглинок легкий. Для этой цели назначаем с верховой стороны притрассовый резерв.

На подходе к логам и в местах сопряжений с водопропускными трубами насыпи проектируем из грунта сосредоточенных резервов с коэффициентом фильтрации грунтов  $K_f \geq 0,5 \text{ м/сут}$ .

4. В зависимости от условий на местности выделяем характерные участки и обозначаем их границы в соответствующих графах сетки продольного профиля. Основные признаки при выделении характерных участков следующие: положение проектной линии (насыпи, выемка), крутизна естественного склона, тип грунта, величина рабочей отметки.

5. Ориентируясь на указанные основные признаки и условия на местности, а также учитывая требования строительных норм и руководствуясь типовыми решениями «Союздорпроекта» [16], назначаем следующие типовые конструкции земляного полотна.

*Тип 1* (рис. 4.6) назначаем на участках дороги: ПК0 – ПК16+49; ПК20+31 – ПК21+05; ПК22+50 – ПК23+75; ПК27+44 – ПК28+50; ПК29+50 – ПК47+62. Данные участки характеризуются следующими общими признаками: размещаются на неплодородных землях в нестесненных условиях; высота насыпи  $H \leq 3 \text{ м}$ ; грунты пригодны для устройства земляного полотна; уклон естественного склона не более 1:30, т.е. насыпь можно отсыпать из боковых резервов, расположенных с верховой стороны.

*Тип 10* (рис. 4.7) принимаем на участках глубоких выемок. Внешние откосы выемок глубиной от 1 до 5 м должны быть по возможности крутыми (1:2–1:1,5).

Внутренние откосы кюветов принимают более пологими (допускается уполаживать до 1:3–1:4).

На начальных участках глубоких выемок на расстоянии до глубины выемки 1 м назначаем конструкцию земляного полотна типа 7А (рис. 4.8).

*Тип 7А* – раскрытая выемка с крутизной внешних откосов от 1:5 до 1:10 (в целях предохранения от снежных заносов). Внутренние откосы мелких выемок можно назначать более крутыми: 1:4 – 1:3.

Тип 1

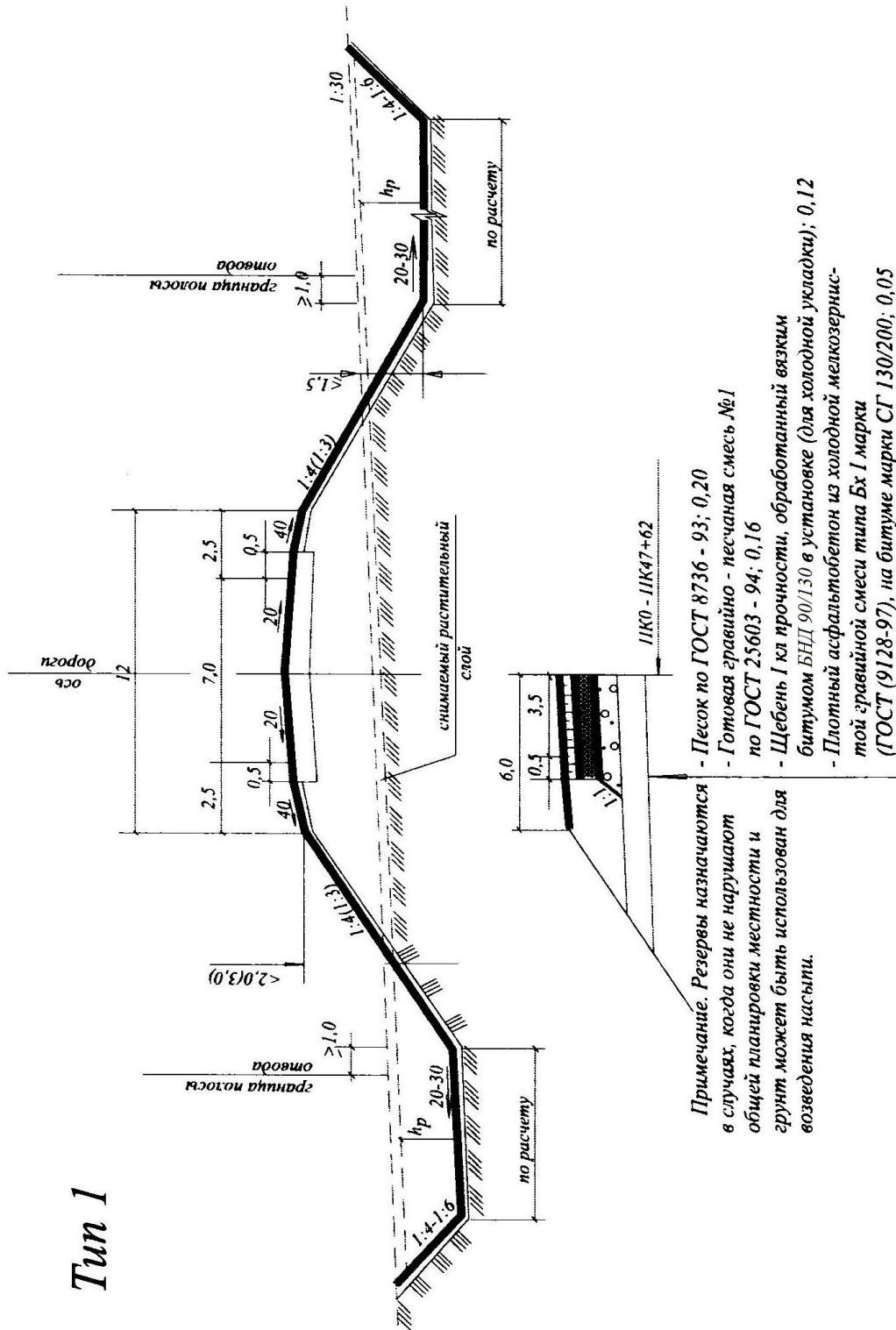


Рис. 4.6. Типовая конструкция поперечного профиля земляного полотна с боковыми резервами

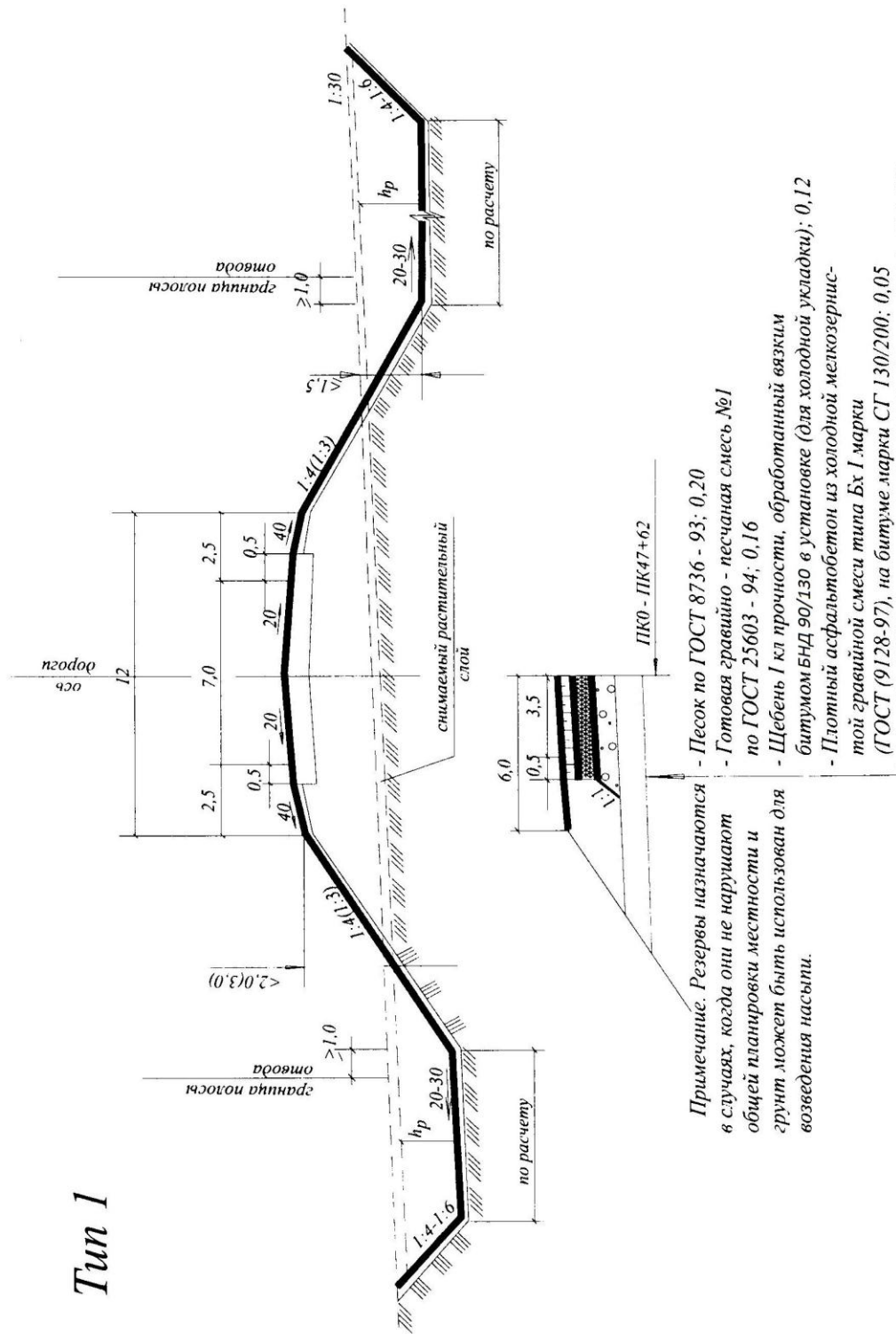


Рис. 4.7. Типовая конструкция поперечного профиля земляного полотна с боковыми резервами

Тип 7А

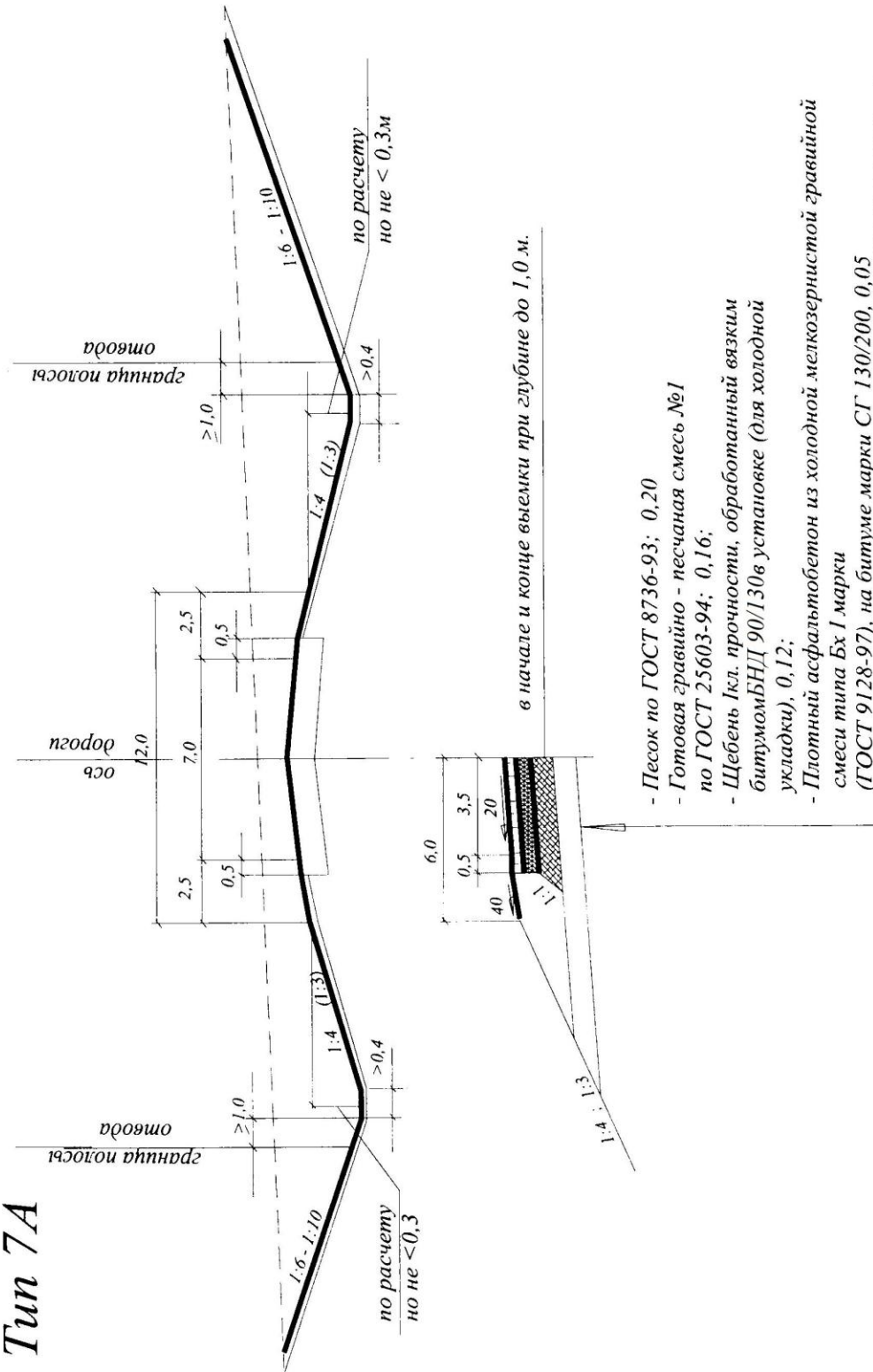


Рис. 4.8. Типовая конструкция земляного полотна в выемках глубиной до 1 м (начальные участки глубоких выемок)

Земляное полотно типов 10 и 7А проектируем на участках ПК16+49 – ПК20+31; ПК23+75 – ПК27+44.

Тип 4 назначаем на участках пересечения логов, где высота насыпи  $H > 6$  м. Земляное полотно проектируем из дренирующего грунта сосредоточенного резерва (песок средней крупности). Откосы насыпи должны быть переменной крутизны: в верхней части более крутые, чем в нижней (рис. 4.12).

#### 4.3.2. ПРИВЯЗКА ТИПОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА К УСЛОВИЯМ ПК15

*Исходные данные: конструкция земляного полотна типа 1 представлена на рис. 4.6. Фактические условия на местности изложены в п. 4.3.1.*

Чтобы выполнить привязку конструкции к ПК15, вносим следующие уточнения и коррективы к типовому решению, представленному на рис. 4.6.

- резерв назначаем только с одной (верховой) стороны;
- внутренние откосы резервов и откосы насыпи проектируем одинаковой крутизны и по возможности пологими (для безопасного съезда в аварийной ситуации), принимая коэффициенты крутизны  $m=n=4$ ;

*– учитывая, что после окончания строительства дороги боковые резервы подлежат рекультивации, внешние откосы резервов проектируем не круче 1:4–1:6.*

#### **Определение ширины резерва на участке ПК0 – ПК16+49**

Ширину резерва на данном участке определяем, предварительно вычислив среднюю площадь сечения насыпи  $F_n$  для следующих ее размеров:  $B=12$  м;  $b=7,0$  м;  $c'=0,5$  м;  $h_y=0$  (обочины неукрепленные). Толщину дорожной одежды принимаем согласно расчетам на прочность (п. 5.3.1):  $h_{д.о.}=0,53$  м. Среднюю рабочую отметку на участке ПК0 – ПК16+49 определяем как среднеарифметическую величину на данном участке:

$$H_{cp.i} = \left( \sum_{i=1}^n H_i \right) / n = 26,78/18 = 1,49 \text{ м.}$$

По формуле (4.8) находим  $F_{cp}$ :

$$F_{cp} = 12 \cdot 1,49 + 4 \cdot 1,49^2 - (7 + 2 \cdot 0,5) \cdot 0,53 = 22,5 \text{ м}^2.$$

Назначаем максимальную глубину резерва  $h_p=1,5$  м и определяем его ширину по низу по формуле (4.10) при условии, что коэффициенты крутизны внутреннего и внешнего откосов резерва равны  $m=n=4$ .

$$l_p = 22,5/1,5 - (4 + 4) \cdot 1,5/2 = 9 \text{ м.}$$

Расчетная ширина резерва  $l_p < 10$  м, поэтому уклон дна назначаем односкатным в сторону от земляного полотна и принимаем для дальнейших расчетов  $l_p=10$  м.

Ширину резерва по верху  $l'_p$  определяем по формуле (4.13), приняв глубину резерва у подошвы внутреннего и внешнего откосов одинаковой ( $h_1=h_2=1,5$  м), поскольку уклон поверхности земли незначительный:

$$l'_p = 10 + 4 \cdot 1,5 + 4 \cdot 1,5 = 22 \text{ м.}$$

### ***Привязка поперечного профиля земляного полотна***

После вычисления размеров резерва приступаем к вычерчиванию индивидуального поперечного профиля и вычислению площади сечений насыпи, резерва и срезки ПРГ. Последовательность решения задачи принимаем такую.

1. Уточняем исходные данные по ранее принятым проектным решениям и чертежам:

- отметка земли по оси дороги на ПК15+00 равна 205,05;
- проектная отметка по оси равна 207,82;
- уклон естественного склона на ПК15+00  $i_{ск}=0,033$  (определяем по карте рис. 2.1);
- толщина срезки почвенно-растительного грунта (ПРГ) 0,2 м.

2. Наносим линию поверхности земли (сплошной тонкой линией) и вносим в соответствующую графу сетки поперечного профиля фактические данные (отметки, расстояния). Обозначаем на чертеже подошвы слоев и тип грунта, влажность, консистенцию грунта и прочие разведочные геологические данные.

3. Ориентируясь на типовую конструкцию рис. 4.6, вычерчиваем контур проектируемого земляного полотна и линии ординат от точек перелома проектной линии (сплошной толстой основной линией); обозначаем контур срезки плодородного слоя грунта, крутизну откосов насыпи и резерва (рис. 4.9).

4. Вычисляем проектные отметки в зависимости от назначенных проектных уклонов и поперечных размеров земляного полотна; затем определяем заложение откосов. При высоте откоса

$H = 207,82 - 204,85 = 2,97$  м заложение низового откоса без учета уклона естественного склона равно:  $m H = 4 \cdot 2,97 = 11,9$  м.

Аналогично определяем заложение откосов резерва и записываем в соответствующей графе рис. 4.9.

5. Определяем площади поперечных сечений насыпи  $F_n$ , резерва  $F_p$  и срезки ПРГ  $F_{cp}$  как сумму площадей геометрических фигур: площадь насыпи (без поправки на дорожную одежду)

$$F_n = 12 \cdot 2,97 + 4 \cdot 2,97^2 + 0,02 \cdot 12^2 / 4 = 71,64 \text{ м}^2,$$

$$F_p = 10 \cdot 1,5 + 4 \cdot 1,5^2 = 24 \text{ м}^2,$$

$$F_{cp} = 0,2(11,9 + 12 + 10,3 + 5,2 + 10 + 6) = 11,08 \text{ м}^2.$$

Полученные значения площадей записываем над боковиком поперечного профиля.

Привязку типовых конструкций, запроектированных для других участков дороги (*тип 10*, *тип 7-А* и *тип 4*), выполняем аналогично и в той же последовательности, поэтому подробное решение здесь не приводится. Чертежи с индивидуальной привязкой поперечных профилей к ПК17, ПК25 и ПК29 представлены соответственно на рис. 4.10, 4.11, 4.12.

#### 4.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

Объем земляного полотна, вычисленный без учета дорожной одежды, растительного грунта и поправки на разность рабочих отметок, называют профильным объемом земляных работ. Профильный объем определяется как произведение:

$$V = F_{cp} l, \quad (4.16)$$

где  $F_{cp}$  – средняя площадь сечения поперечных профилей на характерном участке, м;  $l$  – длина характерного участка (насыпь, выемка), м.

Средняя площадь сечения насыпи равна:

$$F_{cp} = B H_{cp} + m H_{cp}^2, \quad (4.17)$$

где  $H_{cp}$  – средняя рабочая отметка на участке между смежными поперечниками или между смежными пикетами (если сечения рассматривают на каждом пикете). В последнем случае подсчет объемов земляных работ называют попикетным.

В выемке среднюю площадь сечения определяют по формуле

$$F_{cp} = B H_{cp} + 2 \omega_k + n H_{cp}^2 + 2 v'_k H_{cp}, \quad (4.18)$$

где  $\omega_k$  – площадь кювета, м<sup>2</sup>;  $n$  – коэффициент крутизны откосов выемки;  $v'_k$  – ширина кювета поверху, м.



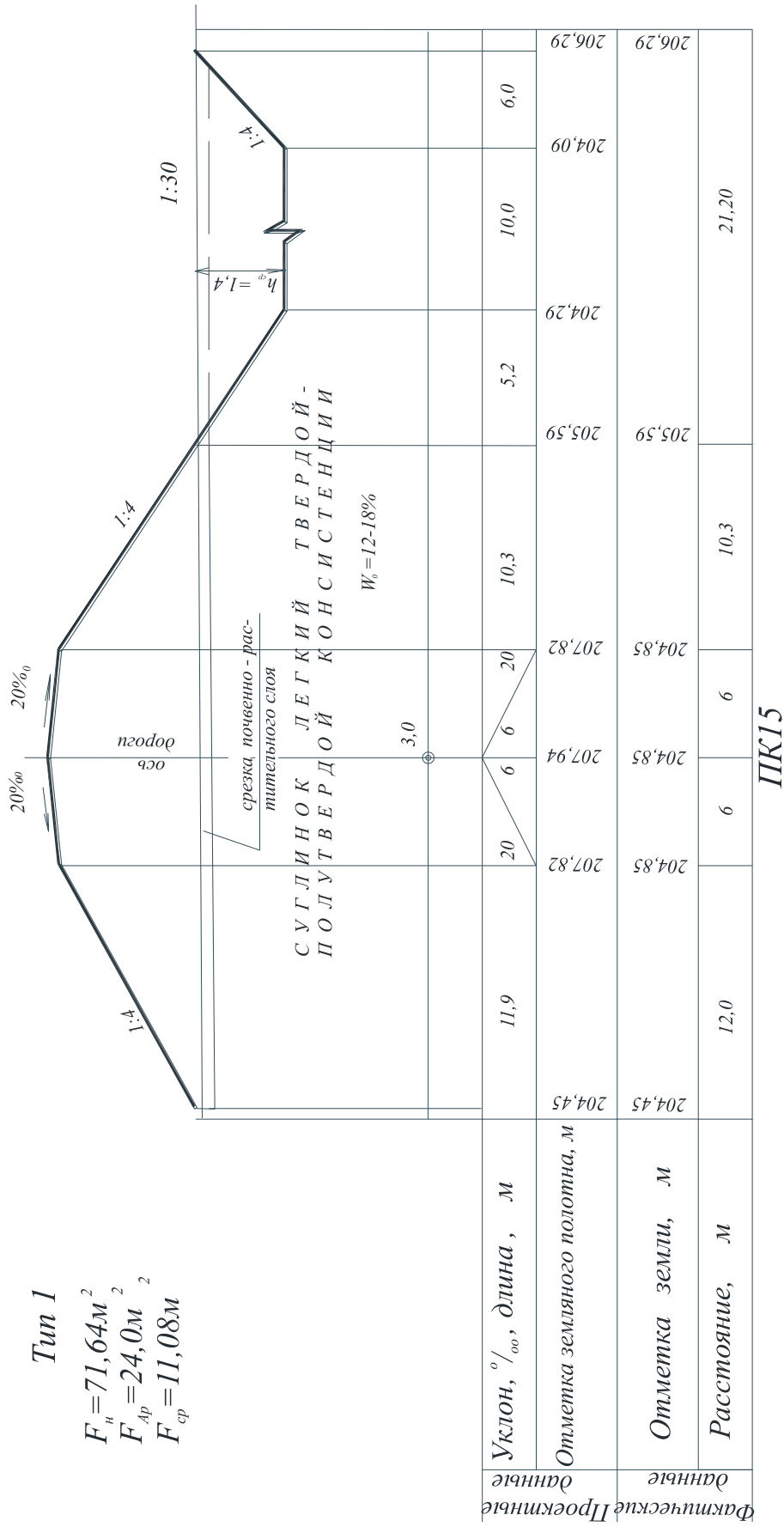


Рис. 4.9. Поперечный профиль земляного полотна на ПК 15+00

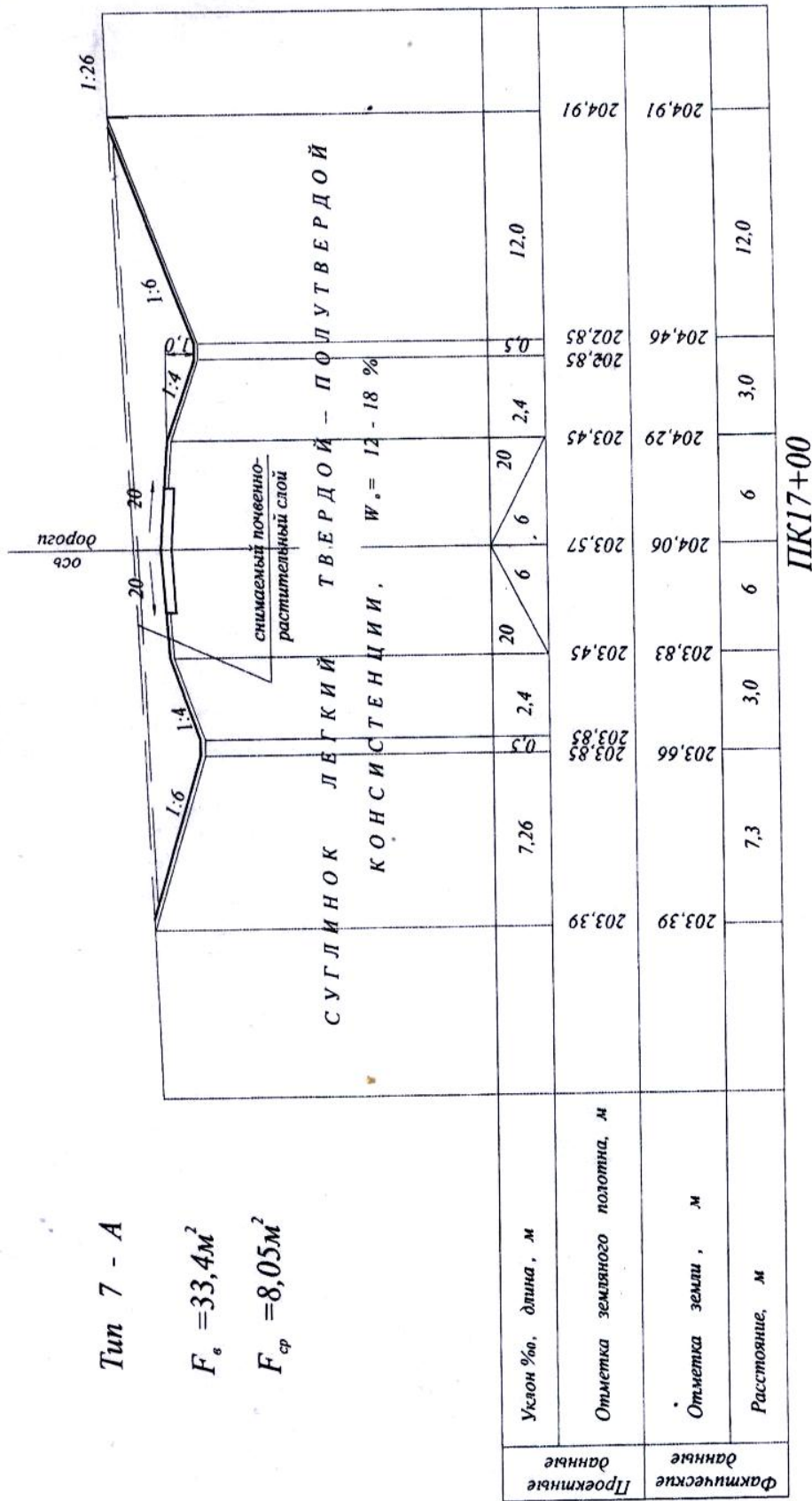


Рис. 4.10. Поперечный профиль земляного полотна на начальном участке выемки ПК 17+00

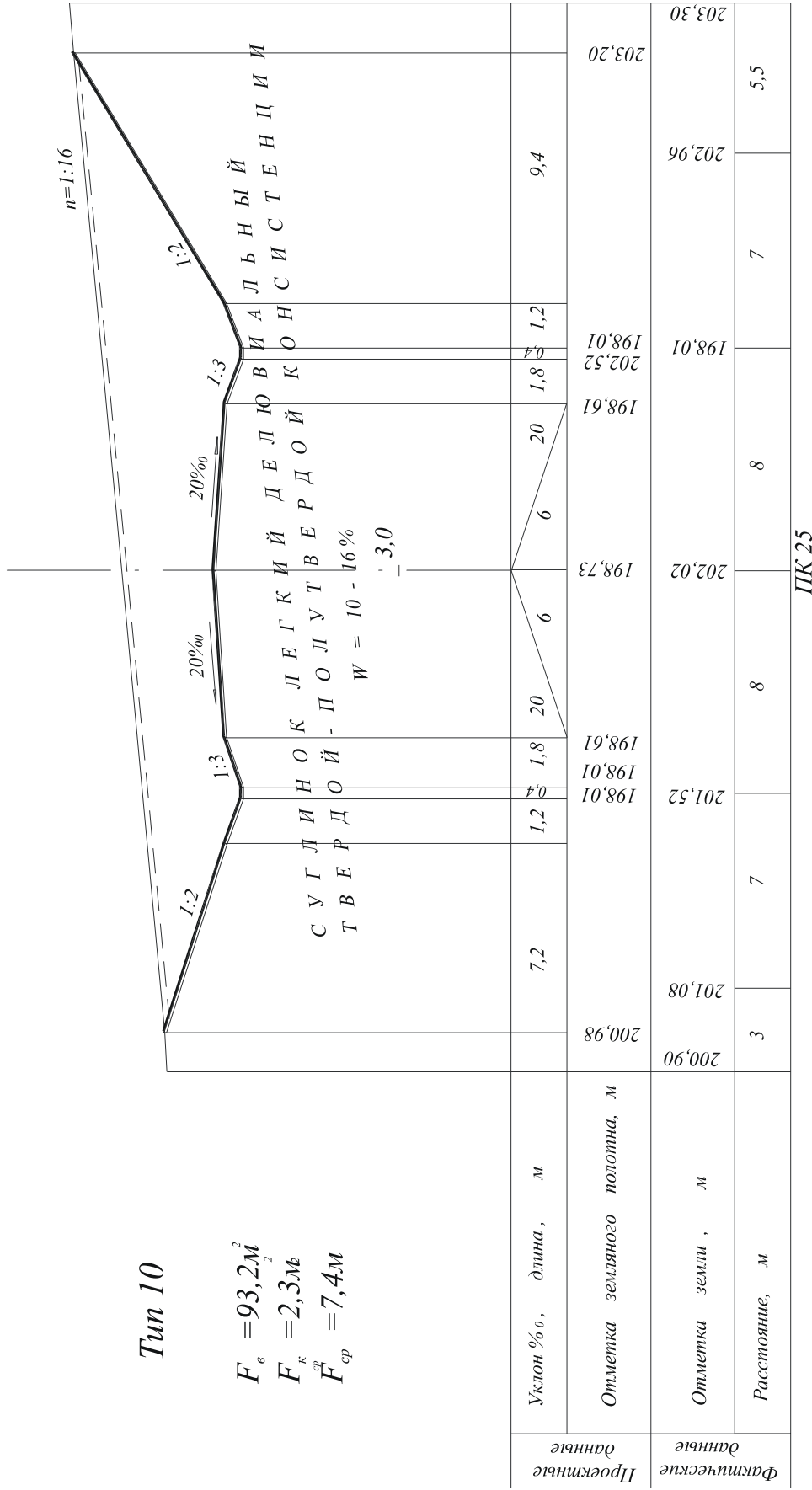


Рис. 4.1.1. Поперечный профиль земляного полотна в выемке ПК 25+00

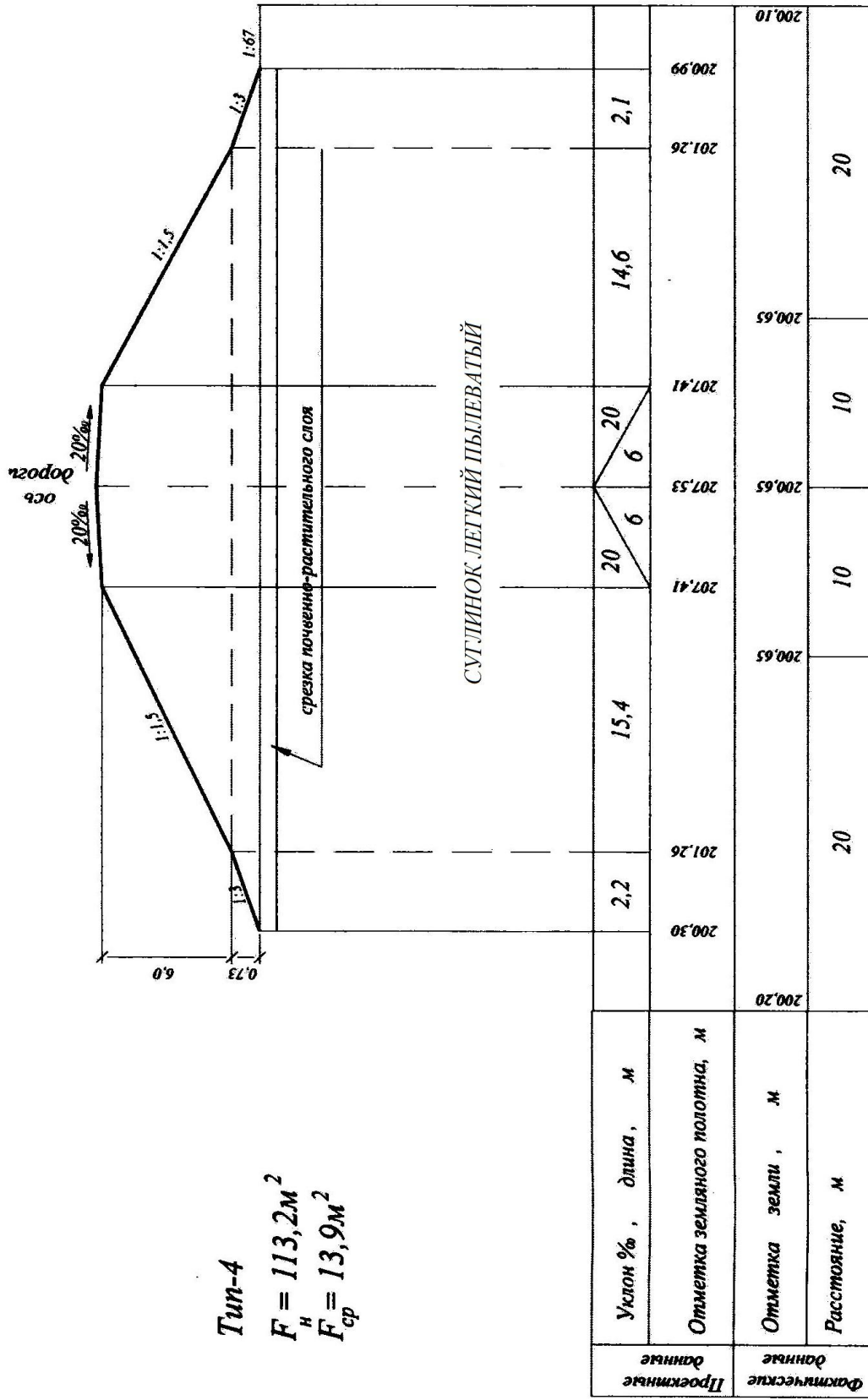


Рис. 4.12. Поперечный профиль земляного полотна из привозного дренажного полотна на ПК 29+00

В соответствии с обозначениями на рис. 4.13, б площадь кювета равна:

$$\omega_k = v_k h_k + \frac{h_k^2}{2} (m+n), \quad (4.19)$$

где  $v_k$  – ширина кювета понизу,  $m$ ;  $h_k$  – глубина кювета,  $m$ ;  $n$  – коэффициент крутизны внутреннего откоса кювета. Параметры кювета  $v_k$ ,  $h_k$  и  $n$  принимают согласно запроектированному поперечному профилю в выемке;  $m$  – коэффициент крутизны внешнего откоса кювета (крутизна откоса выемки).

При определении объема земляных работ необходимо учитывать поправку на разность рабочих отметок  $\Delta H$ , которая может быть как со знаком плюс, так и минус:

$$\Delta H = \pm \frac{m(H_{n+1} - H_n)^2}{12} l, \quad (4.20)$$

где  $H_{n+1}$  и  $H_n$  – рабочие отметки на смежных участках или пикетах,  $m$ . Поправка  $\Delta H$  учитывается при разности рабочих отметок  $(H_1 - H_2) > 1$  м.

Объем грунта, требующийся в насыпь взамен снятого почвенно-растительного слоя, также не включен в формулу (4.15), поэтому объем срезки под насыпь вычисляют отдельно (рис. 4.13, а):

$$V_c = [B + 2m(H_{cp} + h_c)] h_c l, \quad (4.21)$$

где  $h_c$  – толщина срезаемого слоя ПРГ,  $m$ ; значения  $h_c$  обозначены на продольном профиле (разведочные геологические данные).

На площади выемки объем срезаемого ПРГ определяется согласно рис. 4.13, б:

$$V_c = (B + 2mh_k + 2v_k + 2nh_k + 2nH_{cp}) h_c l. \quad (4.22)$$

На площади резерва объем срезаемого грунта равен:

$$V_c = (l_p + mh_c + nh_c) h_c l, \quad (4.23)$$

где  $l_p$  – ширина резерва понизу,  $m$ ;  $h_c$  – средняя глубина резерва,  $m$ .

Поправка  $\Delta V$  на устройство проезжей части также не входит в формулы (4.17) и (4.18) и определяется в соответствии с рис. 4.13.

$$\Delta V = [S_1 - (S_2 + S_3 + S_4)] l, \quad (4.24)$$

где  $S_1$  – площадь сточной призмы,  $m^2$  (рис. 4.13, г).

$$S_1 = c^2 i_0 + v(c i_0 + v i_{np} / 4), \quad (4.25)$$

$S_2$  – площадь сечения дорожной одежды на ширине проезжей части,  $m^2$ ;

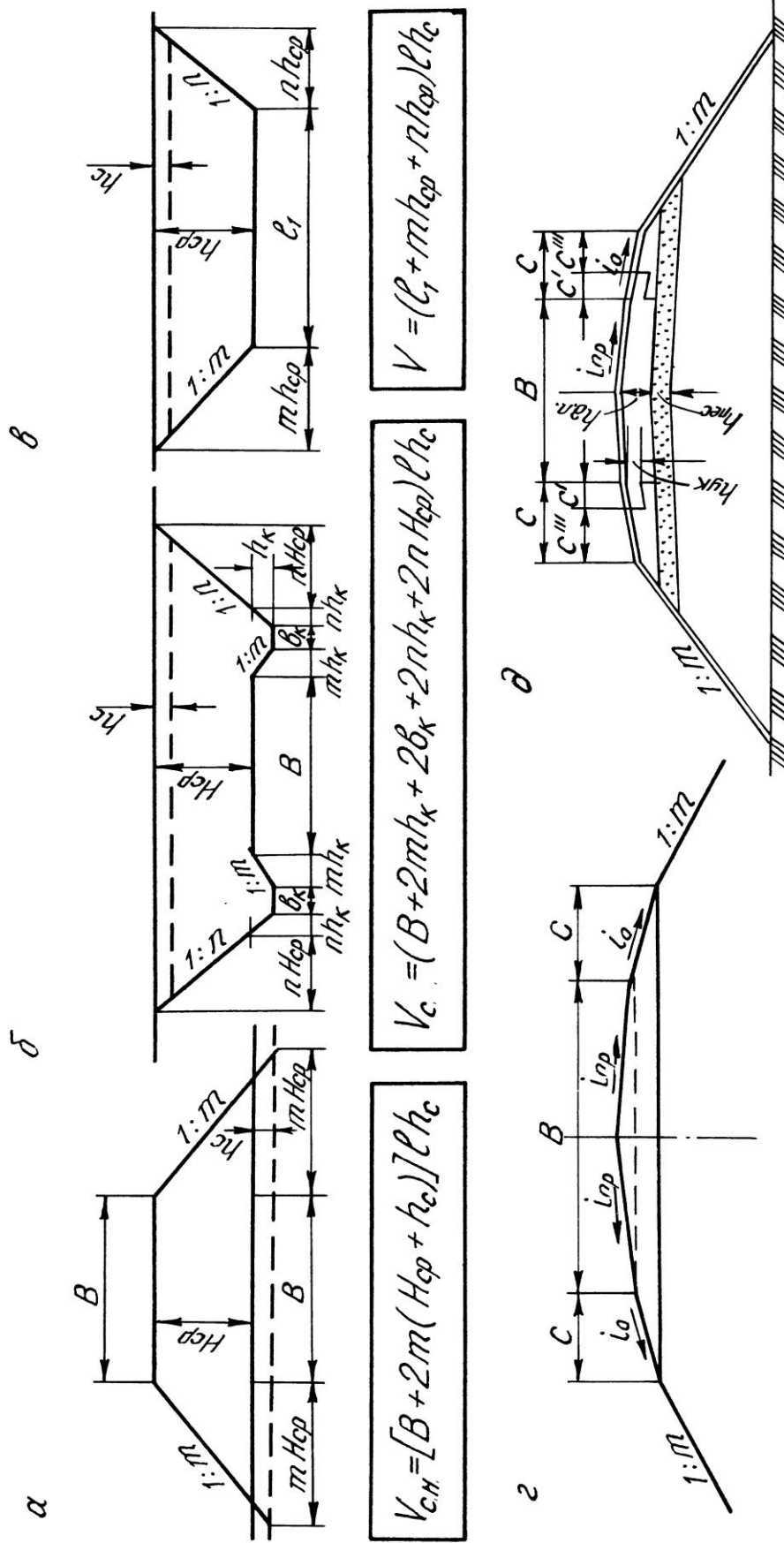


Рис. 4.13. Расчетные схемы для определения объемов земляных работ: а – срезка грунта под насыпью; б – срезка грунта на выемке; в – срезка грунта на ширине резерва; г – параметры сточной призмы; д – параметры дорожной одежды

$$S_2 = \nu h_{\partial.o}, \quad (4.26)$$

$S_3$  – площадь сечения краевых полос,  $m^2$ :

$$S_3 = 2c'h_y, \quad (4.27)$$

$S_4$  – площадь сечения укрепления обочин,  $m^2$ :

$$S_4 = 2c'''h_y, \quad (4.28)$$

где  $c'$  и  $c'''$  – соответственно ширина краевой полосы и ширина обочины за краевой полосой,  $m$ .

Для обочин, укрепленных растительным грунтом, толщина укрепления  $h_y=0$ .

Если площадь сточной призмы  $S_1 > (S_2 + S_3 + S_4)$ , то поправка  $\Delta V$  на устройство проезжей части *прибавляется к объему насыпи* и вычитается из объема выемки.

Если  $S_1 < (S_2 + S_3 + S_4)$ , поправка  $\Delta V$  *вычитается* из объема насыпи и прибавляется к объему выемки.

Если в конструкции дорожной одежды запроектирован дополнительный слой основания из песка или грунта повышенной плотности, их объем учитывают в профильном объеме земляного полотна, а при вычислении площади сечения дорожной одежды  $S_2$  по формуле (4.26) толщину  $h_{\partial.o}$  принимают без толщины песчаного или грунтового слоя.

### ***Пример вычисления объема земляных работ***

***Задание:*** вычислить попикетно объем земляных работ на участке ПК15+00 – ПК23+75.

#### ***Исходные данные:***

– рабочие отметки на пикетах и плюсовых точках представлены на продольном профиле прил. 4.

– индивидуальные поперечные профили земляного полотна на характерных участках представлены на рис. 4.9 – 4.12;

– толщина дорожной одежды  $h_{\partial.o} = 0,53$  м;

– обочины неукрепленные ( $h_y=0$ );

– уклоны обочин и проезжей части соответственно равны  $i_0=40$  ‰,

$i_{пр.ч} = 20$  ‰;

– толщина срезаемого ПРГ на участках ПК15+00 – ПК20 и ПК23+75 – ПК28 равна:  $h_c=0,2$  м, на участке ПК20 – ПК23+75 и ПК28 – ПК30  $h_c=0,3$  м.

**Решение**

Расчет ведем в табличной форме, последовательно заполняя графы 1–22 табл. 4.1.

Графы 1–6 заполняем с продольного профиля прил. 4. Средние рабочие отметки вычисляем как полусумму рабочих отметок на смежных пикетах (и плюсовых точках) и записываем в графах 7 и 8.

Профильный объем земляных работ в насыпях и выемках определяем по формуле (4.16). При этом средние площади сечения  $F_{cp}$  определяем согласно запроектированным поперечным профилям в насыпи (см. рис. 4.9) и выемке (см. рис. 4.10 и 4.11).

Например, для участка насыпи ПК15 – ПК16+00 устанавливаем по рис. 4.9 следующие расчетные параметры земляного полотна:  $B=12$  м,  $m=4$ .

Средняя рабочая отметка на данном участке  $H_{cp}$  равна:

$$H_{cp} = (2,97 + 0,65)/2 = 1,81 \text{ м.}$$

Находим по формуле (4.17) профильный объем насыпи на данном участке:

$$V_H = (12 \cdot 1,81 + 4 \cdot 1,81^2)100 = 3482 \text{ м}^3.$$

На участке ПК16 – ПК16+49 средняя рабочая отметка  $H_{cp}=0,32$  м, а профильный объем на участке длиной 49 м равен:

$$V_H = (12 \cdot 0,32 + 4 \cdot 0,32^2)49 = 208 \text{ м}^3.$$

В выемке профильный объем определяем по формулам (4.16) и (4.18), предварительно вычислив площадь кювета при  $n=6$ ;  $m=4$ ;  $h_k=0,6$  м и  $b_k=0,5$  м (см. рис. 4.11):

$$\omega_k = 0,5 \cdot 0,6 + 0,6^2/2(4 + 6) = 2,1 \text{ м}^2.$$

Профильный объем выемки на участке ПК16+49 – ПК17+00 длиной 51 м при  $H_{cp}=0,32$  м равен:

$$V_{\text{в}} = (12 \cdot 0,30 + 2 \cdot 2,1 + 6 \cdot 0,30^2 + 2 \cdot 6,5 \cdot 0,30)51 = 624,2 \text{ м}^3.$$

Аналогично выполняем расчеты на прочих участках, заполняя графы 9 и 10 ведомости (см. табл. 4.1).

Объемы срезки растительного грунта (графы 11, 12 и 13) определяем по формулам (4.21), (4.22) и (4.23). При толщине срезанного слоя  $h_c = 0,2$  м и  $m = 4$  объем срезки под насыпь на участке ПК15 – ПК16 равен:

$$V_c = [12 + 2 \cdot 4(1,81 + 0,2)]0,2 \cdot 100 = 562 \text{ м}^3.$$



Объем срезки на площади резерва на участке ПК15 – ПК16 при ширине резерва  $l_p=10$  м и средней толщине срезки  $h_{cp}=1,4$  м (см. рис. 4.9) равен:

$$V_c = (10 + 4 \cdot 1,4 + 4 \cdot 1,4) 0,2 \cdot 100 = 424 \text{ м}^3.$$

Аналогично вычисляем объем срезки ПРГ под выемку, принимая расчетные параметры земляного полотна по рис. 4.10 и 4.11.

Значения графы 11 вносим в графу 14 – объем грунта взамен срезанного растительного слоя под насыпь.

В графу 15 записываем разность рабочих отметок  $H_{n+1} - H_n$  (т.е. из последующей отметки вычитаем предыдущую); знак полученного результата (+ или –) следует сохранять при вычислении поправки на разность рабочих отметок (см. графу 16 ведомости). Например, на участке ПК15+00 – ПК16+00 разность рабочих отметок равна:

$$0,65 - 2,97 = -2,32.$$

Поправка на разность отметок на участке длиной 100 м по формуле (4.20) равна:

$$\Delta H = -4 \cdot 2,32^2 \cdot 100 / 12 = -179 \text{ м}^3.$$

Чтобы вычислить поправку на устройство проезжей части  $\Delta V$ , необходимо предварительно вычислить площади сечений  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  и  $S_4$  (см. формулу (4.24)) при следующих расчетных данных:  $v=7$  м;  $c=2,5$  м;  $i_0=0,04$ ;  $i_{пр.ч}=0,02$ .

Учитывая, что дорожная одежда запроектирована с дополнительным слоем основания из песка толщиной 0,3 м, в формуле (4.26) необходимо принять толщину одежды на ширине проезжей части, равной  $0,65 - 0,30 = 0,35$  м.

Для таких условий определяем по формуле (4.25) площадь сточной призмы  $S_1$ :

$$S_1 = 2,5^2 \cdot 0,04 + 7(2,5 \cdot 0,04 + 7 \cdot 0,02 / 4) = 1,20 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения дорожной одежды на ширине проезжей части равна:

$$S_2 = 7 \cdot 0,35 = 2,45 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения укрепленных краевых полос  $S_3$  при  $c' = 0,5$  м равна:

$$S_3 = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,35 = 0,35 \text{ м}^2.$$

Оставшаяся часть ширины обочины запроектирована неукрепленной ( $h_y=0$ ), поэтому площадь сечения  $S_4=0$ .

Определяем суммарную площадь сечений:

$$S_2 + S_3 + S_4 = 2,80 \text{ м}^2 > S_1.$$

Следовательно, поправка  $\Delta V$  на устройство дорожной одежды должна прибавляться к объему выемки и вычитаться из объема насыпи.

Таблица 4.1

Ведомость попикетного подсчета объемов земляных работ

Километры	Пикеты	Плюсы	Расстояния	Рабочая отметка		Средняя рабочая отметка		Профильн. объем, м <sup>3</sup>		Срезка растительного грунта, м <sup>3</sup>			Объем грунта взамен срезанного под насытью	Разность рабочих отметок	Поправка на разность рабочих отметок	Поправка на устройство проезжей части		Итого земляных работ			
				насыпь	выемка	насыпь	выемка	насыпь	под насытью	на выемках	на резервах	насыпь				выемка	насыпь	общий объем	в т.ч. растительн. слой	выемка	насыпь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
62	15	00	100	2,97	-	1,81	-	3482	-	562	-	424	562	-2,32	-179	-160	-	3705	-	-	986
	16	00	49	0,65	-	0,32	-	208,2	-	158	-	207,7	158	-	-	-78,4	-	288	-	-	366
	16	49	51	0,0	0,0	-	0,30	-	624	-	292	-	-	-	-	-	81,6	-	705,6	292	292
	17	00	100	-	0,61	-	0,93	-	3265	-	723	-	-	-	-	-	160	-	3425	723	723
	18	00	100	-	1,25	-	1,84	-	4413	-	527	-	-	+1,18	+35	-	160	-	4608	527	527
	19	00	100	-	2,43	-	1,54	-	3640	-	503	-	-	-1,78	-44	-	160	-	3756	503	503
	20	00	31	-	0,65	-	0,32	-	397	-	179	-	-	-	-	-	50	-	447	179	179
62	20	31	69	0,0	0,0	0,78	-	814	-	274	-	226	226	+1,57	+57	-110	-	987	-	-	500
63	21	00		1,57	-					994		857,7	946					4980	12941,6	2227	4076
Итого сПК1.5-ПК21+00								4504,2	2339	994	2224	857,7	946	-131	-348,4	612	4980	12941,6	2227	4076	

Величину поправки  $\Delta V$  определяем по формуле (4.24).

На участке длиной  $l=100$  м (ПК15+00 – ПК16+00) поправка на дорожную одежду по формуле (4.24) равна:

$$\Delta V = (1,2 - 2,8)100 = -160 \text{ м}^3.$$

При последующих вычислениях в графу 17 записываем значение  $\Delta V$  со знаком минус; в графу 18 – со знаком плюс.

Вычисляем общий объем земляных работ по участкам, заполняя соответствующие графы табл. 4.1.

Насыпь: графа 19 = графа 9 + графа 14 ± графа 16 ± графа 17.

Выемка: графа 20 = графа 10 ± графа 16 ± графа 18.

На участке насыпи ПК15+00 – ПК16+00 объем земляных работ:

$$V = 3482 + 562 - 179 - 160 = 3705 \text{ м}^3.$$

На участке насыпи ПК16 – ПК16+49 поправка  $\Delta V = -1,6 \cdot 49 = -78,4 \text{ м}^3$ , а общий объем земляных работ равен:  $V = 208,2 + 158 - 78,4 = 288 \text{ м}^3$ .

На участке ПК16+49 – ПК17 (выемка длиной 51 м) имеем:

$$\Delta V = 1,6 \cdot 51 = 81,6 \text{ м}^3.$$

Следовательно,  $V = 624 + 81,6 = 705,6 \text{ м}^3$ .

В графе 21 записываем значения графы 12, а графу 22 заполняем как сумму граф: графа 22 = графа 11 + графа 12 + графа 13.

При определении объемов земляных работ разрывы в земляном полотне, образованные трубами, а также мостами длиной менее 4 м, не учитываются.

После определения объемов земляных работ профильного определяют так называемый объем оплачиваемых земляных работ по формуле (4.14) принимая коэффициент относительного уплотнения  $K_1$  по СНиП 2.05.02-85\* (табл. 14 прил. 2).

### Контрольные вопросы

1. Перечислить основные элементы земляного полотна и указать условия их назначения.
2. Какие грунты пригодны для возведения земляного полотна без ограничения?
3. От чего зависит коэффициент заложения откоса земляного полотна?
4. При каких условиях не предусматривают боковые резервы?
5. Почему пылеватые грунты нельзя использовать в рабочем слое земляного полотна?
6. Как влияет крутизна откосов на безопасность движения и устойчивость земляного полотна?
7. Когда назначают откосы разной крутизны в нижней и верхней частях насыпи?

## 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

### 5.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дорожные одежды нежесткого типа устраиваются, как правило, из нескольких конструктивных слоев.

*Покрытие* (однослойное и двухслойное) с устройством (в необходимых случаях) поверхностной обработки различного назначения (для повышения шероховатости, защитные и др.). Покрытие воспринимает усилия от колес транспортных средств и подвергается непосредственному воздействию погодно-климатических факторов; оно должно обеспечивать эксплуатационные качества проезжей части: прочность, ровность, шероховатость, трещиностойкость; хорошо сопротивляться износу.

*Основание* (однослойное и двухслойное) – несущая прочная часть одежды. Совместно с покрытием основание обеспечивает перераспределение напряжений и снижение их величины в нижних дополнительных слоях одежды и в грунте рабочего слоя земляного полотна. Основание обеспечивает морозоустойчивость и осушение конструкции.

*Дополнительный слой основания* укладывается на подстилающий грунт. В зависимости от выполняемой функции дополнительный слой называют морозозащитным, теплоизоляционным, дренирующим, противозаиливающим, выравнивающим и др. Дополнительные слои устраивают на участках с неблагоприятными климатическими и грунтово-гидрологическими условиями. Гидро- и пароизоляционные, капилляропрерывающие и другие прослойки также относят к дополнительным слоям.

По степени капитальности нежесткие дорожные одежды разделены на четыре типа (табл. 5.1).

Капитальные и облегченные дорожные одежды с усовершенствованными покрытиями проектируют с таким расчетом, чтобы за межремонтный срок не возникло разрушений и остаточных деформаций, недопустимых нормативными документами.

Облегченные одежды с усовершенствованными покрытиями рассчитывают на менее продолжительный межремонтный срок службы, чем с капитальными. Это позволяет применять менее долговечные (менее прочные) дешевые материалы и облегчить конструкцию.

Таблица 5.1

## Классификация дорожных одежд и покрытий [17]

Типы дорожных одежд	Виды покрытий, материал и способы его укладки
Капитальные усовершенствованные	из горячих асфальтобетонных смесей
Облегченные	а) из горячих асфальтобетонных смесей б) из холодных асфальтобетонных смесей в) из органоминеральных смесей с жидкими органическими вяжущими, с жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными; с вязкими, в том числе эмульгированными органическими вяжущими; с эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными; из каменных материалов и грунтов, обработанных битумом по способу смешения на дороге или методами пропитки; из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими методом пропитки; черного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки; из пористой и высокопористой асфальтобетонной смеси с поверхностной обработкой; из прочного щебня с двойной поверхностной обработкой
Переходные	из щебня прочных пород, устроенные по способу заклинки без применения вяжущих материалов; из грунтов и малопрочных каменных материалов, укрепленных вяжущими; булыжного и колотого камня (мостовые)
Низшие	из щебеночно-гравийно-песчаных смесей; малопрочных каменных материалов и шлаков; грунтов, укрепленных или улучшенных различными местными материалами; древесных материалов и др.

Одежды переходного типа (гравийные, щебеночные и др.), выравнивание которых не сопряжено со значительными затратами, допускают возможность более значительного накопления остаточных деформаций под действием движения.

Запроектированная дорожная одежда должна быть не только прочной и надежной в эксплуатации, но и экономичной и менее материалоемкой, а также соответствовать экологическим требованиям. Экономичность конструкции определяется по результатам сопоставления вариантов с оценкой сравнительной экономической эффективности капитальных вложений по действующим нормативным документам. Выбор конструкции дорожной одежды и типа покрытия обосновывают технико-экономическим анализом.

## 5.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

При конструировании дорожных одежд необходимо руководствоваться следующими принципами:

– конструкция одежды может быть типовой или разработана индивидуально для участков дороги, характеризующихся сходными природными условиями, одинаковыми расчетными нагрузками и обеспеченностью строительными материалами:

– в соответствующих элементах конструкции должны использоваться местные малопрочные материалы (с предварительной переработкой или укреплением вяжущими: цемент, битум, известь, активные золы уноса и др.);

– конструкция должна быть технологичной и обеспечивать возможность максимальной механизации строительных работ;

– при назначении типов покрытия для разных вариантов конструкций одежд следует соблюдать требования СНиП [3], руководствоваться ОДН 218.046–01 и другими нормативными документами, утвержденными в установленном порядке.

Последовательность конструирования дорожных одежд:

– назначение вида покрытия;

– выбор материалов для устройства слоев дорожной одежды и их размещение в конструкции;

– назначение числа конструктивных слоев и их ориентировочных толщин;

– назначение морозо- или теплозащитных и других дополнительных слоев, а также мер по повышению трещиностойкости и сдвигоустойчивости слоев на основе предварительной оценки их необходимости и целесообразности;

– отбор конкурентоспособных вариантов с учетом местных природных и проектных условий работы.

*Назначение вида покрытия*

Вид покрытия назначают в зависимости от категории дороги и ее капитальности [18]. Капитальные одежды с асфальтобетонным покрытием применяют на дорогах I – III категорий, на основных внутрихозяйственных дорогах крупных промышленных предприятий и важных строительных объектов. На магистральных дорогах с тяжелым и скоростным движением основания нужно устраивать преимущественно из укрепленных материалов. Дорожные одежды, основа-

ния которых выполнены из укрепленных материалов (в том числе из уплотненных грунтов), работают эффективно при любых нагрузках.

При выборе материала для верхнего слоя основания надо учитывать категорию дороги и тип покрытия. Кроме того, необходимо помнить, что слои, обработанные органическими вяжущими, обладают лучшими деформационными качествами, чем укрепленные неорганическими вяжущими. Но материалы, содержащие органическое вяжущее, очень чувствительны к высокой положительной температуре, при которой снижается их сдвигоустойчивость. При значительных отрицательных температурах повышается хрупкость материала.

Асфальтобетонное покрытие должно быть, как правило, однослойное. Минимальную толщину покрытия назначают по нормам действующего СНиП.

Для верхнего слоя асфальтобетонного покрытия выбирают материал в соответствии с ГОСТ 9128–97 (табл. 5.2). Основания дорожных одежд следует проектировать из материалов, указанных в табл. 5.3.

При перспективной интенсивности движения до 3000 *ед/сут* и при стадийном строительстве допускается конструкция покрытия из *пористого* асфальтобетона с поверхностной обработкой. Если покрытие из *высокопористого* асфальтобетона, необходима двойная поверхностная обработка.

Конструкция дорожной одежды в местах остановок общественного транспорта, на регулируемых пересечениях и в других местах изменения скорости должна обеспечить повышенную сдвигоустойчивость при высоких летних температурах. С этой целью покрытия устраивают из асфальтобетонных смесей типа А и Б, высокоплотных смесей, а основание – из крупнозернистых смесей либо из каменных материалов, укрепленных цементом.

При стадийном строительстве или возможном перспективном повышении капитальности дорожной одежды допускается применение холодного асфальтобетона.

Асфальтобетонную часть несущего *основания* следует проектировать *однослойной*. Двухслойное асфальтобетонное основание допускается применять лишь при необходимости использования в нижнем слое основания асфальтобетонов пониженной сдвигоустойчивости (высокопористый, песчаный). В этом случае общая толщина асфальтобетонных слоев повышенной сдвигоустойчивости (покрытие + основание из крупнозернистого асфальтобетона) должна быть не менее 12 см.

Таблица 5.2

Область применения асфальтобетонов при устройстве верхних слоев покрытий автомобильных дорог и городских улиц

ДКЗ	Вид асфальтобетона	Категория автомобильной дороги					
		I, II		III		IV	
		Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума
I	Плотный и высокоплотный	I	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300	II	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200	III	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200
II, III	Плотный и высокоплотный	I	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БН 90/130	II	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БН 90/130 БН 60/90 БН 90/130 БН 130/200 БН 200/300	III	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БН 90/130 БН 60/90 БН 90/130 БН 130/200 БН 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200
	Из холодных смесей	–	–	I	СГ 70/130 СГ 130/200	II	СГ 70/130 СГ 130/200 МГ 70/130 МГ 130/200 МГО 70/130 МГО 130/200
IV, V	Плотный	I	БНД 40/60 БНД 60/90 БН 40/60 БН 60/90	II	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН 90/130	III	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН 90/130
	Из холодных смесей	–	–	I	СГ 70/130 СГ 130/200	II	СГ 70/130 СГ 130/200 МГ 70/130 МГ 130/200 МГО 70/130 МГО 130/200

Примечания: 1. Для городских скоростных и магистральных улиц и дорог следует применять асфальтобетоны из смесей видов и марок, рекомендуемых для дорог I и II категорий; для дорог промышленно-складских районов – рекомендуемых для дорог III категории; для остальных улиц и дорог – рекомендуемых для дорог IV категории.



2. Битумы марок БН рекомендуется применять в мягких климатических условиях, характеризующихся средними температурами самого холодного месяца года выше минус 10 °С.
3. Битум марки БН 40/60 должен соответствовать технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Таблица 5.3

Материалы для оснований и нижних слоев  
покрытия дорожных одежд

Категория дороги	Материал
I, II	Горячие и холодные смеси для пористого асфальтобетона марки II, высокопористого асфальтобетона марки I Горячие смеси для пористого дегтебетона марки II
III	Горячие смеси для высокопористого асфальтобетона марки II
II– III	Каменные материалы, обработанные органическими вяжущими методами смешения в установке, пропитки, смешения на дороге
III, IV	Грунты, обработанные битумными эмульсиями, или жидкими битумами, или каменноугольными вяжущими совместно с цементом или известью
III– V	Грунты, укрепленные минеральными вяжущими с добавками или без добавок ПАВ или активных веществ, I и II классов прочности
IV, V	Грунты, обработанные органическими вяжущими с добавкой ПАВ или без добавки

Основание из зернистых материалов, как правило, должно быть двухслойным: несущий слой из жестких и сдвигоустойчивых материалов (щебень, гравий, щебеночно- или гравийно-песчаные смеси, материалы и грунты, укрепленные неорганическим вяжущим) и дополнительный слой, выполняющий морозозащитные и дренирующие функции.

*Конструирование капитальных дорожных одежд*

Несущий слой *основания* капитальных одежд следует устраивать из прочных материалов: пористого асфальтобетона; щебеночных смесей, обработанных битумной эмульсией; фракционированного щебня, обработанного вязким битумом по способу пропитки; фракционированного щебня, уложенного по принципу расклинки.

На дорогах, предназначенных для движения автомобилей грузоподъемностью 8 т и более, верхняя часть несущего основания должна быть предусмотрена из асфальтобетона, если толщина слоев покрытия 3–5 см.

Нижняя часть несущего основания может устраиваться из укрепленных грунтов, каменных материалов (монолитные слои), а также из зернистых материалов, отвечающих требованиям СНиП и ГОСТов.

Для дорог с большой интенсивностью движения необходимо укладывать разделяющие прослойки из геотекстиля – на контакте слоев из крупнозернистых материалов (щебень, гравий) и из песка (в целях предотвращения заиливания).

#### *Конструирование облегченных и переходных дорожных одежд*

Дорожные одежды облегченного типа с усовершенствованным покрытием (асфальтобетонные, дегтебетонные, из черного щебня, из щебня, обработанного вяжущими по способу пропитки, из крупнообломочных материалов, из песчаных грунтов, обработанных в установке битумной эмульсией совместно с цементом) целесообразно применять на дорогах III, IV категорий, а также при стадийном строительстве дорожных одежд на дорогах II категории.

Предварительную толщину покрытия из асфальтобетона облегченных одежд следует назначать равной 4–6 см, а при использовании прочих (указанных выше) материалов – 6–8 см.

Основания для облегченных одежд с усовершенствованным покрытием предусматривают из монолитных зернистых материалов. При этом на дорогах III и IV категорий целесообразно устраивать основание из гравийно-песчаных смесей, обработанных эмульсией; различных материалов и грунтов побочных продуктов промышленности, обработанных неорганическими комплексными вяжущими, щебеночных и щебеночно-гравийных смесей.

Дорожные одежды *переходного* типа (щебеночные и гравийные из прочных пород; из малопрочных каменных материалов и грунтов, укрепленных органическими, неорганическими или комплексными вяжущими; мостовые из булыжного и колотого камня) можно предусматривать на дорогах IV и V категорий, а также при стадийном строительстве дорожной одежды на дорогах III категории. При этом надо стремиться, чтобы одежда состояла из одного-двух слоев.

Для покрытий, устраиваемых по способу заклинки, применяют фракционированный щебень естественных горных пород, щебень горнорудных отходов и щебень из малоактивных металлургических шлаков, отвечающих требованиям ГОСТов.

#### *Конструирование дополнительных слоев основания*

Дополнительные слои создают условия для снижения толщины вышележащих слоев из дорогостоящих материалов.

*Морозозащитные слои* устраивают из стабильных зернистых материалов: песка, песчано-гравийной смеси, гравия, щебня, шлаков

и других непучинистых материалов. Для морозозащитных слоев можно использовать грунты, укрепленные вяжущими и гидрофобизированные. Морозозащитный слой рекомендуется устраивать на всю ширину земляного полотна с выходом на откосы насыпи; тогда он выполняет и функцию дренирующего слоя.

*Дренирующие слои* устраивают на участках с земляным полотном из недренирующих грунтов во всех случаях при 3-й схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна; при необеспеченном стоке поверхностных вод в районах с большим количеством осадков (II и III ДКЗ), а также на участках, где запроектированы вогнутые кривые, в выемках, нулевых отметках и других случаях, когда возможно скопление воды в основании проезжей части.

*Капилляроррывающие прослойки* толщиной 10–15 см из крупного песка или гравия предусматривают на всю ширину земляного полотна. Для предохранения прослойки от быстрого загрязнения под и над ней устраивают прослойки, играющие роль фильтров.

Если крупнообломочный материал (типа щебня, гравия, шлака) укладывается непосредственно на грунт земляного полотна, предусматривают *прослойку*, препятствующую взаимопрониканию материалов смежных слоев. В качестве прослойки можно применять мелкий щебень, высевки, гравийно-песчаные смеси, крупные и средней крупности пески, непывеватые шлаки, непучинистые золошлаки, геотекстильные материалы и др.

Толщину прослойки из зернистого материала нужно принимать от 5 до 20 см в зависимости от степени увлажнения земляного полотна. Защитной прослойкой может служить слой из грунта, укрепленного вяжущими, толщиной 5–8 см.

Прослойку из геотекстильных материалов следует также предусматривать при укладке крупнопористых материалов на песчаный слой на дорогах I – III категорий.

На пучиноопасных участках рекомендуется предусматривать *теплоизоляционные слои* из специальных материалов, если традиционные мероприятия по обеспечению морозоустойчивости конструкции технически сложны или экономически нецелесообразны. Для устройства теплоизоляционных слоев в особо неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях («мокрые» выемки, низкие насыпи, высокое залегание грунтовых вод и т. д.) в качестве теплоизолятора могут использоваться легкие бетоны, керамзит, аглопорит, гранулы полистирола и др.

Расстояние от поверхности покрытия до теплоизолирующего слоя должно быть не менее 0,5 м (для предотвращения опасности гололедообразования). Теплоизолирующий слой должен быть шире проезжей части на 0,5–1,5 м с каждой стороны.

Морозоустойчивость дорожной конструкции обеспечена без дополнительных мероприятий в следующих условиях:

- в районах с глубиной промерзания менее 0,6 м;
- при земляном полотне из непучинистых грунтов;
- если общая толщина дорожной одежды по условиям прочности превышает  $2/3$  глубины промерзания.

Дренирующие слои с водоотводными устройствами (в основаниях и дополнительных слоях) следует назначать на тех участках, где земляное полотно выполнено из глинистых грунтов или из пылеватых песков в следующих случаях:

- во II ДКЗ при всех схемах увлажнения рабочего слоя;
- в III ДКЗ при второй и третьей схемах увлажнения земляного полотна;
- в IV и V ДКЗ при третьей схеме увлажнения.

Толщину дополнительных слоев оснований рассчитывают отдельно согласно требованиям СНиП [3] по методике, изложенной в инструкции ОДН 218.046–01.

При этом следует помнить, что если в дополнительном слое основания применяют песок, коэффициент неоднородности которого  $K_n < 3$ , то поверх песка необходимо предусмотреть защитный (технологический) слой из гравелистых или крупных песков оптимального состава, из щебеночно-(гравийно-)песчаных смесей или отсевов дробления изверженных пород.

Толщина защитного слоя принимается равной  $h_3 = 10$  см при  $K_n$  2–3 и  $h_3 = (15–20)$  см при  $K_n < 2$ .

#### *Назначение количества и толщины слоев*

Число слоев одежды более всего зависит от ее капитальности и прочностных свойств используемых материалов, но во всех случаях необходимо предусматривать по возможности меньшее число слоев.

Согласно ОДН 218.046–01 асфальтобетонные покрытия должны быть, как правило, однослойными нормативной толщины (табл. 5.4), а толщина слоя асфальтобетонного основания должна определяться расчетом на прочность. Заметим, что однослойные асфальтобетонные покрытия удовлетворительно работают только на прочных основаниях,

обработанных органическим вяжущим, и на основаниях из низкомарочного «тощего» цементобетона.

Для капитальных одежд асфальтобетонные покрытия устраивают из сравнительно дорогих материалов, поэтому их толщину следует назначать близкой к минимальной, указанной в табл. 5.4. Однако следует помнить, что покрытия толщиной 3–5 см на дорогах, предназначенных для движения большегрузных автомобилей, удовлетворительно работают только на основаниях, верхний слой которых также из асфальтобетона.

Таблица 5.4

Наименьшая допускаемая толщина конструктивных слоев дорожной одежды

Материалы покрытий и других слоев дорожной одежды	Толщина слоя, см	
Асфальтобетон или дегтебетон крупнозернистый	6–7	
Асфальтобетон или дегтебетон мелкозернистый	3–5	
Асфальтобетон или дегтебетон песчаный	3–4	
Щебеночные (гравийные) материалы, обработанные органическими вяжущими	8	
Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу пропитки	8	
Щебеночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими:	на песчаном основании	15
	на прочном основании (каменном или укрепленного грунта)	8
Каменные материалы и грунты, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10	

Примечания: 1. Большие толщины асфальтобетонных покрытий следует принимать для дорог I и II категорий, а меньшие – для дорог III и IV категорий.

2. Толщину конструктивного слоя следует принимать во всех случаях не менее 1,5 размера наиболее крупной фракции применяемого в слое минерального материала.

3. В случае укладки каменных материалов на глинистые и суглинистые грунты следует предусматривать прослойку толщиной не менее 10 см из песка, высевок, укрепленного грунта или других водостойчивых материалов.

Толщину слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на верхний слой основания из материалов, укрепленных цементом, для ограничения «отраженных» трещин на покрытии нужно принимать не менее толщины слоев, укрепленных цементом. При этом толщина слоев с ОВ должна быть не менее 18 см при капитальных одеждах и 12 см при облегченных.

Размещая конструктивные слои одежды, необходимо помнить следующее:

– верхние слои двухслойных покрытий, равно как и верхние слои оснований, должны быть из более прочных материалов, чем нижние;

– однослойные покрытия (основания) следует проектировать из материалов, рекомендуемых для устройства верхних слоев покрытий (оснований).

#### *Область применения малопрочных материалов*

Дорожные одежды с покрытием из малопрочных материалов на песчаном, гравийном и щебеночном основаниях, а также на основании из укрепленного грунта удовлетворительно работают только в IV и V ДКЗ при интенсивности движения не более 100 авт/сут с нагрузкой на ось не более 70 кН. При большей интенсивности движения малопрочные материалы следует обрабатывать вяжущими (органическими или минеральными). Наибольший эффект при устройстве оснований под усовершенствованные покрытия, а также при устройстве покрытий на дорогах IV и V категорий обеспечивают «тощий» цементобетон на основе слабого известнякового щебня, ракушечника, речных песчаников, а также гравийные материалы, укрепленные неорганическим вяжущим.

Шлаковый щебень из высококачественных и активных шлаков можно использовать для покрытий на дорогах IV – V категорий и оснований дорог II – IV категорий. Для улучшения прочности и деформационных качеств шлакового щебня его следует обработать вяжущими.

В случае использования в основании одежд местных малопрочных каменных материалов (щебень с маркой по прочности не ниже 200; гравий и щебень из условия по дробимости не ниже  $D_p$  24; песчано-гравийные смеси; гравелистые пески и другие сдвигоустойчивые материалы с модулем упругости менее 250 МПа) несущий слой основания должен быть из прочного щебня либо из укрепленных органическими вяжущими материалов с минимальной конструктивной толщиной, допускаемой СНиП [3]. При этом толщину нижнего слоя обосновывают расчетом.

Расположение неукрепленных материалов между слоями из материалов или грунтов, обработанных вяжущими, не допускается [17].

#### *Пример конструирования дорожной одежды капитального типа*

**Задание:** выбрать вид покрытия, назначить число конструктивных слоев с выбором материала для их устройства; назначить ориен-

тировочные толщины слоев в соответствии с требованиями строительных норм.

**Исходные данные:**

- дорога III технической категории во II ДКЗ;
- интенсивность движения на конец срока службы  $N_p=700 \text{ авт/сут}$ ;
- приращение интенсивности  $q=1,05$ ;
- тип местности по характеру и степени увлажнения – 1-й;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий;
- обеспеченность местными дорожно-строительными материалами: песок среднезернистый, гравий из прочных осадочных пород, щебень карьерный;
- относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна, доли ед. от влажности на границе текучести –  $0,62W_T$ ;
- заданный срок службы дорожной одежды – 12 лет.

**Решение**

В соответствии с условиями задания (дорога III категории,  $N_p=700 \text{ ед/сут}$  и т.д.) и с учетом требований нормативных документов (см. п. 2.5.1) назначаем тип дорожной одежды – капитальный; покрытие – однослойное асфальтобетонное. Помня, что при таком покрытии верхний слой основания должен быть также из асфальтобетона, предусматриваем двухслойное основание из прочных материалов:

- верхняя часть несущего основания – из пористого асфальтобетона;
- нижняя часть основания – из фракционированного щебня прочных горных пород, уложенная способом заклинки.

Поскольку грунт земляного полотна относится к водонепроницаемым ( $K_f < 0,005 \text{ м/сут}$ ), а II ДКЗ относится к районам с большим количеством осадков, предусматриваем в конструкции дренирующий слой (дополнительный слой основания) на всю ширину земляного полотна из песка среднезернистого с коэффициентом фильтрации  $K_f > 5 \text{ м/сут}$ .

*Выбор материалов для покрытия и основания*

Вид, марку и тип асфальтобетона для покрытия выбираем, ориентируясь на рекомендации ГОСТ 9128–97 (см. табл. 5.2) и требования СНиП 2.05.02–85.

Помня, что проектируемая дорога размещается в зоне повышенного увлажнения (количество осадков более  $500 \text{ мм/год}$ ), применяем в однослойном покрытии плотный асфальтобетон (с остаточной пори-

стостью свыше 2,5 до 5,0 %) типа *Б*. Асфальтобетонная смесь II марки на вязком битуме БНД 90/130; температура укладки смеси не ниже 120°С.

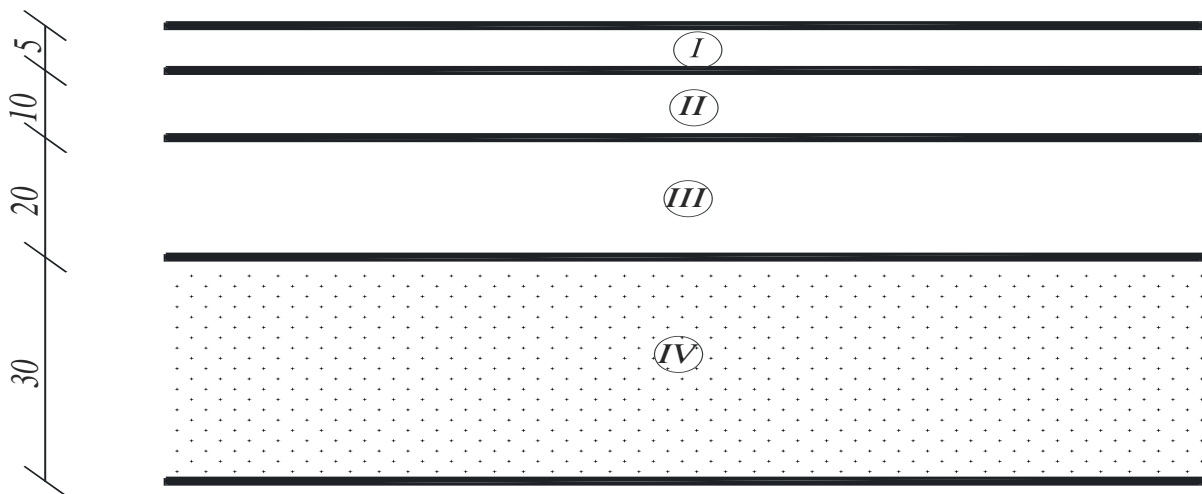
Верхний слой *основания* проектируем из пористого асфальтобетона (остаточная пористость свыше 5 до 10 %).

Для нижнего слоя несущего основания предусматриваем основной материал – щебень с крупностью зерен 40–80 мм; для расклинивания используем фракции от 5 до 20 мм.

Ориентировочную *толщину слоев* принимаем согласно рекомендуемой СНиП (см. табл. 5.4):

- покрытие из плотного асфальтобетона  $h_1 = 5$  см;
- верхний слой основания из крупнозернистого пористого асфальтобетона  $h_2 = 10$  см;
- нижний слой основания из фракционированного щебня без обработки вяжущими по ГОСТ 25607–94  $h_3 = 20$  см;
- дополнительный слой основания из средnezернистого песка  $h_n = 30$  см;

Принятая конструкция дорожной одежды схематично представлена на рис.5.1.



- Ⓘ - Плотный асфальтобетон из горячей мелкозернистой гравийной смеси типа *Б*, II марки (ГОСТ 9128-97);
- Ⓜ - Асфальтобетон пористый из горячей крупнозернистой гравийной смеси II марки (ГОСТ 9128-97);
- Ⓝ - Фракционированный щебень I кл. прочности, уложенный по способу заклинки по ГОСТ 25607-94;
- Ⓓ - Песок средней крупности по ГОСТ 8736-93;  
Грунт рабочего слоя земляного полотна - суглинок легкий

Рис. 5.1. Конструкция дорожной одежды капитального типа



### 5.3. РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ПРОЧНОСТЬ

#### 5.3.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под прочностью дорожной одежды понимают способность сопротивляться процессу остаточных деформаций и разрушений под действием касательных и нормальных напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте от расчетной нагрузки (кратковременной многократной или статической, однократно приложенной к поверхности покрытия).

Дорожные одежды следует проектировать с учетом требуемого уровня надежности  $K_n$ , под которой понимают вероятность безотказной работы в течение всего межремонтного периода.

Расчетный срок службы дорожной одежды допускается назначать в соответствии с рекомендациями ОДН 218.046–01; для дорог федерального значения межремонтные сроки следует принимать согласно [19].

В качестве количественного показателя отказа дорожной одежды принимают коэффициент разрушения  $K^{np}_p$ , представляющий собой отношение суммарной протяженности участков дороги, требующих ремонта из-за недостаточной прочности, к общей протяженности дороги. Значение  $K^{np}_p$  на последний год службы принимают в зависимости от капитальности одежды и категории дороги (табл. 5.5). Прочность конструкции количественно оценивается коэффициентом прочности  $K_{np}$ . Для вновь проектируемой конструкции  $K_{np}$  должен быть таким, чтобы в заданный межремонтный срок не наступил отказ по прочности, т.е. чтобы была обеспечена заданная (требуемая) надежность. Расчетный  $K_{np}$  должен быть не менее минимального значения  $K^{np}_{np}$ , принимаемого по табл.5.5 в зависимости от расчетного критерия прочности.

#### *Критерии прочности дорожной одежды*

Дорожные одежды рассчитывают на прочность по трем критериям:

- сопротивлению упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивлению сдвигу в грунте земляного полотна и слоях из слабосвязанных материалов;
- сопротивлению растяжению при изгибе монолитных слоев одежды.

Дорожные одежды капитального и облегченного типов рассчитывают по всем трем критериям.

Таблица 5.5

Требуемые минимальные коэффициенты прочности при заданных уровнях надежности для расчета дорожных одежд по различным критериям прочности

Тип дорожной одежды		Капитальный										
Категория дороги		I		II		III			IV			
Предельный коэффициент разрушения $K_{np}$		0,05					0,10					
Заданная надежность $K_n$		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80
Требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{mp}$ по критерию	упругого прогиба	1,50	1,30	1,38	1,20	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	0,94	1,00	0,04	0,90	0,87
Тип дорожной одежды		Облегченный										
Категория дороги		III			IV				V			
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{np}$		0,15										
Заданная надежность $K_n$		0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70
Требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{mp}$	упругого прогиба	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80
Тип дорожной одежды		Переходный										
Категория дороги		IV					V					
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{np}$		0,40										
Заданная надежность $K_n$		0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70			
Требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{mp}$ по критерию	упругого прогиба	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90			
	сдвига и растяжения при изгибе*	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80			

\*Дорожные одежды переходного типа для дорог V категории по критерию растяжения при изгибе не рассчитываются.

Одежды переходного и низшего типов рассчитывают по двум критериям – упругому прогибу и сдвигоустойчивости.

Конструкции, предназначенные для движения особо тяжелых транспортных средств (со статической нагрузкой на ось 120 кН и более) по упругому прогибу не рассчитывают.

Дорожную одежду на перегонах рассчитывают на кратковременное многократное действие подвижных нагрузок. Одежды на остановках, перекрестках, подходах к пересечениям с железнодорожными путями и т.п. должны быть дополнительно проверены на однократное нагружение при продолжительности нагружения не менее 10 мин.

Одежды на стоянках автомобилей и обочинах дорог следует рассчитывать на продолжительное нагружение. В этом случае используются статические значения расчетных параметров и коэффициенты на повторность не вводятся. Расчет ведут по критериям сдвига в грунте и в слабосвязанных материалах, а также слоях, обработанных органическим вяжущим.

#### *Расчетные параметры подвижной нагрузки*

В качестве расчетного типа принимают наиболее тяжелый автомобиль из систематически обращающихся по дороге, доля которых составляет не менее 10 % (с учетом перспективы изменения состава движения к концу межремонтного срока).

Величины расчетного удельного давления колеса  $p$  и расчетного диаметра отпечатка шины  $D$  для расчетного автомобиля группы  $A$  можно принимать по табл. 5.6, если в задании на проектирование расчетная нагрузка не оговорена специально.

*Таблица 5.6*

#### Нормативные нагрузки на ось автомобиля, соответствующие предельным

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на ось, кН	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$ , кН	Расчетные параметры нагрузки	
			$P$ , МПа	$D$ , см
$A_1$	100	50	0,60	37/33
$A_2$	110	55	0,60	39/34
$A_3$	130	65	0,60	42/37

Примечание. В числителе – для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного.

*Определение количества приложений расчетной нагрузки на поверхность конструкции*

Для установления нормативных значений характеристик материалов слоев конструкции и грунта необходимо знать суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы одежды  $\sum N_p$ , которое определяется по формуле

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{cl}-1)}} T_{p\delta z} K_n, \quad (5.1)$$

где  $N_p$  – приведенная интенсивность движения на последний год срока службы одежды, *авт./сут*;

$$N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^n N_m S'_{m сум}, \quad (5.2)$$

где  $K_c$  – коэффициент суммирования в зависимости от срока службы конструкции  $T_{cl}$ .

Для определения  $K_c$  можно использовать формулу

$$K_c = q^{T_{cl}-1} / (q-1), \quad (5.3)$$

где  $q$  – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам (предусматривается в задании на проектирование);  $T_{p\delta z}$  – расчетное число дней в году за срок службы конструкции  $T_{cl}$ , устанавливается по данным региональных исследований. Расчетным считается день, в течение которого возможны накопления остаточной деформации в грунте земляного полотна или малосвязных слоях одежды (из-за повышенной влажности, температуры асфальтобетонных слоев и т.п.). Количество расчетных дней  $T_{p\delta z}$  для 7-го района (Свердловская, Омская, Томская, Тюменская области, Ханты-Мансийский край и др.) ориентировочно можно принимать 130 – 150 *дней* (меньшие значения для центральных регионов).  $K_n$  – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого; принимается по табл. 5.7.

*Таблица 5.7*

Значения  $K_n$  для различных категорий дорог

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента $K_n$ при различных категориях дорог				
	I	II	III	IV	V
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	–
Облегченный	–	1,47	1,32	1,26	1,06
Переходный	–	–	1,19	1,16	1,04

$f_{пол}$  – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним.

Значения коэффициента  $f_{пол}$  принимают:

$f_{пол}=1,00$  – для однополосного движения;  $f_{пол}=0,55$  – для двухполосного движения;  $f_{пол}=0,50$  – при наличии трех полос движения (для полос №1 и №2);  $f_{пол}=0,35$  и  $f_{пол}=0,20$  – соответственно для полос №1 и №2 при наличии четырех полос. Порядковый номер полос считается справа по ходу движения.

Для расчета обочин принимают  $f_{пол}=0,01$ ;  $n$  – общее число транспортных средств в составе транспортного потока;  $N_m$  – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств  $m$ -й марки;  $S'_{m сум}$  – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства  $m$ -й марки к расчетной нагрузке допускается приближенно принимать по табл. 5.8.

Таблица 5.8

Значения суммарного коэффициента приведения  $S'_{сум}$  к расчетной нагрузке

Типы автомобилей	Коэффициент приведения к расчетной нагрузке $S'_{m сум}$
Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т	0,005
Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т	0,2
Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т	0,7
Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т	1,25
Автобусы	0,7
Тягачи с прицепами	1,5

### 5.3.2. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ В ЦЕЛОМ ПО ДОПУСКАЕМОМУ УПРУГОМУ ПРОГИБУ

Дорожная одежда удовлетворяет требованиям надежности и прочности по критерию упругого прогиба, если

$$E_{об} \geq E_{min} K_{np}^{mp}, \quad (5.4)$$

где  $E_{об}$  – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;  $E_{min}$  – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;  $K_{np}^{mp}$  – коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый по табл. 5.5.

При  $\sum N_p > 4 \cdot 10^4$  величину  $E_{min}$  рекомендуется вычислять по формуле

$$E_{min} = 98,65 [\lg(\sum N_p) - c], \quad (5.5)$$

где  $c$  – эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось 100 кН – 3,55; 110 кН – 3,25; 130 кН – 3,05.

Независимо от результата, полученного по формуле (5.5), требуемый модуль упругости  $E_{min}$  должен быть не менее указанного в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Минимальный требуемый общий модуль упругости

Категория дороги	Суммарное минимальное расчетное число приложений расчетной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости одежды, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	750000	230	–	–
II	500000	220	210	–
III	375000	200	200	–
IV	110000	–	150	100
V	40000	–	100	50

Последовательность расчета конструкции по упругому прогибу

1. Устанавливают коэффициент прочности  $K_{np}^{mp}$  при заданном уровне надежности  $K_n$  (см. табл. 5.5).

2. Вычисляют по формуле (5.1)  $\sum N_p$ .

3. Определяют по формуле (5.5) минимальный требуемый общий модуль упругости  $E_{min}$ , сравнивают его с нормативным, указанным в табл. 5.9, и большее из них принимают для дальнейших расчетов.

4. Устанавливают нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик материалов слоев одежды и подстилающего грунта. При этом модуль упругости слоев из асфальтобетона принимают при  $t = +10^{\circ}C$  (для всех ДКЗ).

5. Составляют расчетную схему с указанием ориентировочных толщин слоев одежды (рис.5.2).

6. Приводят многослойную конструкцию к однослойной с модулем упругости  $E_{общ}$ , эквивалентным по сопротивляемости всех слоев конструкции. Для этого с помощью номограммы прил. 5 рис. 1 последовательно, начиная снизу (с подстилающего грунта), вычисляют модули упругости на поверхности каждого слоя  $E_{общ}$ .

7. Проверяют соблюдение условия (5.4). Если это условие соблюдается, принятая конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу. При несоблюдении условия (5.4) в конструкцию необходимо внести коррективы: заменить материалы на более прочные, увеличить число слоев или их толщину и т.п.

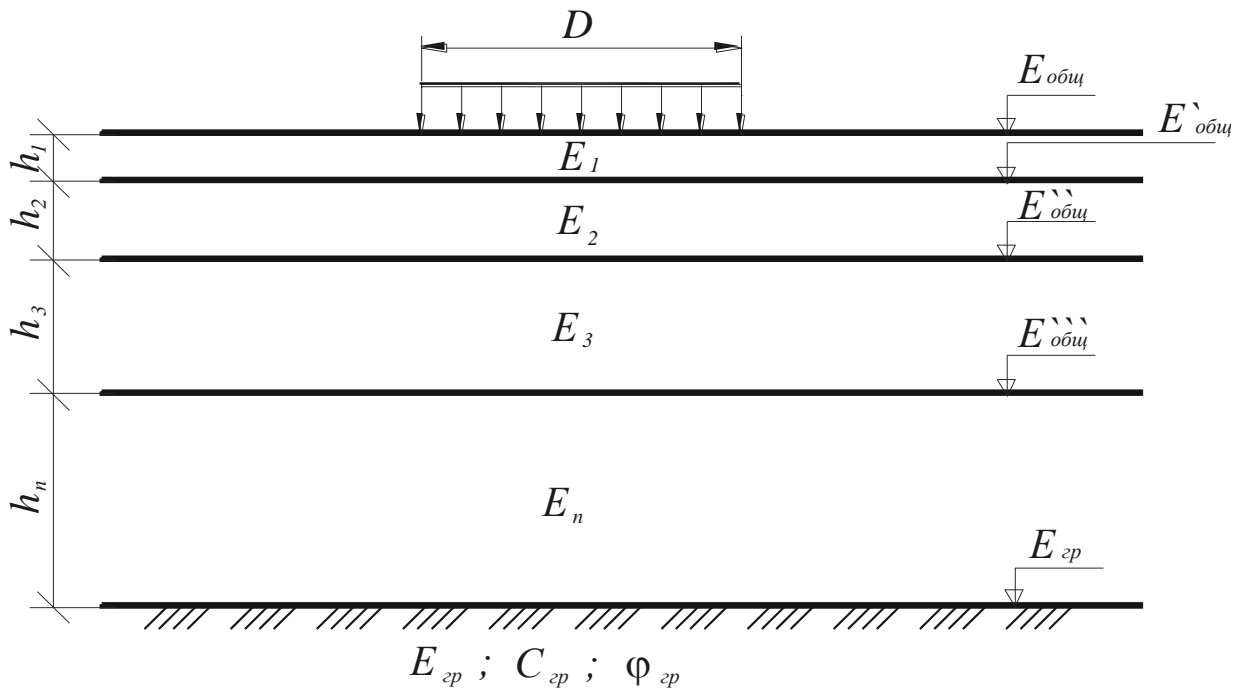


Рис.5.2. Схема для расчета конструкции по допустимому упругому прогибу

### 5.3.3. РАСЧЕТ ПО УСЛОВИЮ СДВИГОУСТОЙЧИВОСТИ ПОДСТИЛАЮЩЕГО ГРУНТА И СЛОЕВ ИЗ МАЛОСВЯЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дорожную одежду проектируют из расчета, чтобы под действием кратковременных или длительных нагрузок в подстилающем грунте или малосвязных (песчаных) слоях *за весь срок службы* не накапливались недопустимые остаточные деформации формоизменения.

Недопустимые *деформации сдвига* в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в малосвязных слоях обеспечено условие

$$T \leq T_{np} / K_{np}^{mp}, \quad (5.6)$$

где  $T$  – расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, не погашенная внутренним трением частиц грунта или песка) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующей временной нагрузки, МПа;  $T_{np}$  – предельная (допускаемая) величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг, МПа;  $K_{np}^{mp}$  – требуемое минимальное значение прочности по сдвигу, принимается с учетом заданного уровня надежности по табл. 5.5.

При расчете конструкции *на прочность по сдвигоустойчивости грунта земляного полотна* многослойную конструкцию приводят к

двухслойной расчетной модели (рис.5.3). В качестве нижнего слоя принимают рабочий слой земляного полотна, а в качестве верхнего – всю дорожную одежду. Толщину верхнего слоя двухслойной модели  $h_в$  принимают равной сумме всех слоев одежды ( $\sum_{i=1}^n h_i$ ).

При расчете *песчаного* слоя основания толщину верхнего слоя  $h_в$  модели принимают равной общей толщине слоев, лежащих *над* *песчаным*.

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют по формуле

$$E_в = \left( \sum_{i=1}^n E_i h_i \right) / \left( \sum_{i=1}^n h_i \right), \quad (5.7)$$

где  $n$  – число слоев дорожной одежды в расчетах на сдвиг грунта земляного полотна. При расчете песчаного слоя на сдвигоустойчивость  $n$  в формуле (5.7) означает число слоев, лежащих над песчаным слоем;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя, см;  $E_i$  – модуль упругости  $i$ -го слоя, МПа.

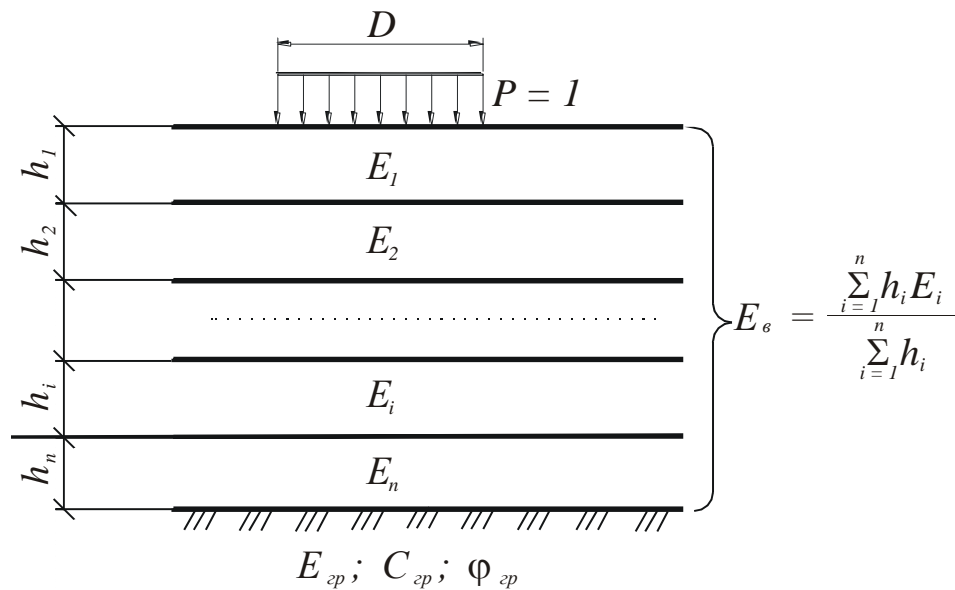


Рис.5.3. Схема приведения многослойной конструкции к двухслойной модели при расчете грунта земляного полотна на сдвигоустойчивость

Действующее в грунте (или в песчаном слое) расчетное активное напряжение сдвига  $T$  вычисляют по формуле

$$T = \overline{\tau}_н \rho, \quad (5.8)$$

где  $\overline{\tau}_н$  – удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки, определяемое с помощью номограмм (рис. 2 и 3 прил. 5).  $\rho$  – расчетное давление от колеса на покрытие, МПа (см. табл. 5.6).



Предельное активное напряжение сдвига  $T_{np}$  в грунте рабочего слоя (или в песчаном промежуточном слое) определяют по формуле

$$T_{np} = c_N k_\delta + 0,1 \gamma_{cp} z_{on} \operatorname{tg} \varphi_{cm}, \quad (5.9)$$

где  $c_N$  – сцепление в грунте земляного полотна (или в промежуточном песчаном слое), МПа, принимаемое с учетом суммарного числа приложений нагрузки  $\sum N_p$  (см. табл. 4 прил. 6).  $k_\delta$  – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания.

При устройстве нижнего слоя из укрепленных материалов, а также при укладке на границе основание – песчаный слой разделяющей прослойки из геотекстиля значение  $k_\delta$  принимают равным:

- 4,5 – при использовании в песчаном слое крупного песка;
- 4,0 – при использовании песка средней крупности;
- 3,0 – при использовании мелкого песка;
- 1,0 – во всех остальных случаях;

$z_{on}$  – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигу устойчивость, от верха конструкции, см;  $\gamma_{cp}$  – средневзвешенный удельный вес слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см<sup>3</sup>; 0,1 – коэффициент для перевода в МПа;  $\varphi_{cm}$  – расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки (принимается по табл. 2 прил. 6).

#### Последовательность расчета по сопротивлению сдвигу

1. Устанавливают по табл. 2 прил. 7 расчетные значения модулей упругости для слоев из асфальтобетона с учетом максимально возможной температуры в расчетный период (ранний весенний) для заданной ДКЗ.

Дорожно-климатическая зона....	I, II	III	IV	V
Расчетная температура, °С.....	+20	+30	+40	+50

2. По табл.1 прил. 6 устанавливают  $\bar{W}_{табл}$  – среднюю влажность грунта в зависимости от ДКЗ и типа местности по увлажнению (схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна). Затем определяют расчетную влажность грунта земляного полотна  $W_p$ . Если толщина дорожной одежды (включая дополнительные слои основания)  $z_1 \geq 0,75$  м, то для определения  $W_p$  используется формула

$$W_p = (\bar{W}_{табл} + \Delta_1 \bar{W} - \Delta_2 \bar{W})(1 + 0,1t) - \Delta_3, \quad (5.10)$$

где  $\bar{W}_{табл}$  – среднее многолетнее значение относительной влажности грунта (в долях от границы текучести);  $\Delta_1 \bar{W}$  – поправка на осо-

бенности рельефа территории. Для равнинных районов  $\Delta_1 \bar{W} = 0$ ; для предгорных – 0,03; для горных – 0,05;  $\Delta_2 \bar{W}$  – поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин; принимается по табл. 5 прил. 6;  $\Delta_3$  – поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды, устанавливаемая по графику рис. 6 прил. 5;  $t$  – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности  $K_n$ :

$K_n$ .....	0,85	0,90	0,95	0,98
$t$ .....	1,06	1,32	1,71	2,19

В зависимости от  $W_p$  и суммарного числа приложений нагрузки  $\sum N_p$ , вычисленного по формуле (5.1), находят нормативные значения сдвиговых характеристик грунтов:  $\varphi_{сп}$  – угол внутреннего трения,  $c_{сп}$  – сцепление (табл. 4 прил. 6), модуль упругости  $E_{сп}$  (табл. 3 прил. 6). Если в конструкции предусмотрен дополнительный песчаный слой, сдвиговые характеристики песка определяют по табл. 4 прил. 6.

При суммарной толщине слоев одежды  $z_1 < 0,75$  м расчетную влажность грунта (рабочего слоя земляного полотна) принимают равной табличной среднесуточной ( $W_p = \bar{W}_{табл}$ ), устанавливаемой по табл. 1 прил. 6 в зависимости от ДКЗ (и подзоны) и схемы увлажнения рабочего слоя.

При расчете на сдвигоустойчивость *песчаного слоя* нижнему слою двухслойной модели условно присваивают обычные сдвиговые характеристики ( $c_n$  и  $\varphi_n$ ) без учета влажности. Модуль упругости нижнего слоя двухслойной модели  $E_{нес.общ}$  (на поверхности песчаного слоя) определяют пользуясь номограммой рис. 1 прил. 5.

3. Приводят многослойную конструкцию к двухслойной системе (см. рис. 5.3) с толщиной верхнего слоя  $h_g = \sum_{i=1}^n h_i$  и модулем упругости  $E_g$ , вычисленным по формуле (5.7).

4. По номограмме рис. 2 и 3 прил. 5 определяют активное напряжение сдвига  $\tau_n$  от единичной временной нагрузки  $\rho = 1$  и вычисляют расчетное напряжение сдвига в грунте земляного полотна (или в песчаном слое) по формуле (5.8) при расчетном давлении от колеса на покрытие  $\rho$ , установленном по табл. 5.6.

5. Вычисляют предельное напряжение сдвига для грунта земляного полотна (или песчаного слоя) по формуле (5.9).

6. Проверяют выполнение условия прочности по формуле (5.6). Если прочность конструкции не удовлетворяет требуемой надежности

$K_n$ , подбирают другую конструкцию, соответствующую этому условию, или изменяют толщины конструктивных слоев.

#### 5.3.4. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ ОТ РАСТЯЖЕНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ

Проверку прочности на сопротивление растяжению при изгибе выполняют только для монолитных слоев одежды: из асфальтобетона, слоев, укрепленных комплексными и минеральными вяжущими, и пр.

Условие, при соблюдении которого не образуются трещины от усталостного разрушения (под воздействием повторных кратковременных нагрузок), имеет вид

$$\delta_r < R_N / K_{np}^{mp}, \quad (5.11)$$

где  $K_{np}^{mp}$  – требуемый коэффициент прочности по критерию растяжения при изгибе, определяемый по табл. 5.5;  $R_N$  – прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений, МПа;  $\delta_r$  – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое.

Чтобы определить значение  $\delta_r$  в монолитном слое, необходимо реальную конструкцию заменить двухслойной моделью (рис. 5.4).

К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый. Толщину верхнего слоя принимают равной сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев  $h_в = \sum h_i$ . Значение модуля упругости верхнего слоя модели  $E_в$  определяют как средневзвешенное для всего пакета асфальтобетонных слоев, включая асфальтобетонные слои основания, по формуле (5.7).

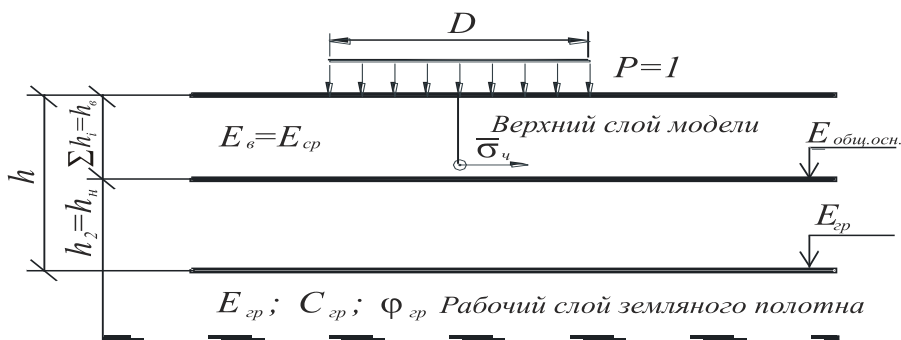


Рис. 5.4. Схема приведения многослойной конструкции к двухслойной модели для расчета на растяжение при изгибе асфальтобетонных слоев

Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная *ниже пакета асфальтобетонных слоев*, включая грунт рабочего слоя земляного полотна. Модуль упругости нижнего слоя модели  $E_{об.осн}$  определяют путем приведения многослойной системы к эквивалентной по сопротивляемости с помощью номограммы рис. 1 прил. 5.

Растягивающее напряжение в рассчитываемом слое определяют по формуле

$$\delta_r = \overline{\delta_r} \rho \kappa_\theta, \quad (5.12)$$

где  $\overline{\delta_r}$  – растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетном диаметре площадки, передающей нагрузку, *МПа*; определяется по номограмме рис. 4 прил. 5;  $\kappa_\theta$  – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном; принимается равным 0,85. При расчете на однобаллонное колесо  $\kappa_\theta=1,0$ ;  $\rho$  – расчетное давление, *МПа* (см. табл. 5.6).

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе определяют по формуле

$$R_N = R_0 k_1 k_2 (1 - V_{Rt}), \quad (5.13)$$

где  $R_0$  – нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе при расчетной *низкой* весенней температуре при *однократном* приложении нагрузки, принимаемое по табл. 1 прил. 7. В качестве предельного растягивающего напряжения  $R_N$  принимают значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки; определяется по формуле

$$k_1 = \alpha / \sqrt[m]{\sum N_p}, \quad (5.14)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий различия в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузки, а также вероятность совпадения во времени расчетной (низкой) температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности; принимается по табл. 1 прил. 7;  $m$  – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя (табл. 1 прил. 7);  $\sum N_p$  – см. формулу (5.1).

Коэффициент  $k_2$  в формуле (5.13) принимают в зависимости от материала рассчитываемого слоя по табл. 5.10.

$V_R$  – коэффициент вариации в формуле (5.13) рекомендуется принимать равным  $V_R=0,1$ .

Таблица 5.10

Значения коэффициента  $k_2$

Материал расчетного слоя	$k_2$
Асфальтобетон	1,0
Высокоплотный	
Плотный	0,95
I марки	
II марки	
III марки	0,90
Пористый и высокопористый	0,80
Органоминеральные смеси	0,80

$t$  – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от уровня надежности (см. формулу (5.10)).

*Последовательность расчета на усталостную прочность*

1. Приводят конструкцию к двухслойной модели (см. рис. 5.4):  
 – определяют средний модуль упругости материалов верхнего слоя  $E_в$  (пакета слоев из однотипных материалов) по формуле (5.7). Если асфальтобетонное покрытие и несущее основание из прочных каменных материалов (фракционированного щебня, обработанного вязким битумом методом пропитки; щебня, укрепленного по методу пропитки цементно-песчаной смесью, и т.п.), тогда  $E_в=E_1$ ;

– вычисляют общий модуль упругости основания, подстилающего асфальтобетон  $E_{об. осн}$ , используя номограмму рис. 1 прил. 5.

2. Вычисляют отношения:  $h_в/D$  и  $E_в/E_{об.осн}$  и по вычисленным отношениям определяют  $\overline{\delta}_r$  – растягивающее напряжение от единичной нагрузки в нижней точке рассчитываемого монолитного слоя под центром нагруженной площади, где эти напряжения достигают наибольшего значения (см. рис.5.4). Для определения  $\overline{\delta}_r$  используют номограмму рис. 4 прил. 5.

3. Устанавливают по табл. 1 прил. 7 нормативное сопротивление растяжению при изгибе  $R_0$ . Причем если верхний слой двухслойной конструкции состоит из нескольких слоев (пакет монолитных слоев), то значение  $R_0$  принимают для материала нижнего слоя, где растягивающие напряжения максимальны, а материал менее прочный.

4. Устанавливают значения прочих расчетных параметров, входящих в формулу (5.13), и вычисляют прочность материала всего монолитного слоя (пакета) при многократном растяжении при изгибе  $R_N$ .

5. Проверяют условие (5.11) и при необходимости корректируют конструкцию.

#### **5.4. МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

##### **5.4.1. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ**

При неблагоприятных грунтовых и гидрологических условиях в районе размещения дороги необходимо обеспечить достаточную морозоустойчивость дорожных одежд. С этой целью ОДН 218.046.01 рекомендует назначить следующие мероприятия:

- использование непучинистых или слабопучинистых грунтов для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания (табл. 3–6 прил. 2);
- осушение рабочего слоя земляного полотна (устройство дренажа, гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек);
- устройство морозозащитного слоя из непучинистых минеральных материалов, в том числе укрепленных малыми дозами минеральных или органических вяжущих;
- устройство теплоизолирующих слоев, снижающих глубину или полностью исключаящих промерзание грунта под дорожной одеждой;
- устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (тощего бетона, зернистых материалов, обработанных минеральным или органическим вяжущим и т.п.).

##### **5.4.2. РАСЧЕТ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ**

Расчет на морозоустойчивость необходимо выполнять для характерных участков или групп участков, сходных по грунтово-гидрологическим условиям, имеющих одну и ту же конструкцию дорожной одежды и схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна.

При предварительной проверке на морозоустойчивость величину возможного морозного пучения определяют по формуле

$$l_{нуч} = l_{нуч.ср} K_{УГВ} K_{нл} K_{зр} K_{нагр} K_{вл}, \quad (5.15)$$

где  $l_{нуч}$  – расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;  $l_{нуч.ср}$  – величина морозного пучения при осредненных условиях, определяемая в зависимости от толщины дорожной одежды (включая

дополнительные слои основания), группы грунта по степени пучинистости (табл. 3, прил. 3) и глубины промерзания  $z_{np}$ ;  $K_{УГВ}$  – коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод; принимается по рис.5.5.

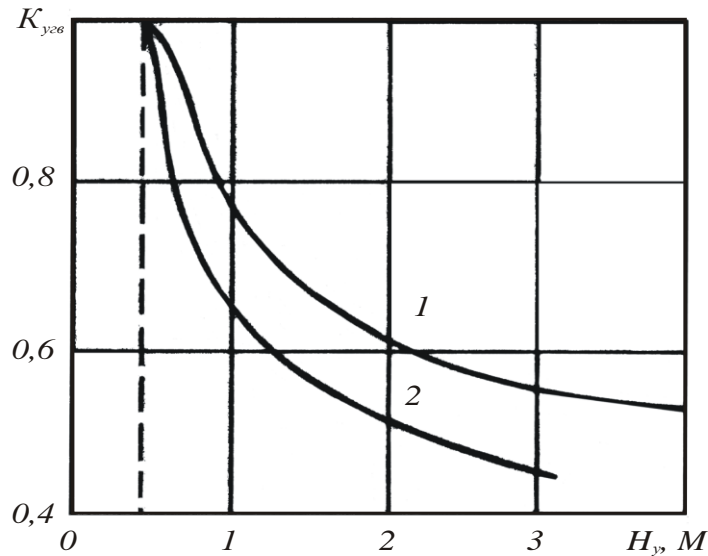


Рис. 5.5. Зависимость коэффициента  $K_{увл}$  от расстояния от низа дорожной одежды до расчетного УГВ или УПВ:  
 1 - супесь тяжелая и тяжелая пылеватая;  
 2 - песок, супесь легкая и легкая крупная

Если поверхностный сток обеспечен и грунтовые воды *не оказывают* влияния на увлажнение рабочего слоя земляного полотна (1-я схема увлажнения), коэффициент  $K_{УГВ}$  следует принимать:

- $K_{УГВ}=0,53$  – для супеси тяжелой и пылевой, а также для суглинка;
- $K_{УГВ}= 0,43$  – для песка и супеси легкой и супеси крупной;
- $K_{пл}$  – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта (табл. 5.11);

Таблица 5.11

Значения коэффициента  $K_{пл}$  для различных грунтов

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	$K_{пл}$	
	Песок пылеватый, супесь легкая и пылеватая, суглинки, глины	Пески, кроме пылеватых, супесь легкая крупная
1,03 – 1,00	0,8	1,0
1,01 – 0,98	1,0	1,0
0,97 – 0,95	1,2	1,1
0,94 – 0,90	1,3	1,2
Менее 0,90	1,5	1,3

$K_{гр}$  – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта:

Пески.....	1,0
Супеси.....	1,1
Суглинки.....	1,3
Глины.....	1,5

$K_{нагр}$  – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое, зависящий от глубины промерзания, определяется по графику рис. 5.6;

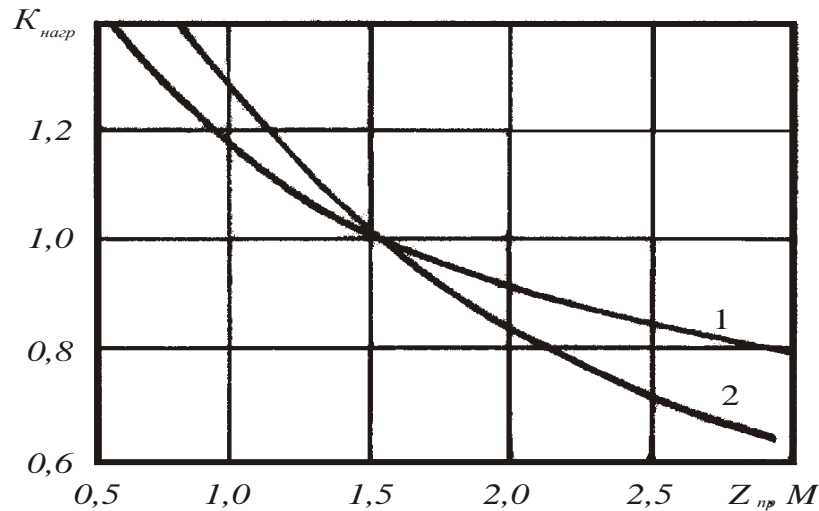


Рис. 5.6. Зависимость коэффициента нагружения  $K_{нагр}$  от глубины промерзания  $Z_{пр}$  от поверхности покрытия:  
 1 - супесь тяжелая и пылеватая; суглинок;  
 2 - песок; супесь легкая, крупная

$K_{вл}$  – коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта, выраженной отношением  $W/W_T$ .

Относительная влажность $W/W_T$ .....	0,6	0,7	0,8	0,9
$K_{вл}$ .....	1,0	1,1	1,2	1,3

Значение  $l_{нуч.ср}$  в формуле (5.15) устанавливают по графикам рис. 5.7, если глубина промерзания дорожной конструкции  $Z_{пр} < 2$  м. При  $Z_{пр}$  от 2,0 до 3,0 м  $l_{нуч.ср}$  вычисляют по формуле

$$l_{нуч.ср} = l_{нуч.ср.2.0} [a + v(z_{пр} - c)], \quad (5.16)$$

где  $l_{нуч.ср.2.0}$  – величина морозного пучения при  $Z_{пр}=2$  м.

Значения параметров:  $a=1,0$ ;  $v=0,16$ ;  $c=2,0$  при  $2,0 < Z_{пр} < 2,5$ ,  
 $a=1,08$ ;  $v=0,08$ ;  $c=2,5$  при  $2,5 < Z_{пр} < 3$ .



Конструкцию считают морозоустойчивой, если соблюдается условие

$$l_{нуч} \leq l_{доп}, \quad (5.17)$$

где  $l_{доп}$  – допускаемое для данной конструкции пучение грунта; принимается по табл. 5.12.

Таблица 5.12

Допускаемая величина морозного пучения

Тип дорожных одежд	Вид покрытия	$l_{доп}, см$
Капитальное	Асфальтобетонное	4
Облегченное	Асфальтобетонное	6
Переходное	Переходное	10

Если при расчетном сроке службы до 10 лет  $l_{нуч} > l_{доп}$ , а при сроке службы более 10 лет  $l_{нуч} > 0,8l_{доп}$ , тогда необходимо рассмотреть вариант устройства дополнительного морозозащитного слоя.

*Последовательность определения толщины морозозащитного слоя*

1. Устанавливают по табл. 5.12 величину допускаемого морозного пучения  $l_{доп}$ .
2. Определяют среднюю величину морозного пучения по формуле

$$l_{нуч.ср} = \frac{l_{доп}}{K_{УГВ} K_{пл} K_{зр} K_{назр} K_{вл}}. \quad (5.18)$$

3. По графикам рис.5.7 определяют толщину дорожной одежды в зависимости от группы грунта по степени пучинистости и глубины промерзания  $Z_{пр}$ .

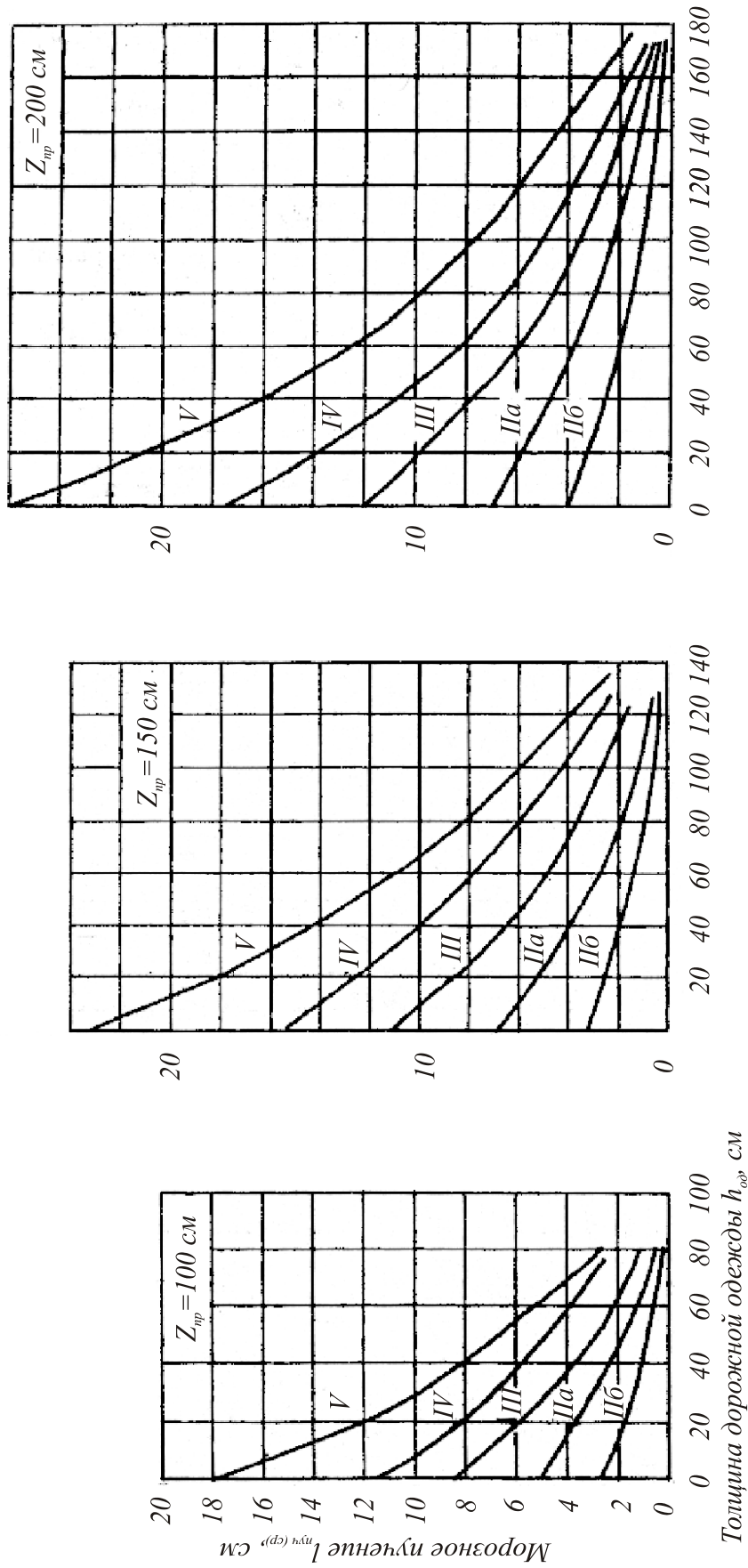


Рис. 5.7. Графики для определения осредненной величины морозного пучения  $l_{пуч.сп}$

Примечания: 1. Кривую (II-V) выбирают в соответствии с табл. 4 прил. 3.

2. Кривую IIa выбирают при 2-й и 3-й схемах увлажнения рабочего слоя, кривую IIб – при 1-й схеме увлажнения.

## 5.5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ

**Задание:** выполнить расчет дорожной конструкции, представленной на рис.5.1, по трем критериям прочности: допускаемому упругому прогибу всей конструкции, сдвигоустойчивости слоев малосвязных материалов и сопротивлению монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе; требуемую надежность дорожной конструкции принять  $K_n=0,95$ .

### **Исходные данные:**

- дорога III категории располагается во II ДКЗ;
- расчетная нагрузка – автомобиль группы А, предельная нагрузка на ось двухосного автомобиля 100 кН;
- приведенная к расчетной нагрузке интенсивность движения на конец службы дорожной одежды  $N_p=700$  авт./сут;
- приращение интенсивности движения  $q=1,05$  (для высококоразвитого района);
- грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – I;
- глубина залегания грунтовых вод  $Z_{МГВ}>3$  м (на глубине бурения скважин (3 м) грунтовые воды не замечены); исключение составляют участки пересечения логов.

Принятая конструкция дорожной одежды, материалы слоев, их толщина и другая информация представлены на рис. 5.1.

### 5.5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

1. Устанавливаем по табл.5.5 минимальные коэффициенты прочности  $K_{np}$  для заданной надежности  $K_n=0,95$ :

- по критерию упругого прогиба  $K_{np}=1,17$ ;
- по сдвигоустойчивости и растяжению при изгибе  $K_{np}=1,00$ .

2. Определяем по формуле (5.1) суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы. Для этого предварительно устанавливаем значения параметров, входящих в формулу (5.1):

- срок службы конструкции  $T_{сл}=12$  лет (см. прил. 7, табл. 10);
- число расчетных дней в году принимаем для Свердловской области  $T_{pdz}=140$  дней (7-й географический район);
- коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого,  $k_n=1,38$ ;

– коэффициент суммирования  $K_c$  принимаем для срока службы  $T_{сл}=12$  лет и увеличения интенсивности  $q=1,03$  равным  $K_c=21,6$  (прил. 7, табл. 11).

Для установленных параметров и заданной  $N_p=700$  авт./сут определяем по формуле (5.1):

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 700 \frac{21,6}{1,03^{(12-1)}} \cdot 140 \cdot 1,38 = 1032742 \text{ авт.}$$

3. Устанавливаем расчетные значения прочностных характеристик материалов слоев и грунта земляного полотна для расчета конструкции по трем критериям прочности (табл.5.13).

Для расчета *по упругому прогибу* модули упругости асфальтобетона принимаем при температуре покрытия  $t=+10$  °С (см. прил. 7, табл. 2):

– асфальтобетон плотный на вязком битуме марки БНД 90/130 (для покрытия)  $E_1=2400$  МПа;

– асфальтобетон пористый БНД 90/130 (верхняя часть основания)  $E_2=1400$  МПа;

– щебень фракционированный для нижней части основания  $E_3=450$  МПа (из легкоуплотняемого щебня, табл. 9 прил. 7);

– песок средней крупности (дополнительный слой основания)  $E_4=120$  МПа (табл. 3 прил. 6).

Таблица 5.13

Расчетные характеристики материала слоев  
дорожной одежды и грунта

Слой в конструкции	Материал слоя	$h$ слоя, см	Расчет по допустимому упругому прогибу $E$ , МПа	Расчет по сдвигоустойчивости			Расчет на растяжение при изгибе			
				$E$ , МПа	$C$ , МПа	$\varphi$ , град	$E$ , МПа	$R$ , МПа	$\alpha$	$m$
I	Асфальтобетон плотный на БНД марки 90/130	5	2400	1200	-	-	3600	9,5	5,4	5,0
II	Асфальтобетон пористый	10	1400	800	-	-	2200	7,8	6,3	4,0
III	Щебень фракционированный	20	450	450	-	-	450	-	-	-
IV	Песок средней крупности	30	120	120	$\frac{0,002}{0,005}$	$\frac{26}{33}$	120	-	-	-
Зем. полотно.	Суглинок легкий при $W_p=0,62W_T$	-	61	61	$\frac{0,011}{0,027}$	$\frac{8}{23}$	61	-	-	-

Примечание. В числителе сдвиговые характеристики ( $c$  и  $\varphi$ ) – с учетом повторности нагрузки ( $\sum N_p$ ); в знаменателе – при статическом действии нагрузки.

4. Для расчета конструкции *на сдвигоустойчивость* устанавливаем нормативные значения сдвиговых характеристик ( $c$  и  $\varphi$ ) малосвязных материалов (песок и грунты рабочего слоя), зависящие от  $\sum N_p$  и расчетной влажности  $W_p$ , вычисляемой по формуле (5.10). Но поскольку суммарная толщина слоев рассчитываемой конструкции  $Z_1=(0,05+0,10+0,20+0,30)<0,75$  м, за расчетную принимаем табличное значение  $\bar{W}_{табл}$ . Для суглинка легкого во II ДКЗ по 1-й схеме увлажнения рабочего слоя  $\bar{W}_{табл} = 0,62W_T$  (см. табл. 1 прил. 6).

При суммарном числе приложений нагрузки, равном  $\sim 1,0327 \cdot 10^6$  авт. и влажности  $\bar{W}_{табл} = 0,62W_T$  по табл. 2 прил. 6 находим значения  $c_{сп}=0,011$  МПа;  $\varphi_{сп}=8^\circ$ . Модуль упругости грунта находим по табл. 3 прил. 6; для тех же значений  $\bar{W}_{табл}$  и  $\sum N_p$  имеем:  $E_{сп}=61$  МПа.

Сдвиговые характеристики песка средней крупности, содержащего 5 % пылевато-глинистой фракции:  $c_{нес}=0,002$  МПа,  $\varphi_{нес}=26^\circ$ ,  $E_{нес}=120$  МПа (см. табл. 4 прил. 6).

При расчете *на сдвиг* модули упругости слоев на органическом вяжущем принимаем при  $t=+20^\circ\text{C}$  (для II ДКЗ). Для асфальтобетона:

- плотного  $E=1200$  МПа (см. табл. 2 прил. 7);
- пористого  $E=800$  МПа.

5. Для расчета *на сопротивление монолитных слоев* усталостному разрушению от растяжения при изгибе устанавливаем по табл. 1 прил. 2 значения прочностных и деформационных характеристик:

- для асфальтобетона плотного на битуме марки БНД 90/130  $E=3600$  МПа;  $m=5,0$ ;  $\alpha=5,4$ ;  $R_0=9,50$  МПа
- для асфальтобетона пористого марки БНД 90/130  $E=2200$  МПа;  $m=4,0$ ;  $\alpha=6,3$ ;  $R_0=7,8$  МПа.

Установленные нормативные величины вносим в табл. 5.13.

#### 5.5.2. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ПО ДОПУСКАЕМОМУ УПРУГОМУ ПРОГИБУ

Чтобы определить общий расчетный модуль упругости  $E_{об}$ , многослойную конструкцию приводим к эквивалентной однослойной (рис.5.8). Значения модулей упругости материалов слоев конструкции и рабочего слоя земляного полотна берем из табл. 5.13, а расчетные параметры  $\rho=0,6$  МПа и  $D=37$  см – из табл.5.6.

1. Приведение многослойной конструкции к однослойной ведем послойно, начиная с подстилающего грунта и последовательно опре-

деляя общие модули упругости на поверхности слоев:  $E''''_{общ}$ ,  $E''_{общ}$ ,  $E'_{общ}$  и  $E_{общ}$ .

Общие эквивалентные модули смежных слоев определяем с помощью номограммы рис. 1 прил. 5.

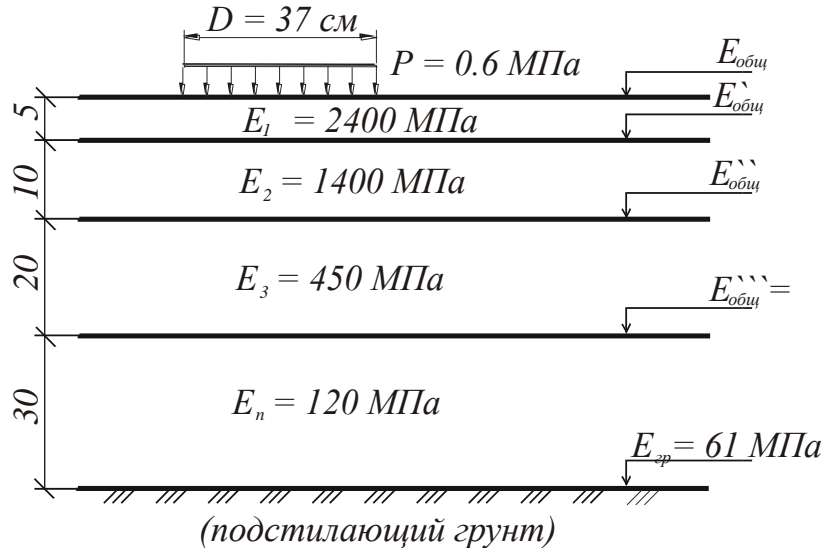


Рис. 5.8. Схема для расчета конструкции по упругому прогибу

Чтобы определить  $E''''_{общ}$  (на поверхности песчаного слоя) вычисляем отношения:

$$h_{нec} / D = 30 / 37 = 0,81 \quad \text{и} \quad E_{гр} / E_{нec} = 61 / 120 = 0,51.$$

По оси абсцисс номограммы откладываем значение  $h_{нec} / D = 0,81$ , а по оси ординат —  $E_{гр} / E_{нec} = 0,51$ . Проводим из этих точек перпендикуляры к осям номограммы до их пересечения. В точке пересечения читаем значение отношения  $E''''_{общ} / E_{нec} = 0,73$ , откуда находим  $E''''_{общ} = 0,73 \cdot 120 = 88$  МПа.

Определяем  $E''''_{общ}$ , предварительно вычислив отношения:

$$h_3 / D = 20 / 37 = 0,54 \quad \text{и} \quad E''''_{общ} / E_3 = 88 / 450 = 0,19.$$

По номограмме находим значение отношения  $E''''_{общ} / E_3 = 0,38$ , откуда находим  $E''''_{общ} = 0,38 \cdot 450 = 171$  МПа.

Определяем  $E'_{общ}$  в зависимости от отношений

$$h_2 / D = 10 / 37 = 0,27 \quad \text{и} \quad E'_{общ} / E_2 = 171 / 1400 = 0,12.$$

На кривой номограммы читаем значение отношения  $E'_{общ} / E_2 = 0,12$ , откуда находим  $E'_{общ} = 0,12 \cdot 1400 = 168$  МПа.

Для определения  $E_{общ}$  всей конструкции составляем отношение  $h_1/D = 5/37 = 0,13$  и  $E'_{общ}/E_1 = 252/2400 = 0,105$ .

По номограмме находим значение отношения

$$E_{общ}/E_1 = 0,13$$

и вычисляем  $E_{общ} = 0,13 \cdot 2400 = 312$  МПа.

2. Определяем минимальный *требуемый* модуль упругости конструкции  $E_{min}$ , предварительно установив необходимость расчета по формуле (5.5).

Поскольку суммарное число приложений нагрузки  $\sum N_p = 1032742$ , или  $\sim 103,27 \cdot 10^4 > 4 \cdot 10^4$ , следовательно, для определения  $E_{min}$  необходимо использовать формулу (5.5).

Принимаем эмпирический параметр  $c=3,55$  (для расчетной нагрузки на ось 100 кН) и вычисляем  $E_{min}$ :

$$E_{min} = 98,65 [\lg(\sum N_p) - c] = 98,65 [\lg(1032742) - 3,55] = 245 \text{ МПа.}$$

3. Сравниваем полученное значение  $E_{min}$  с минимальным (требуемым), указанным в табл.5.9, и наибольшее из них принимаем для дальнейших расчетов. Для дорог III категории с капитальным типом одежды  $E_{min}$  должен быть не менее 200 МПа, т.е. вычисленное по формуле (5.5) значение  $E_{min}$  больше табличного, поэтому принимаем  $E_{mp}=245$  МПа.

4. Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$K_{np} = E_{общ}/E_{mp} = 312/245 = 1,27.$$

5. Сравниваем  $K_{np}=1,27$  с нормативным, представленным в табл.5.5 ( $K_{np}=1,17$ ), и делаем заключение: при заданном уровне надежности ( $K_n=0,95$ ) выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

### 5.5.3. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ПО УСЛОВИЮ СДВИГУОУСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Для расчета по сдвигу подстилающего грунта используем ранее установленные нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик материалов слоев и земляного полотна (см. табл.5.13).

#### *Последовательность расчета*

1. Приводим многослойную конструкцию к двухслойной модели (рис. 5.9), принимая в качестве нижнего слоя грунт рабочего слоя земляного полотна, а в качестве верхнего – всю дорожную одежду.

Толщину верхнего слоя определяем как сумму толщин верхних слоев:

$$h_g = \sum_{i=1}^n h_i = 5 + 10 + 20 + 30 = 65 \text{ см.}$$

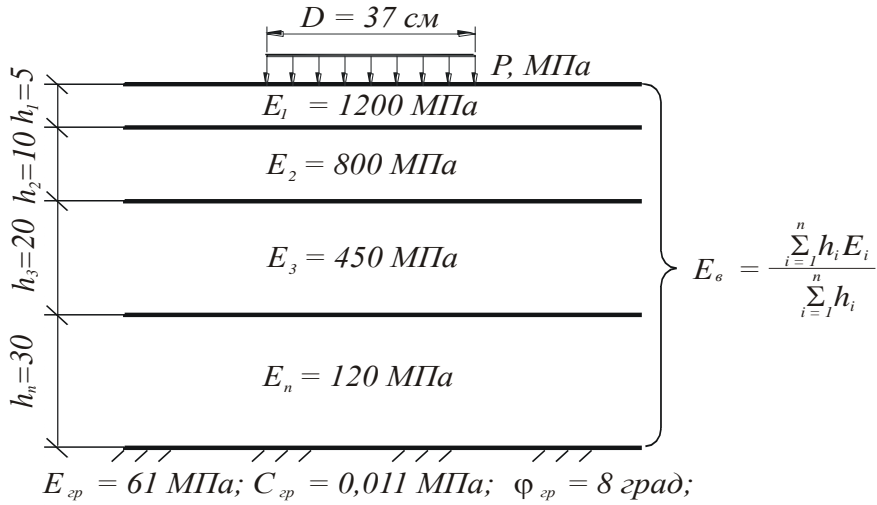


Рис. 5.9. Схема приведения многослойной конструкции к двухслойной модели для расчета земляного полотна по сдвигу

Модуль упругости верхнего слоя определяем по формуле (5.7):

$$E_g = (5 \cdot 1200 + 10 \cdot 800 + 20 \cdot 450 + 30 \cdot 120) / 65 = 409 \text{ МПа.}$$

2. Определяем удельное активное напряжение сдвига  $\bar{\tau}_H$  от единичной временной нагрузки  $\rho=1$ . Для этого используем номограмму рис. 2 прил. 5. Последовательность определения  $\bar{\tau}_H$ :

– вычисляем отношения

$$\sum_{i=1}^n h_i / D = 65 / 37 = 1,76 \quad \text{и} \quad E_g / E_H = 409 / 61 = 6,70,$$

– откладываем на верхней горизонтальной оси номограммы значение  $h/D = 1,76$ ; из этой точки проводим вертикальную линию до пересечения ее с кривой  $E_g/E_H = 6,70$  (на номограмме кривая обозначена  $E_1/E_2$ );

– от точки пересечения проводим прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения ее с лучом, означающим угол внутреннего трения  $\varphi=8^\circ$ ; затем от данной точки пересечения проводим вертикаль до нижней оси номограммы и читаем на ней значение:  $\bar{\tau}_H = 0,026 \text{ МПа.}$



3. Вычисляем по формуле (5.8) действующее в грунте активное напряжение сдвига от действующей временной нагрузки (часть сдвигающего напряжения, не погашенного внутренним трением):

$$T = \bar{\tau}_n \rho = 0,026 \cdot 0,6 = 0,0156 \text{ МПа}.$$

4. Вычисляем предельное активное напряжение сдвига  $T_{np}$  в грунте рабочего слоя по формуле (5.9) для следующих расчетных величин:  $\gamma_{cp}=0,002 \text{ кг/см}^2$ ;  $C_N=0,011$  (см. табл.5.13);  $K_\delta=1,0$  – поскольку нижний слой основания из неукрепленного материала, а геотекстильная разделяющая прослойка при этом не предусмотрена (см. п. 5.3.3);

$\varphi_{cm} = 23^\circ$  – угол внутреннего трения при *статическом* действии нагрузки для суглинка легкого при  $W_p=0,62W_T$ ;

$Z_{on}= 65 \text{ см}$  – глубина расположения поверхности рабочего слоя земляного полотна от верха конструкции; равна толщине дорожной одежды.

Для принятых расчетных характеристик определяем величину предельного активного напряжения сдвига  $T_{np}$  в грунте рабочего слоя, превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг:

$$T_{np} = C_N K_\delta + 0,1\gamma_{cp} Z_{on} \text{tg} \varphi_{cm} = 0,011 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 65 \text{tg} 23 = 0,0165 .$$

5. Определяем коэффициент прочности по условию сдвигоустойчивости грунта:

$$K_{np} = T_{np} / T = 0,0165 / 0,0156 = 1,06 .$$

6. Сравниваем полученное значение с требуемым нормативным ( $K_{np}^{mp} = 1,00$ ) и делаем *заключение*: при заданной надежности ( $K_n=0,95$ ) выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигоустойчивости грунта земляного полотна (недопустимые деформации сдвига в конструкции накапливаться не будут).

#### 5.5.4. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ ПО СДВИГОУСТОЙЧИВОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО СЛОЯ ОСНОВАНИЯ ИЗ ПЕСКА

Нормативные и расчетные характеристики материалов конструкции принимаем согласно табл.5.13 и ведем расчет в следующем порядке.

1. Приводим многослойную конструкцию к двухслойной модели (рис.5.10), принимая толщину верхнего слоя  $h_g$  модели равной общей толщине слоев, лежащих над песчаным:  $h_g=5+10+20=35 \text{ см}$ .

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (5.7):

$$E_g = (1200 \cdot 5 + 800 \cdot 10 + 450 \cdot 20) / 35 = 657 \text{ МПа}.$$

Принимаем вычисленное в п.п.5.5.2 значение модуля упругости нижнего слоя модели, т.е. на поверхности песчаного слоя, по упругому прогибу:  $E''_{общ} = 88 \text{ МПа}$ .

2. Определяем удельное активное напряжение сдвига  $\overline{\tau}_H$  от единичной нагрузки  $\rho$  по номограмме рис. 2 прил. 5. В соответствии с требованием ОДН 218.046–01 при расчете по условию сдвигоустойчивости в песчаном слое основания с помощью номограммы рис. 2 прил. 5 нижнему слою двухслойной модели присваиваем обычные сдвиговые характеристики песчаного слоя (без учета  $\sum N_p$ ):

- сцепление песка средней крупности  $c_{пес} = 0,005 \text{ МПа}$ ;
- угол внутреннего трения  $\varphi_{пес} = 40^\circ$ .



Рис. 5.10. Схема приведения многослойной конструкции к двухслойной модели для расчета промежуточного слоя из песка средней крупности (дополнительный слой основания) по сопротивлению сдвигу

По отношениям  $h_g/D = 35/37 = 0,94$ ,  $E_g/E_H = 657/88 = 7,46$  и  $\varphi = 40^\circ$  находим по номограмме  $\overline{\tau}_H = 0,019 \text{ МПа}$ .

3. Определяем действующие в песчаном слое активные напряжения сдвига  $T$  по формуле (5.8):

$$T = \overline{\tau}_H \rho = 0,019 \cdot 0,6 = 0,011 \text{ МПа}.$$

4. Определяем предельное активное напряжение сдвига  $T_{np}$  в песчаном слое, предварительно установив значения параметров формулы (5.9):

$k_\delta$  – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания;

принимаем  $k_\delta=1$ , так как нижний слой основания из *неукрепленного материала* (щебня фракционированного), а разделяющую прослойку на границе основание – песчаный слой не предусматриваем;

$Z_{on}$  – глубина расположения поверхности песчаного слоя от верха конструкции:  $Z=35$  см;

$\gamma_{cp}=0,002$  кг/см<sup>3</sup> – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше песчаного слоя;

$\varphi_{cm} = 33^\circ$  – угол внутреннего трения песка при статическом действии нагрузки (см. табл. 4 прил. 6).

Предельное активное напряжение сдвига, превышение которого вызывает деформации сдвига, равно:

$$T_{np} = C_N k_\delta + 0,1 \gamma_{cp} Z_{on} \text{tg} \varphi_{cm} = 0,002 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 35 \cdot \text{tg} 33 = 0,0065 .$$

5. Проверяем условие сдвигоустойчивости песка в основании конструкции, т.е. определяем  $K_{np}$  по формуле (5.6) и сравниваем его с нормативным ( $K_{np}^{mp} = 1,0$ ):

$$K_{np} = T_{np} / T = 0,0065 / 0,0108 = 0,60 < K_{np}^{mp} = 1,0 .$$

Предварительно принятая конструкция (см. рис. 5.1) не удовлетворяет требованиям по условию сдвигоустойчивости. В песчаном слое основания возможны деформации сдвига, поэтому вносим следующие коррективы в конструкцию: предусмотреть в конструкции, представленной на рис. 5.1, разделяющую прослойку из геотекстиля. Прослойка должна быть уложена на границе основание – песчаный слой на всю ширину земляного полотна.

6. Проверяем прочность конструкции по условию сдвигоустойчивости при наличии разделяющей прослойки из геотекстиля.

Проверка заключается в пересчете предельного активного напряжения сдвига  $T_{np}$  при наличии геотекстильной разделяющей прослойки в конструкции. Влияние прослойки на активное напряжение сдвига учитывается коэффициентом  $K_\delta$  (см. формулу (5.9)), который принимается равным 4,0 при использовании в основании песка средней крупности (см. п.п.5.3.3).

При  $K_\delta=4,0$  и тех же прочих расчетных и нормативных характеристиках конструкции определяем новое значение  $T_{np}$  по формуле (5.9):

$$T_{np} = 0,002 \cdot 4,0 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 35 \cdot \text{tg} 33 = 0,0125 \text{ МПа} .$$

Коэффициент прочности при наличии геотекстильной прослойки:

$$K_{np} = 0,0126 / 0,0108 = 1,16 , \text{ т.е. } K_{np} > K_{np}^{mp} .$$

Следовательно, при наличии разделяющей прослойки прочность конструкции по условию сдвигоустойчивости песчаного слоя обеспечивается.

5.5.5. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ ОТ РАСТЯЖЕНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ

Расчетные характеристики монолитных слоев из асфальтобетона принимаем из табл. 5.13 и выполняем расчет в такой последовательности.

1. Приводим конструкцию к двухслойной модели, где *нижний слой модели* – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. основание из фракционированного щебня, дополнительный слой из песка средней крупности и грунт рабочего слоя земляного полотна (рис. 5.11).

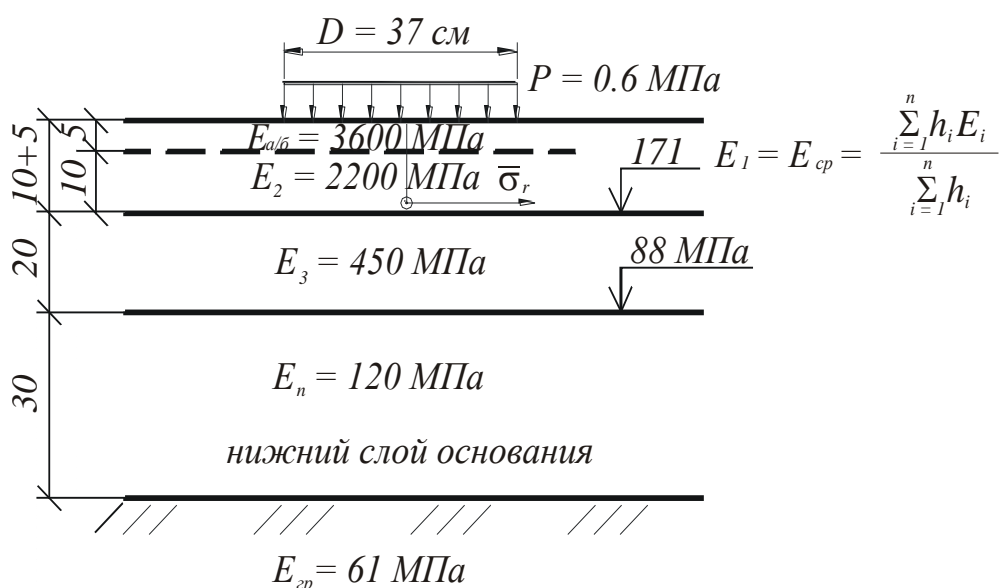


Рис. 5.11. Расчетная схема для определения прочности асфальтобетонного покрытия на растяжение при изгибе

Модуль упругости нижнего слоя, подстилающего эквивалентный монолитный слой из асфальтобетона, определяем по номограмме рис. 1 прил. 5. Для рассчитываемой конструкции  $E''_{общ} = 171 \text{ МПа}$  (см. рис.5.8). Толщина верхнего слоя модели (пакета из 2 слоев)

$$h_g = \sum_{i=1}^{i=n} h_n = 5 + 10 = 15 \text{ см.}$$

Модуль упругости верхнего слоя определяем по формуле (5.7):

$$E_g = (3600 \cdot 5 + 2200 \cdot 10) / (5 + 10) = 2667 \text{ МПа.}$$

2. Определяем растягивающее напряжение от единичной нагрузки  $\bar{\sigma}_r$  с помощью номограммы рис. 4 прил. 5 в такой последовательности:

– вычисляем отношения

$$\sum_{i=1}^n h_{\epsilon} / D = 15/37 = 0,40 \text{ и } E_{\epsilon} / E_{\text{общ}} = E_{\text{ср}} / E_{\text{общ}}''' = 2667 / 171 = 15,6 \text{ МПа};$$

– находим по номограмме  $\overline{\sigma}_r = 1,8 \text{ МПа}$ .

3. Вычисляем по формуле (5.12) растягивающее напряжение  $\sigma_r$  от действия расчетной нагрузки  $\rho = 0,6 \text{ МПа}$ , приняв коэффициент  $K_{\epsilon} = 0,85$  (для спаренного баллона):

$$\sigma_r = 1,8 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,918 \text{ МПа}.$$

4. Определяем прочность пакета асфальтобетонных слоев при многократном растяжении при изгибе  $R_N$ , предварительно определив следующие расчетные и нормативные значения параметров, входящих в формулу (5.13):  $R_0 = 7,8 \text{ МПа}$  – (см. табл. 1 прил. 7) для асфальтобетона плотного, т.е. расположенного в нижнем слое пакета (в зоне максимального напряжения от изгиба);

$K_1$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных процессов, определяем по формуле (5.14), принимая значения  $\alpha$  и  $m$  для нижнего (менее прочного) материала слоев; для условий данного примера находим по табл. 1 прил. 7  $\alpha = 6,3$ ;  $m = 4,0$ .

При суммарном расчетном количестве приложений расчетной нагрузки  $\sum N_p = 1032742 \text{ авт.}$  вычисляем коэффициент  $\kappa_1$ :

$$\kappa_1 = \frac{6,3}{\sqrt[4]{1032742}} = 0,198 \approx 0,2,$$

где  $\kappa_2 = 0,80$  – для пористого асфальтобетона (см. табл. 5.10);  $V_R$  и  $t$  – статистические параметры, принимаем согласно п. 5.3.4:

– коэффициент вариации  $V_R = 0,1$ ;

– коэффициент нормированного отклонения для заданного уровня надежности  $K_n = 0,95$  (см. табл. 5.5); принимаем  $t = 1,71$ .

Вычисляем прочность монолитного эквивалентного слоя (асфальтобетонного пакета слоев) для установленных расчетных значений параметров формулы (5.13):

$$R_N = R_0 k_1 k_2 (1 - V_R t) = 7,8 \cdot 0,198 \cdot 0,80 (1 - 0,1 \cdot 1,71) = 1,02 \text{ МПа}.$$

5. Вычисляем коэффициент прочности конструкции по условию сопротивления при изгибе (см. формулу (5.11)):

$$K_{np} = \frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{1,02}{0,918} = 1,11.$$

6. Сравниваем полученное значение коэффициента прочности с требуемым нормативным и делаем *заключение*: принятая конструкция

(см. рис.5.1) отвечает требованиям по критерию растяжения при изгибе ( $K_{np} > K_{np}^{mp}$ ). В монолитных слоях из асфальтобетона возникающие при прогибе одежды напряжения под действием многократных кратковременных нагрузок не будут приводить к образованию трещин.

### 5.6. ПРИМЕР РАСЧЕТА ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ

Исходные данные для расчета на морозоустойчивость принимаем для наиболее неблагоприятных в гидрогеологическом отношении участков местности (пониженные места, высокое залегание грунтовых вод и т.п.):

- ДКЗ II ; расчетная схема увлажнения рабочего слоя 1-я (поверхностный сток обеспечен, возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод на неблагоприятных участках  $H_{ср.в} > 2,2$  м;
- грунт рабочего слоя – суглинок легкий;
- группа грунта по степени пучинистости III (см. табл. 4 прил. 3);
- расчетная влажность грунта  $W_p = 0,62W_T$ ;
- глубина промерзания для района проектируемой дороги  $Z_{np} = 190$  см;
- ориентировочная толщина дорожной одежды  $h_{д.о} = 65$  см;
- коэффициент уплотнения рабочего слоя  $K_{упл} = 1,01 \dots 0,98$ .

#### Решение

Конструкция отвечает требованиям по условию морозоустойчивости, если  $l_{пуч} \leq l_{дон}$ .

Значение  $l_{дон}$  для капитальных типов дорожных одежд  $l_{дон} = 4,0$  см.

Далее расчет ведем в следующем порядке.

1. Определяем значения коэффициентов, входящих в формулу (5.15):

–  $K_{УГВ}$  – коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания грунтовых вод; определяем по графику рис.5.5, предварительно вычислив расстояние от низа дорожной одежды до расчетного УГВ на участке с высоким УГВ и минимальной высотой насыпи  $H_{min} = 1,57$  м (см. прил. 4, ПК620). Принимая ориентировочную толщину дорожной одежды  $h_{д.о} = 65$  см, находим расстояние от низа одежды до УГВ:

$$H_{\gamma} = 0,7 + (1,57 - 0,65) = 1,62 \text{ м.}$$

По графику рис.5.5 находим для суглинка легкого при  $H_{\gamma} = 1,62$  м коэффициент  $K_{УГВ} = 0,64$ ;

–  $K_{пл}=1,0$  – коэффициент плотности; определяем по табл.5.11 в зависимости от заданного коэффициента уплотнения рабочего слоя,  $K_{упл}=1,01...0,98$ ;

–  $K_{сп}=1,3$  – коэффициент, учитывающий влияние грануметрического состава грунта земляного полотна (см. табл.5.12);

–  $K_{нагр}$  – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое; определяем по графику рис.5.6 в зависимости от глубины промерзания  $Z_{пр}$  от поверхности покрытия. При  $Z_{пр}=1,9$  м значение  $K_{нагр}=0,85$ ;

–  $K_{вл}$  – коэффициент, зависящий от расчетной влажности  $W_p$ ; при  $W/W_T=0,62$  по ОДН 218.046–01 [17], находим  $K_{вл}=1,0$ .

Показатели прочности конструкции, представленной на рис.5.1 и 5.12, см. в табл. 5.14.

Таблица 5.14

Показатели прочности конструкции

Показатели	Величина <u>расчетная</u> <u>нормативная</u> (по ОДН 218.046–01)
1. Коэффициент прочности $K_{пр}$ (при заданном уровне надежности $K_n=0,95$ ) по критерию:	
допускаемого упругого прогиба одежды	<u>1,27</u> 1,17
сдвигоустойчивости подстилающего грунта	<u>1,06</u> 1,00
сдвигоустойчивости дополнительного слоя из песка средней крупности <i>без разделяющей</i> прослойки на границе основание – песчаный слой	<u>0,60</u> 1,00
то же с разделяющей прослойкой из геотекстиля	<u>1,16</u> 1,00
сопротивления монолитных слоев (из асфальтобетона) усталостному разрушению при изгибе	<u>1,43</u> 1,00
2. Величина морозного пучения $l_{пуч}$ , см:	
на участках по 1-й схеме увлажнения	<u>3,20</u> 4,00
на участках по 3-й схеме увлажнения	<u>4,20</u> 4,00

2. Величину морозного пучения при осредненных условиях  $l_{пуч.ср}$  определяем для двух схем увлажнения рабочего слоя:

1-я схема – для насыпей на участках 1-го типа местности по условиям увлажнения; грунт рабочего слоя – суглинок легкий, относящийся к III группе по степени пучинистости;

3-я схема – для насыпей на участках, отнесенных к 3-му типу местности (грунтовые воды с высоким уровнем залегания).

По 1-й схеме увлажнения рабочего слоя  $l_{нуч.ср}$  определяем по кривой III на рис. 5.7 (III-я группа грунтов по степени пучинистости) при  $Z=190$  см и  $h_{д.о}=65$  см (включая дополнительный слой основания),  $l_{нуч.ср}=4,6$  см.

По 3-й схеме увлажнения значение  $l_{нуч.ср}$  определяем по кривой IIa. При тех же исходных данных ( $Z$  и  $h_{д.о}$ ) величина  $l_{нуч.ср}=5,8$  см.

3. По формуле (5.15) определяем величину возможного морозного пучения  $l_{нуч}$ :

$$l_{нуч} = l_{нуч.ср} K_{УГВ} K_{пл} K_{ср} K_{нагр} K_{вл},$$

– для участков, отнесенных к 1-й схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна, имеем:

$$l_{нуч} = 4,6 \cdot 0,64 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 3,2 \text{ см};$$

– для участков, отнесенных к 3-й схеме увлажнения:

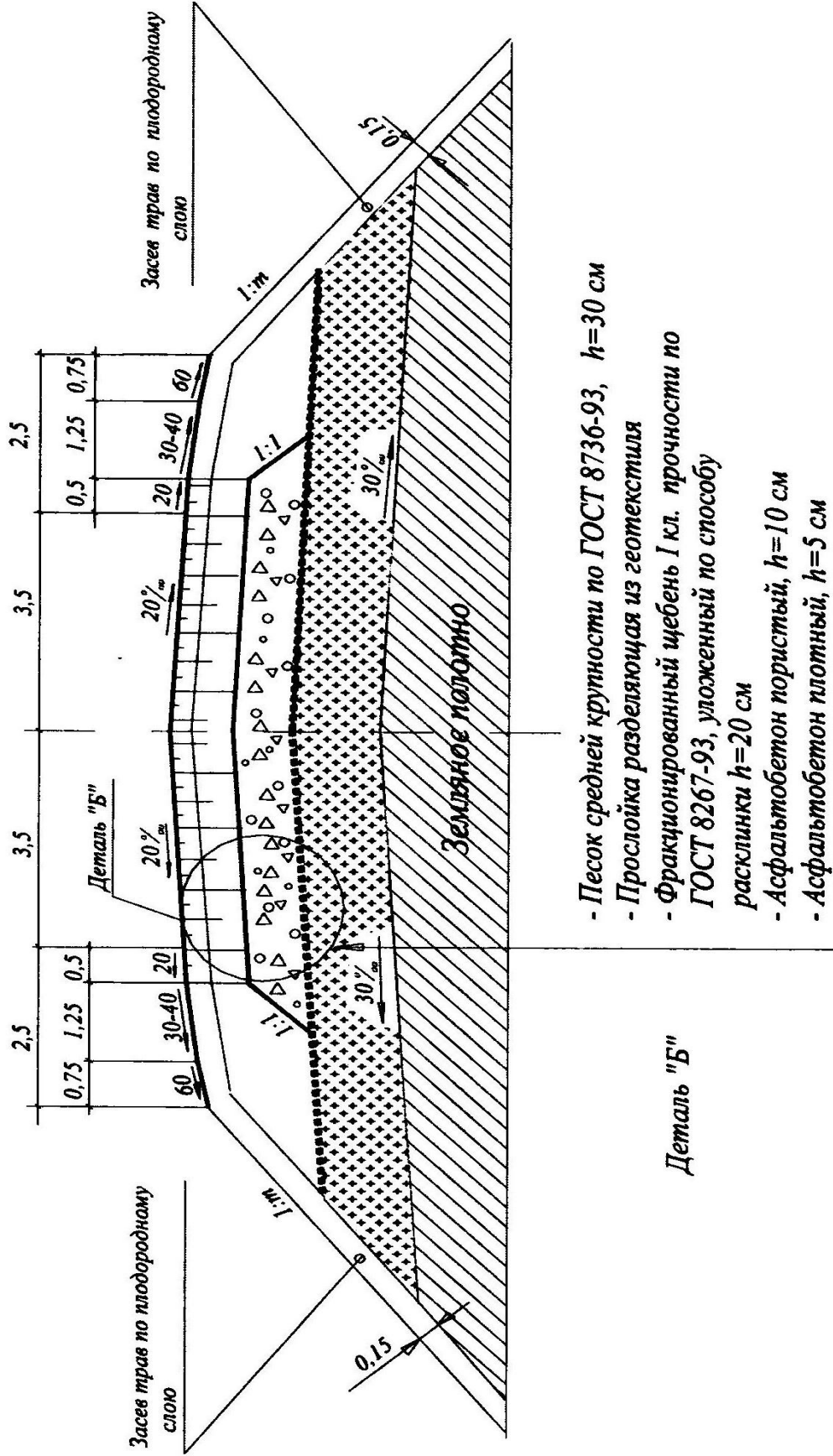
$$l_{нуч} = 5,8 \cdot 0,64 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 4,2 \text{ см}.$$

4. Сравниваем расчетные величины  $l_{нуч}$  с допуском для капитального типа одежд ( $l_{дон}=4,0$  см) и делаем вывод: на участках, относящихся к 1-му типу местности морозоустойчивость конструкции обеспечивается:  $l_{нуч} < l_{дон}$ . На участках с высоким УГВ ожидаемое морозное пучение превышает допусковое  $l_{дон}$  на 0,2 см, т.е. на 5,0 %, что допустимо для II ДКЗ.

**Заключение.** Расчет дорожной одежды на прочность и морозоустойчивость показывает, что предложенная на рис.5.1 конструкция удовлетворяет требованиям нормативных документов практически по всем критериям прочности. Исключение составляет сдвигоустойчивость дополнительного слоя основания из песка средней крупности (см. табл. 5.14). Поэтому на границе основание – песчаный слой предусматриваем разделяющую геотекстильную прослойку.

При наличии геотекстильной разделяющей прослойки сдвигоустойчивость дополнительного слоя основания из песка средней крупности обеспечивается:  $K_{пр} > K_{пр}^{mp}$ .





- Песок средней крупности по ГОСТ 8736-93,  $h=30$  см
- Прослойка разделяющая из геотекстиля
- Фракционированный щебень I кл. прочности по ГОСТ 8267-93, уложенный по способу раскладки  $h=20$  см
- Асфальтобетон пористый,  $h=10$  см
- Асфальтобетон плотный,  $h=5$  см

Деталь "Б"

Рис. 5.12. Поперечный профиль дорожной одежды капитального типа с усовершенствованным покрытием

### Контрольные вопросы

1. В зависимости от каких условий назначают вид и марку асфальтобетона для устройства покрытий? Назовите нормативный документ, определяющий область применения асфальтобетонов при устройстве верхних слоев покрытий.

2. В каких условиях допускается применение двухслойного асфальтобетонного основания и что необходимо при этом предусмотреть для обеспечения сдвигоустойчивости конструкции?

3. При каких условиях и на каких участках обязательно устройство дренирующих слоев? Назовите основные требования, предъявляемые к материалам дренирующего слоя.

4. Назовите дополнительные конструктивные мероприятия против «заиливания» материалов смежных слоев, если крупнообломочный материал укладывается непосредственно на земляное полотно, а также в случае укладки крупнопористых материалов на песчаный слой.

5. Какими критериями оценивают прочность дорожной одежды в целом, слоев из несвязных материалов и монолитных слоев?

6. Для каких участков необходимо выполнить расчет (проверку) дорожной конструкции не только на кратковременное многократное, но и продолжительное однократное нагружение?

7. Почему дорожные одежды переходного и низшего типов рассчитывают только по упругому прогибу и по сдвигоустойчивости?

## **6. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДООТВОДА**

Для проектирования поверхностного водоотвода на автомобильных дорогах используют типовые решения «Союздорпроекта» [20], где приводятся рекомендации и общие требования к организации водоотвода, гидравлические расчеты водоотводных сооружений и необходимые вспомогательные материалы.

### **6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Для предохранения земляного полотна от переувлажнения поверхностными водами и с целью обеспечения его устойчивости против размыва на автомобильных дорогах следует проектировать системы поверхностного водоотвода (устройство канав, лотков, испарительных бассейнов и т.д.).

По назначению, конструктивным особенностям и условиям эксплуатации различают следующие схемы организации водоотвода:

- с местности, прилегающей к земляному полотну дороги, и непосредственно от земляного полотна;
- с поверхности земляного полотна в насыпях и выемках;
- с поверхности съездов транспортных развязок, мостов и путепроводов;
- с поверхностей, ограниченных регуляционными и берегоукрепительными сооружениями и т.п.

Независимо от схемы организации поверхностного водоотвода при проектировании водоотводных сооружений должны выполняться следующие работы:

- разработка общей схемы поверхностного водоотвода;
- выбор и назначение основных элементов и конструкций водоотводных сооружений;
- размещение водоотводных сооружений в плане, продольном и поперечном профилях;
- определение границ водосборов и их основных характеристик;
- определение расчетных расходов воды и объемов стока;
- выбор и назначение типов укреплений водоотводных сооружений.

При проектировании водоотводных сооружений необходимо обосновать расчетом:

- поперечное сечение сооружения по условию достаточности для пропуска расчетного расхода воды;
- продольный уклон и скорости течения воды, исключающие возможность заиливания или размыва отводящих русел;
- свободный выпуск воды за их пределами, исключающий развитие эрозионных и других нарушений окружающей среды.

## **6.2. ОТВОД ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ОТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ МЕСТНОСТИ**

### **6.2.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КАНАВ И КЮВЕТОВ**

Отвод поверхностных вод следует предусматривать:

- от насыпей – водоотводными канавами (нагорными, продольными и поперечными), кюветами или резервами;
- от откосов выемок и прилегающих к ним склонов – канавами (нагорными и забанкетными);
- непосредственно из выемок – кюветами;
- от прилегающей к земляному полотну местности – забанкетными и нагорными канавами.

Резервы, располагаемые вдоль насыпи, необходимо включать в общую систему водоотводных устройств.

На местности с поперечным уклоном  $i_n < 20 ‰$  при высоте насыпи  $H < 1,5$  м, на участках с переменной сторонностью поперечного уклона, а также на болотах водоотводные каналы следует проектировать с *двух сторон* земляного полотна [3].

*В выемках* кюветы размещают всегда с *обеих сторон* земляного полотна. При невозможности пропуска расчетного расхода воды сечение кювета необходимо увеличить за счет его углубления при сохранении минимальной ширины дна.

*Нагорные каналы* должны обеспечить перехват воды, поступающей с косогора и из прилегающего водосборного бассейна, и последующий отвод ее к ближайшему водопропускному сооружению (трубе) или в пониженное место.

При большой крутизне косогора нагорные каналы допускается рассредоточивать на отдельные самостоятельные участки на косогоре. В этом случае начало участка нагорной канавы, располагаемого ниже предыдущего, рекомендуется размещать с некоторым перекрытием выхода на косогор предыдущего участка.

Расстояние между низовой бровкой нагорной канавы и бровкой выемки (при отсутствии кавальера) должно быть не менее 5 м; расстояние между бровкой канавы и подошвой насыпи – не менее 2 м.

Если выемка проходит в лёссовых грунтах, бровка нагорной канавы должна отстоять от бровки выемки на расстоянии не менее 10 м.

Продольный водоотвод с нагорной стороны должен быть сплошным на протяжении от каждого водораздела до мест, где возможен сброс воды в сторону от земляного полотна.

Вероятность превышения (*ВП*), % расчетных паводков при проектировании, принимается в зависимости от категории проектируемой дороги [3]:

	I и II	III	IV и V
канавы и кюветы.....	2	3	4
водоотводные сооружения с поверхности дорог и мостов...	1	2	3

### 6.2.2. РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООТВОДНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В тех случаях, когда боковые канавы или кюветы в выемках назначают без гидравлического расчета, необходимо ориентироваться на табл. 6.1 и придерживаться следующих рекомендаций:

- при водонепроницаемых грунтах и недостаточном поверхностном стоке сечение канавы (кювета) следует назначать *трапецеидальное*: ширина по дну – 0,4–0,5 м, глубина канавы – до 0,7–0,8 м, считая от бровки насыпи. Внутренний откос канав назначают с заложением 1:3 (для удобства съезда с дороги в случае необходимости);
- в выемках откосы кюветов должны назначаться с заложением 1:1,5.

Таблица 6.1

Минимальные параметры водоотводных сооружений

Водоотводные сооружения	Ширина дна, м	Глубина воды, м	Крутизна откосов в зависимости от грунта			Возвышение бровки над расчетным уровнем воды, м
			Глинистый, песчаный, крупнообломочный	Пылеватый, глинистый и песчаный	Торфяной	
Нагорные и водоотводные канавы	0,6	0,6	1:1,5	1:1,5	–	0,2
Забанкетные канавы	0,4	0,4	1:1,5	1:2	–	–
Канавы на болотах:						
I типа	0,8	0,8	–	–	1:1	–
II типа	2,0	1,0	–	–	1:1,5	–
Кюветы:						
треугольные	–	0,4	1:1	1:1,5	–	0,2
трапецеидальные	0,4	0,4	1:1	1:1,5	–	0,2

Если земляное полотно возводят на местности 1 типа (сухие места), боковые каналы устраивают в виде треугольных лотков глубиной не менее 0,3 м с крутизной откосов лотков 1:3.

При песчаных, щебенистых и гравелистых грунтах, обеспечивающих быстрое впитывание воды в любое время года, каналы не делают.

*В выемках*, расположенных в гравелистых, щебенистых или слабых легко выветривающихся породах, устраивают трапецеидальные кюветы глубиной не менее 0,3 м с откосами 1:1.

В прочном скальном грунте устраивают треугольные лотки глубиной не менее 0,3 м с внутренним откосом 1:3 и внешним откосом 1:1 – 1:0,5.

Продольные уклоны водоотводных сооружений устанавливают с учетом особенностей рельефа местности, вида грунтов, в которых будет устроен водоотвод, и наличия местных строительных материалов для его укрепления. Расчетные уклоны должны быть такими, чтобы скорости течения воды не превышали допустимые по условию неразмыывания данного грунта или принятого типа укрепления (табл. 6.3).

Наибольшие *продольные уклоны дна канав* следует определять расчетом в зависимости от допускаемой скорости течения по условию неразмыывания грунта. При невозможности обеспечить допускаемые расчетные уклоны необходимо предусмотреть быстротоки, перепады, водобойные колодцы.

На ровных участках трассы минимальные продольные уклоны дна боковых канав, кюветов и других водоотводных сооружений должны назначаться не менее 5 ‰ (для предотвращения заиливания).

В исключительных случаях (по условиям рельефа местности) продольный уклон нагорных, водоотводных и других канав и кюветов допускается уменьшать до  $i_{np}=3$  ‰, а на болотах – до 1 ‰.

*В выемках* продольные уклоны дна кюветов должны назначаться равными проектным уклонам земляного полотна.

Вода из боковых канав и кюветов должна выводиться в пониженные места рельефа или к водопропускным сооружениям не реже чем через 500 м.

На рис. 6.1 показан пример организации поверхностного водоотвода на участке трассы с ПК 19 по ПК 22 с отводом водного потока из кювета к водопропускной трубе.

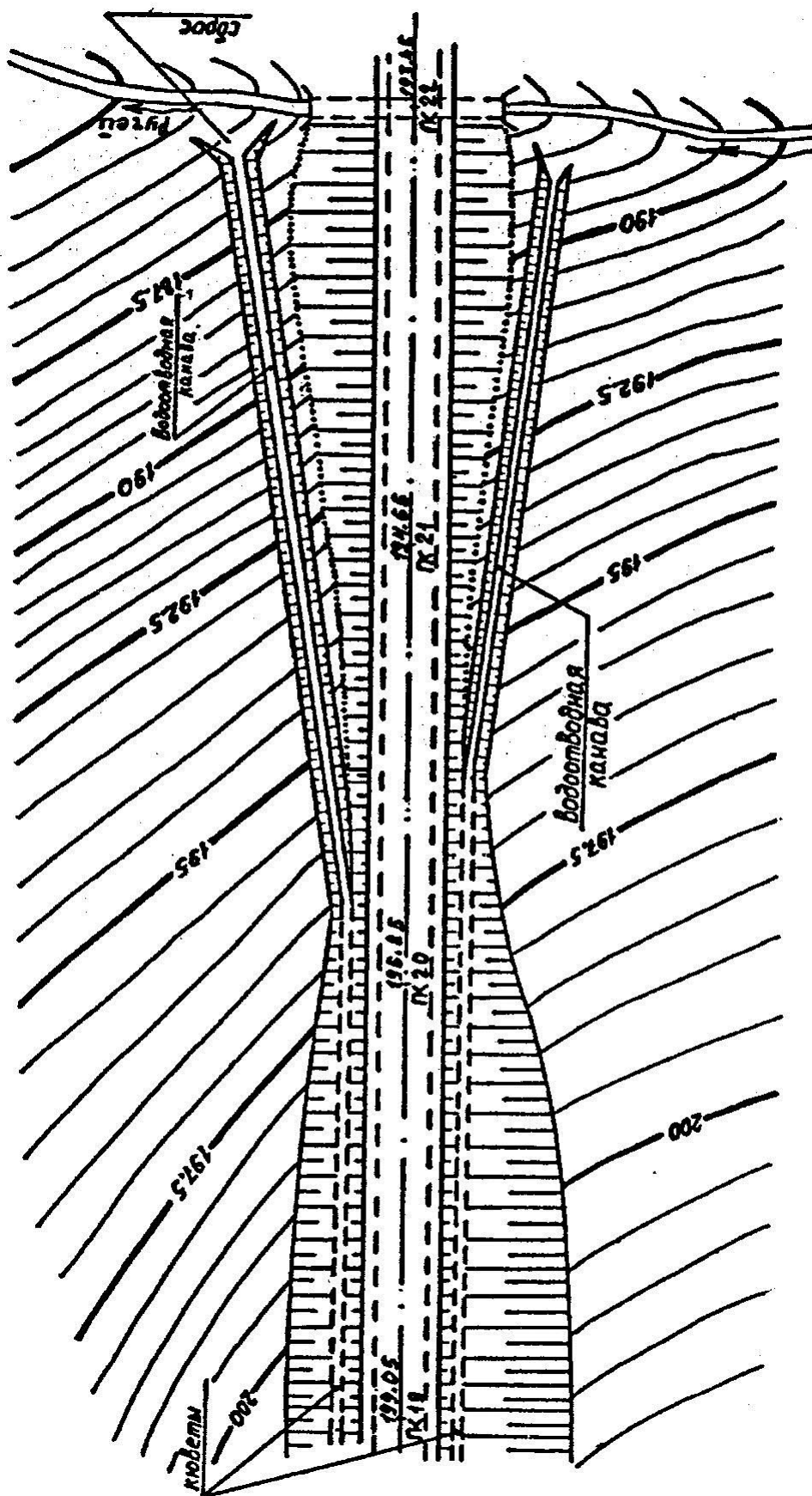


Рис. 6.1. Организация водоотвода на участке перехода из выемки в насыпь при пересечении водотока (ПК19-ПК22)

На участке примыкания водоотводных сооружений к существующим водотокам угол между направлением канавы (кювета) и направлением течения воды в водотоке не должен превышать  $45^\circ$ .

### 6.2.3. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КАНАВ

Гидравлически наивыгоднейшее сечение канав характеризуется наименьшей площадью живого сечения (площадь сечения водного потока)  $\omega$ ,  $m^2$ . Канав гидравлически наивыгоднейшего сечения при прочих равных условиях способна пропускать максимальные расходы [21].

В практике проектирования дорожных канав используются сечения двух геометрических фигур – трапеции и треугольника; при этом гидравлические элементы канав определяют расчетом. Для трапецеидальных сечений русел (канав) площадь сечения потока равна:

$$\omega = bh + \frac{m_1 + m_2}{2} h^2, \quad (6.1)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – коэффициенты крутизны откосов русла (канавы);  $b$  – ширина канавы по дну,  $m$ ;  $h$  – глубина наполнения канавы,  $m$ .

Для треугольного и прямоугольного сечений русел формула (6.1) имеет вид

$$\omega = \frac{m_1 + m_2}{2} h^2 \quad \text{и} \quad \omega = bh \quad (6.2)$$

Глубину наполнения канавы (глубину воды) в расчетах принимают равной  $h = h_k - 0,2$   $m$ , т.е. предусматривают запас от поверхности воды до бровки, равный  $0,2$   $m$ .

Основной формулой для гидравлического расчета канав для установившегося равномерного движения воды является уравнение Шези, согласно которому скорость водного потока  $V$ ,  $m/c$ , равна:

$$V = C\sqrt{Ri}, \quad (6.3)$$

где  $C$  – скоростной множитель (коэффициент Шези);  $R$  – гидравлический радиус,  $m$ ;  $i$  – уклон дна канавы, доли ед.

Значение коэффициента  $C$  определяют по формуле академика Павловского (6.4), специальным графикам (прил. 8, рис. 5) или таблицам.

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (6.4)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости русла (табл. 6.2);  $y$  – показатель степени в формуле Павловского, зависящий от коэффициента шероховатости  $n$  и гидравлического радиуса  $R$ .



Коэффициент шероховатости  $n$  [16]

Характер поверхности лотка	Состояние поверхности			
	очень хорошее	хорошее	обычное	плохое
Гладкая бетонная поверхность	0,012	0,014	0,015	0,016
Шероховатая бетонная поверхность (бетонные плиты)	–	0,014	0,016	0,018
Канавы в плотном лёссе и гравии с илистым слоем	0,017	0,019	0,020	0,025
Канавы в галечнике	0,025	0,027	0,030	0,033
Канавы с одернованными откосами	0,028	0,030	0,033	0,035
Канавы неправильной формы с одернованными откосами	–	0,027	0,030	0,035
Канавы в скале	0,025	0,030	0,035	0,040

При приближенных расчетах, а также при расчетах канав с относительно небольшими расходами пользуются упрощенной формулой Павловского в виде

$$C = \frac{1}{n} R^{1/5} \text{ или } C = \frac{1}{n} R^{1/6}. \quad (6.5)$$

Значение гидравлического радиуса вычисляют по отношению

$$R = \omega / \chi, \quad (6.6)$$

где  $\chi$  – смоченный периметр, м, зависящий от глубины наполнения канавы  $h$ . Для трапецидального сечения русла с разной крутизной откосов

$$\chi = b + h(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}), \quad (6.7)$$

при  $m_1 = m_2 = m$  значение  $\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$ .

Для треугольного сечения при крутизне откосов  $m_1 = m_2 = m$

$$\chi = 2h(\sqrt{1 + m^2}). \quad (6.8)$$

Для естественных (грунтовых) русел значение коэффициента шероховатости  $n$  изменяется в широких пределах ( $n = 0,009 \dots 0,045$ ); для практических расчетов канав рекомендуется принимать  $n = 0,03 \dots 0,035$ .

#### Укрепление водоотводных сооружений

Укрепление канав осуществляется в зависимости от гидрологических, грунтовых и прочих условий, влияющих на вероятность размыва дна и откосов. К наиболее распространенным типам укрепления естественных русел относятся следующие: растительным грунтом с засевом трав (травостояние); сборными бетонными плитами, монолитным бетоном, торкет-бетоном и др.

В отдельных случаях при продольных уклонах 20 – 30 ‰ дно водоотводных сооружений (канал, кюветов) укрепляют слоем щебня или гравия толщиной 10 см; при этом откосы должны засеиваться травами по слою растительного грунта.

При значительных продольных уклонах русел (50 ‰ и более) применяют водогасящие устройства: перепады, быстротоки с водобойными колодцами, стенками или без них в зависимости от уклонов и условий протекания воды [22].

Ориентировочно типы укреплений каналов назначаются в соответствии с рекомендациями табл. 6.3. Допустимые неразмывающие скорости течения воды при различных типах укрепления представлены в прил. 9, табл. 6.

Таблица 6.3

Типы укреплений каналов

Грунты	Без укрепления	Гидропосев	Засев трав по слою растительного грунта	Бетонные плиты, мощение	Гасящие устройства (быстротоки, перепады)
Супесчаные, песчаные	До 5	5–10	10–20	20–50	≥ 50
Суглинистые, глины	До 10	10–15	15–20	20–50	≥ 50

*Пример расчета каналов*

**Задание:** для условий, обозначенных на продольном и поперечных профилях проектируемой дороги, назначить сечение каналов и кюветов; определить скорость потока в зависимости от продольных уклонов дна каналов (кюветов) и выбрать оптимальный тип укрепления по условию неразмывания грунта.

Исходные данные принять по ранее выполненным чертежам и проектным решениям.

**Последовательность решения гидравлического расчета кювета трапецидальной формы (ПК15+49 – ПК20+31)**

1. Устанавливаем исходные данные по ранее выполненным чертежам:

- продольный уклон дна кювета  $i=22 ‰$  (принимается равным уклону проектной линии, см. прил. 4);
- крутизна откосов: внутреннего 1:3, внешнего 1:2,
- глубина кювета  $h_k=0,6 м$ ;
- ширина по дну  $b_k=0,4 м$ ;
- грунт на данном участке – суглинок легкий средней плотности.

2. Определяем площадь живого сечения  $\omega$ , приняв глубину наполнения кювета  $h=0,6-0,2=0,4$  м. По формуле (6.1) находим

$$\omega = 0,4 \cdot 0,4 + \frac{3+2}{2} 0,4^2 = 0,56 \text{ м}^2.$$

3. Определяем смоченный периметр  $\chi$  по формуле (6.7):

$$\chi = 0,4 + 0,4(\sqrt{1+3^2} + \sqrt{1+2^2}) = 2,56 \text{ м}.$$

4. Вычисляем гидравлический радиус  $R = \omega/\chi$ :

$$R = 0,56/2,56 = 0,22 \text{ м}.$$

5. Находим по справочной литературе коэффициент шероховатости  $n$  (см. табл. 6.2).

Для суглинка средней плотности принимаем  $n=0,030$  и вычисляем по формуле (6.5) коэффициент Шези:

$$C = 0,22^{1/5}/0,03 = 21,9 \text{ м}.$$

6. По формуле (6.3) определяем скорость водного потока при уклоне дна кювета  $i=22$  ‰:

$$V_{\phi} = 2,19 \sqrt{0,22 \cdot 0,022} = 1,5 \text{ м/с}.$$

7. Сравниваем  $V_{\phi}$  с допускаемой скоростью потока  $V_{дон}$  из условия неразмывания. Для суглинка средней плотности при глубине русла 0,4 м по прил. 8 табл. 7 находим  $V_{дон}=0,7$  м/с, т.е.  $V_{\phi} > V_{дон}$ . Назначаем укрепление кювета, используя для этой цели прил. 9, табл. 8, согласно которой при укреплении канав (кюветов) способом одерновки «в стенку»  $V_{дон}=1,5$  м/с при глубине водного потока 0,4 м. Для тех же условий, но при большей глубине потока допускаемая скорость  $V_{дон} > 1,5$  м/с.

#### 6.2.4. ОТВОД ВОДЫ С ПОВЕРХНОСТИ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

Сток воды с проезжей части и обочин автомобильных дорог обеспечивается за счет устройства поперечных уклонов. На прямых участках в плане величина поперечных уклонов нормируется СНиП в зависимости от ДКЗ и числа полос движения в пределах 15–25 % [3]. На виражах поперечные уклоны проезжей части назначают в зависимости от радиуса кривой в плане (прил. 2, табл. 4). Стекающая с проезжей части и обочин вода попадает на откосы земляного полотна и может его размывать, особенно если откос недостаточно надежно укреплен, а высота насыпи значительна. Во избежание размыва насыпи отвод обеспечивается *прикромочными лотками*, расположенными

за укрепительной и остановочной полосами, а на откосах насыпей – *поперечными лотками*.

Продольные лотки (вдоль кромки проезжей части) с поперечными сбросами воды к подошве насыпи устраиваются на дорогах I, II и III категорий в следующих случаях:

- на участках дороги с насыпями высотой более 4 м;
- на участках с продольными уклонами  $i_{прод} \geq 30 ‰$ ;
- на виражах (только со стороны внутренней обочины);
- в местах вогнутых кривых.

Для сброса воды с разделительной полосы шириной 13,5 (12,5) м на дорогах I категории применяют дождеприемные колодцы, расположенные по оси дороги. На участках дорог с разделительной полосой 5 (6) м дождеприемные колодцы устраивают только на виражах.

### **6.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ**

#### **6.3.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ**

Водопропускные трубы предназначены для пропуска под насыпью небольших постоянно или периодически действующих водотоков. По строительным и эксплуатационным качествам трубы предпочтительнее малых мостов. Наличие трубы в насыпи не нарушает непрерывности земляного полотна, а расходы на ее содержание меньше, чем на содержание малого моста; трубы допускается располагать при любых сочетаниях плана и профиля дороги (на кривых в плане, при наличии вертикальных кривых как выпуклых, так и вогнутых и т.д.)

Указанные обстоятельства позволяют рассматривать трубы как основной тип малых водопропускных сооружений на временных водотоках (т.е. водотоках, несущих только дождевые и талые воды) при пересечении суходолов, оврагов, балок и пр.

*Ограничениями для применения труб* являются климатические условия района строительства дороги и грунтовые условия в основании труб. В северной строительно-климатической зоне нецелесообразно строить напорные и полунанпорные трубы, так как при значительных расходах воды возникает опасность проникания ее через стыки звеньев, что может вызвать разрушения при больших морозах. Поэтому при пылеватых (пучинистых) грунтах трубы можно применять только при пересечении сухих логов. На постоянных водотоках применение труб в этих районах целесообразно, если исключается

возможность образования наледей, а также в случаях, когда трубы укладываются под высокими насыпями.

В районах со средней температурой наружного воздуха наиболее холодной пятидневки ниже минус  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  отверстие трубы назначают не менее  $1,5\text{ м}$  с работой труб по безнапорному режиму независимо от длины трубы и прочих условий.

В местах образования наледей разрешается применение труб только прямоугольного сечения отверстием не менее  $3\text{ м}$  и высотой не менее  $2\text{ м}$  с сооружением противоналедных устройств. При наличии ледохода или карчехода трубы, как правило, не применяются.

Очертание и форму отверстия трубы (круглое, прямоугольное, эллиптическое и др.) принимают по конструктивным соображениям, а водопропускную способность определяют гидравлическим расчетом.

### 6.3.2. ВИДЫ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

Водопропускные трубы принципиально могут быть из различных материалов: каменные, бетонные, железобетонные, металлические и др.

Каменные и бетонные трубы не получили большого распространения на автомобильных дорогах в силу их конструктивных особенностей: имеют поперечные сечения в виде полуциркульных или подвешенных сводов. Только при отверстиях меньше  $0,5\text{ м}$  трубы из камня могут состоять из стен, перекрытых плоскими каменными плитами необходимой толщины.

На автомобильных дорогах чаще всего укладывают железобетонные трубы с круглым или прямоугольным сечением. При больших расходах воды применяют сборные трубы прямоугольного сечения отверстием  $2,5\times 3,0\text{ м}$  и более с массивными бетонными стенами и перекрытием из сборных железобетонных плит.

Железобетонные трубы круглого сечения с отверстиями до  $2\text{ м}$  укладывают из отдельных звеньев. Такие трубы легко монтируются и благодаря относительно малому весу звеньев и оголовков при укладке можно использовать краны небольшой грузоподъемности.

В последние годы на автомобильных дорогах все большее применение находят металлические гофрированные трубы. Главная особенность труб из гофрированного металла – малая поперечная жесткость, вследствие чего в них могут возникать значительные деформации от действия внешних нагрузок. При укладке в насыпь деформа-

ции гофрированной металлической трубы ограничиваются благодаря ее взаимодействию с грунтовым массивом земляного полотна [23].

Высокая гибкость сплошной по длине гофрированной конструкции позволяет воспринимать деформации грунтового основания и укладывать ее на грунтовую подушку без фундамента.

Другой недостаток металлических труб – подверженность коррозии (вредное воздействие агрессивных вод), что влияет на срок их службы. Но при использовании металла с повышенной коррозионной стойкостью (например медистой стали 15 *СП*) и защите его цинковыми или другими покрытиями срок службы металлических гофрированных труб может быть 60 и более лет. Накопленный опыт эксплуатации таких труб свидетельствует о их надежности и долговечности.

Гофрированные трубы диаметром до 2–2,5 м, как правило, собирают на строительной площадке из замкнутых круглых секций заводского изготовления. Трубы большого диаметра монтируют из отдельных элементов в местах их укладки.

Металлические гофрированные трубы круглого сечения диаметром до 6–7 м сооружают, как правило, без специальных оголовков с наклонной срезкой конца трубы параллельно откосу насыпи. Это обеспечивает снижение расхода материал, простоту сборки, а следовательно, экономическую эффективность таких труб.

### 6.3.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТРУБ

Основные элементы водопропускных труб (рис. 6.2) – звенья круглые или прямоугольные – составляют собственно трубу (среднюю ее часть). Звенья (секции) воспринимают давление от веса насыпи и движущегося транспорта [23].

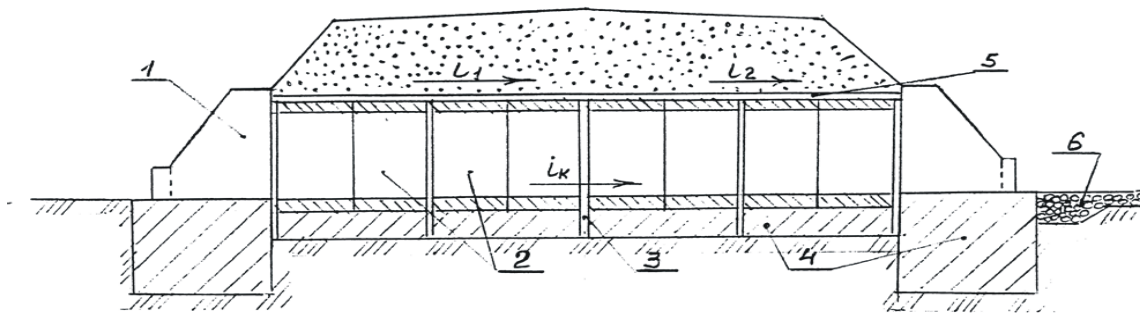


Рис. 6.2. Конструктивные элементы трубы:

- 1 – входной оголовок; 2 – звенья; 3 – деформационный шов;  
4 – фундамент; 5 – гидроизоляция; 6 – мощение

Давление от действия нагрузки распределяется неравномерно по длине трубы: в середине трубы давление, а следовательно, и осадка наибольшие; к концам (к оголовкам) – существенно меньшие. Чтобы предотвратить возможность разрушения трубы при изгибе она устраивается из отдельных секций, соединяющихся между собой деформационными швами, что позволяет обеспечить вертикальные смещения (просадку) отдельно каждой секции без разрушения швов.

Во избежание образования впадины и застоя воды в середине трубы (при эксплуатации дороги) ей задают строительный подъем в продольном направлении по круговой кривой. Стрела подъема к середине должна быть не менее  $1/40 - 1/80$  высоты насыпи.

Чтобы избежать фильтрации воды из трубы в насыпь (особенно при напорном режиме протекания), швы между звеньями плотно забивают паклей, смоченной в битуме, или другим упругим гидроизоляционным материалом. В противном случае вода, просочившаяся в насыпь, переувлажняет грунт, что опасно при заморозках (приводит к пучению); вынос разжиженного грунта из тела насыпи приводит к потере ее несущей способности.

*Оголовки труб* устраивают расширенными от трубы с целью обеспечить плавный вход водного потока в трубу и выход из нее. На входе оголовок суживает водный поток; на выходе расширяет. Растекаясь на выходе более равномерно в стороны, вода меньше размывает русло. Снижая сопротивление водного потока на входе, оголовки способствуют повышению пропускной способности трубы. Кроме того, оголовки поддерживают откосы насыпи, предохраняют их от оползания и размывания.

На автомобильных дорогах могут применяться оголовки различных типов (рис. 6.3), но наибольшее распространение получили *раструбные оголовки*. Они применяются не только в равнинной, но и в горной местности (косогорные трубы), поскольку их конструкции, равно как и коридорных оголовков, хорошо сопрягаются с искусственными руслами.

В раструбном оголовке боковые стены в плане поставлены под углом к трубе и скошены по высоте (параллельно откосу насыпи). Раструбный оголовок более обтекаем, чем коридорный, но он не вмещает всей длины перепада; последний попадает частично в трубу. Поэтому при раструбном оголовке трубу у входа водного потока устраивают большей высоты, чем на остальном протяжении. Наименьшую высоту крыльев входного оголовка рекомендуется

принимать на 0,5 м больше высоты подпорного уровня над дном лотка перед трубой.

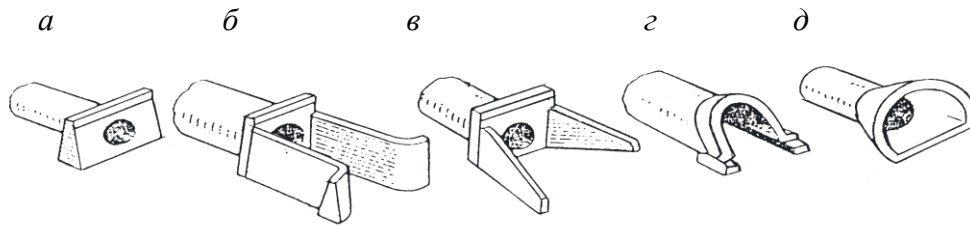


Рис. 6.3. Типы оголовков труб:  
а – порталный; б – коридорный; в – раструбный;  
г – воротниковый; д - конический

Крылья оголовков, отделяемые от ствола трубы или передней стены оголовка сплошным вертикальным швом, находятся на отдельном фундаменте. Это обеспечивает независимую от трубы осадку откосных крыльев, что устраняет возможность появления трещин в месте сопряжения оголовка с трубой (см. рис. 6.2).

*Коридорный оголовок* состоит из двух параллельных стен постоянной высоты с закругленными в плане концами. В коридорных оголовках нет необходимости устраивать повышенное входное звено, так как перепад воды размещается в пределах их длины. Но это не означает, что устройство коридорных оголовков всегда эффективнее, чем раструбных. Известно, что раструбные оголовки с коническим или повышенным входным звеном обеспечивают наиболее благоприятный режим протекания водного потока.

*Конический оголовок* имеет воронкообразную форму и поэтому более обтекаемый, чем раструбный, но обладает меньшей пропускной способностью. Поэтому конические (и порталные) оголовки применяют при малых расходах воды. Портальные оголовки малообтекаемые, но хорошо обеспечивают устойчивость откосов насыпи.

Заметим, что металлические трубы, как правило, укладывают без оголовков, ограничиваясь срезкой концов трубы параллельно откосу насыпи или удлинением трубы до основания откосов насыпи.

*Фундаменты труб* устраивают с целью:

- обеспечить равномерное распределение давления на грунтовое основание;
- предотвратить подмыв насыпи под оголовками трубы;
- предотвратить морозное пучение в основании при пылеватых, слабых и других неблагоприятных для строительства грунтовых и прочих условиях.



Глубина заложения фундамента под оголовками трубы должна быть на 25 см ниже глубины промерзания грунта:  $Z + 0,25 \text{ м}$ .

Под звеньями глубина заложения фундамента, как правило, меньше, чем под оголовками, так как здесь основание прикрыто насыпью значительной высоты, т.е. защищено от промерзания.

При благоприятных инженерно-геологических условиях металлические трубы укладывают на щебеночно-песчаную или гравийно-песчаную подушку, выполняющую роль фундамента (рис. 6.4). Звенья железобетонных труб диаметром до 1,5 м можно укладывать непосредственно на спрофилированное грунтовое основание (если его несущая способность достаточна). В последнем случае трубы называют бесфундаментными. Оголовки труб всегда устанавливают на фундаменты, расположенные ниже глубины промерзания.

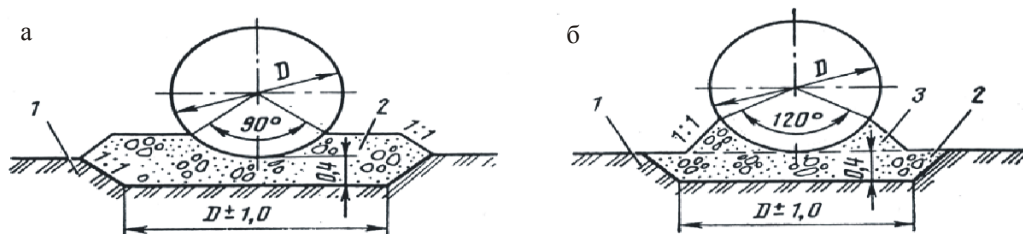


Рис. 6.4. Основание под металлической трубой:  
а - при грунтовой подушке; б - при устройстве подбивки;  
1 - грунт основания; 2 - подушка; 3 - подбивка

Наружные поверхности железобетонных и бетонных труб покрывают обмазочной или оклеечной гидроизоляцией.

Обязательным конструктивным элементом водопропускных труб является укрепление подводящего и отводящего русел.

В настоящее время наиболее распространенными видами укрепления русел являются следующие:

- бетонными квадратными плитами ( $49 \times 49 \times 10 \text{ см}$ ) со срезанными углами. Плиты укладываются на щебеночное основание толщиной 10 см;
- монолитным бетоном классом по прочности на сжатие не ниже  $B20$ , толщиной не менее 8 см;
- одиночным мощением и каменной наброской и др.

#### 6.3.4. РАСЧЕТ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

Отверстие – основная гидравлическая характеристика труб, определяющая их водопропускную способность.

На основе расчетов по формулам водопропускной способности составлены графики и таблицы, по которым назначают отверстие типовых (унифицированных) труб в зависимости от расчетного расхода  $Q_p$  (прил 9, табл. 4 и 5) при различных режимах протекания водного потока.

За расчетный  $Q_p$  принимают наибольший из двух расходов: от ливней  $Q_l$  и от стока талых вод  $Q_m$ .

Согласно СНиП 2.05.02–85 [3] на автомобильных дорогах общего пользования допускается укладка типовых труб диаметром (отверстием)  $d = 0,75$  м при длине трубы  $l < 15$  м;  $d \geq 1,0$  м – при  $l = 20$  м и  $d > 1,25$  м (не менее) – при длине трубы  $l > 20$  м.

На съездах допускается укладка труб  $d = 0,5$  м.

Методика расчета гидрологических характеристик водоотводных и водопропускных сооружений изложена в материалах для проектирования [20].

### **Определение максимальных расходов**

#### *Расход стока ливневых вод*

Определение расхода от ливней на площади малых водосборных бассейнов основано на принципе предельных интенсивностей. Суть принципа заключается в том, что за расчетную самую опасную продолжительность ливня принимают время добегания воды от наиболее удаленной точки бассейна до дороги  $t_{расч}$ :

$$t_{расч} = L/V_{доб}, \quad (6.9)$$

где  $L$  – длина бассейна, км;  $V_{доб}$  – скорость добегания, км/мин.

По результатам исследований Соколовского Д.Л. замечено, что  $V_{доб}$  более всего зависит от уклона бассейна  $I$ . Формулы, предложенные МАДИ для определения  $V_{доб}$ , м/с, имеют вид:

– для обычных задернованных поверхностей

$$V_{доб} = 3,51I^{1/4}, \quad (6.10)$$

– для гладких поверхностей

$$V_{доб} = 10I^{1/4}. \quad (6.11)$$

Для определения максимальных расходов от стока ливневых вод используется формула МАДИ и «Союздорпроекта»

$$Q_l = 16,7 a_{расч} F \alpha \varphi, \quad (6.12)$$

где  $a_{расч}$  – расчетная интенсивность ливня той же вероятности превышения (ВП), что и искомый расход, мм/мин, зависящий от продолжительности ливня;  $F$  – площадь водосборного бассейна, км<sup>2</sup>; определяется по карте с горизонталями;  $\alpha$  – коэффициент стока, зависящий

от вида грунтов на площади водосборного бассейна. При сильных ливнях наблюдается задержка проникания воды в грунт, поэтому впитыванием воды при расчетах стока можно пренебрегать, т.е. принимать  $\alpha = 1$ ;  $\varphi$  – коэффициент редукиции, учитывающий неполноту стока.

Значение  $\varphi$  тем больше, чем больше площадь водосбора. При  $F \leq 0,1 \text{ км}^2$   $\varphi = 1$ . Для больших площадей (до  $100 \text{ км}^2$ ) коэффициент редукиции определяют по формуле

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{10F}}. \quad (6.13)$$

Связь интенсивности ливня с его продолжительностью  $t$ , мин, выражается в виде зависимости

$$a = (60/t)^{2/3} a_{\text{час}}, \quad (6.14)$$

где  $a_{\text{час}}$  – средняя интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин (эти ливни достаточно хорошо изучены).

С учетом формулы (6.14) *расчетная* интенсивность ливня часовой продолжительности равна:

$$a_{\text{расч}} = \left( \frac{60V_{\text{доб}}}{L} \right)^{2/3} a_{\text{час}} \text{ или } a_{\text{расч}} = K_t a_{\text{час}}, \quad (6.15)$$

т.е. переход от интенсивности ливня часовой продолжительности к расчетной выражается коэффициентом  $K_t$ , который достигает предельного значения  $K_t = 5,24$  при продолжительности ливня 5 мин. Далее устанавливается длительное течение воды с постоянным расходом  $Q_{\text{ис}}$  в устье *коротких* бассейнов.

Значение  $K_t$  определяют непосредственно по табл. 2 прил. 9 в зависимости от уклона бассейна  $I$  и его длины  $L_b$ .

Интенсивность ливня часовой продолжительности  $a_{\text{час}}$  устанавливают в зависимости от ливневого района и нормативной *ВП* (табл. 1 прил. 9).

Вероятность превышения (*ВП*) паводковых вод нормируется в зависимости от типа сооружения и категории дорог. Для расчета водопропускных труб: для дорог I категории  $ВП = 1 \%$ ; для II и III категорий  $ВП = 2 \%$ ; для IV и V –  $ВП = 3 \%$ .

#### *Расчет стока талых вод*

Максимальный расход талых вод для любых бассейнов определяют по формуле

$$Q_m = \frac{k_0 h_p F}{(F + 1)^n} \delta_1 \delta_2, \quad (6.16)$$

где  $k_0$  – коэффициент дружности половодья, зависящий от географического района (прил. 9, табл. 3);  $h_p$  – расчетный слой стока весен-

них вод заданной вероятности превышения, мм; определяется по формуле

$$h_p = k'h_{cp}K_p, \quad (6.17)$$

где  $h_{cp}$  – средний многолетний слой стока талых вод.

Для площади бассейна  $F > 100 \text{ км}^2$  значение  $h_{cp}$  определяют непосредственно по карте прил.7, рис.2. Для малых площадей в формулу (6.17) введен поправочный коэффициент  $k'$ , равный: 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);

$n$  – показатель степени в формуле (6.16) принимается в зависимости от географической зоны (см. прил. 9, табл. 3);

$K_p$  – модульный коэффициент вводится для перехода к слоям стока расчетной ВП; определяется по графику рис. 4 прил. 8 при соответствующем коэффициенте вариации  $C_v$  (определяется по карте рис. 3 прил. 8);

$\delta_1$  и  $\delta_2$  – коэффициенты, учитывающие снижение максимальных расходов в залесенных и заболоченных бассейнах соответственно.

Коэффициенты  $\delta_1$  и  $\delta_2$  определяют по формулам

$$\delta_1 = \frac{1}{A_l + 1}, \quad (6.18)$$

где  $A_l$  – залесенность бассейна, доли ед.

$$\delta_2 = 1 - 0,7 \lg(0,1A_b + 1), \quad (6.19)$$

где  $A_b$  – заболоченность и заозерность бассейна, доли ед.

### ***Режим протекания воды в трубах***

По характеру протекания воды в трубах возможны следующие гидравлические режимы: напорный, полунпорный и безнапорный (рис. 6.5).

*Напорный режим* характеризуется *полным* заполнением отверстия трубы; водный поток в пределах всей длины трубы не имеет свободной поверхности. При напорном режиме подпор воды перед трубой  $H$  больше высоты (диаметра) трубы  $h_{mp}$ .

Труба работает в напорном режиме, если  $H/h_{mp} > 1,4$  – условие работы трубы в напорном режиме.

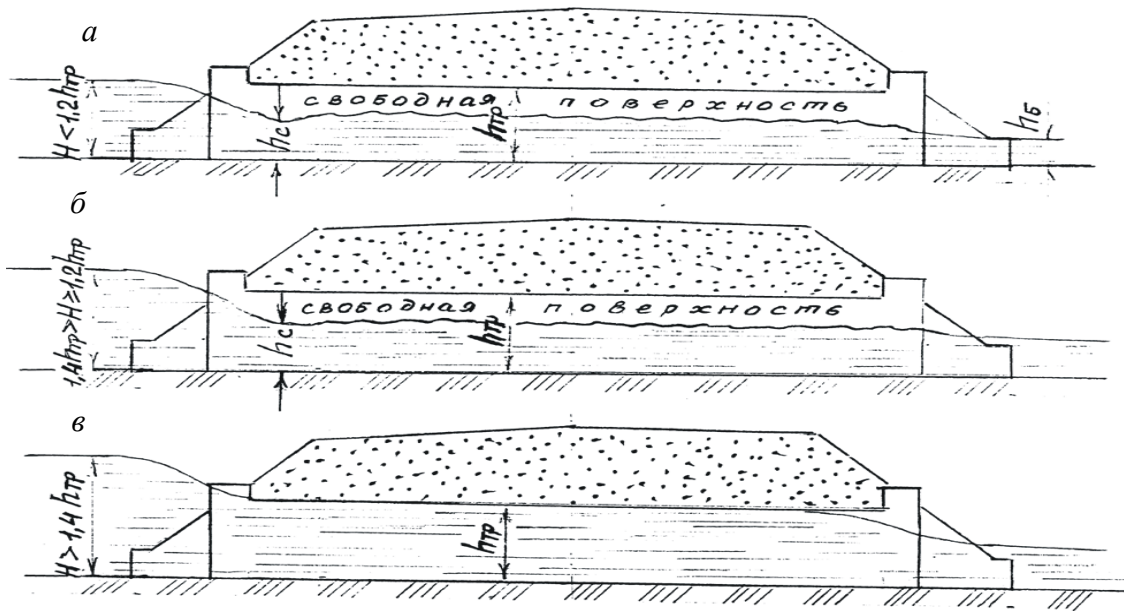


Рис. 6.5. Режим протекания водного потока:  
а – безнапорный; б – полунанпорный; в – напорный

*Полунанпорный режим* характеризуется тем, что труба на входе работает полным сечением, а на протяжении всей длины трубы водный поток имеет свободную поверхность. Условие работы трубы в полунанпорном режиме:  $1,2 < H/h_{тр} < 1,4$ .

*Безнапорный режим* – отверстие трубы заполнено не полностью, водный поток на всем протяжении трубы имеет свободную поверхность. Условие работы трубы в безнапорном режиме:  $H/h_{тр} \leq 1,2$ , т.е. когда горизонт воды перед насыпью ниже верха трубы или выше его не более чем на 20 %. Тот факт, что даже при наличии некоторого подпора ( $H - h_{тр} > 0$ ) труба может работать в безнапорном режиме, объясняется тем, что поток *при входе в трубу* резко суживается, вследствие чего в начале трубы образуется перепад уровня воды.

Трубы, как водопропускные сооружения, практически всегда проектируют по условию работы их *в безнапорном режиме*. Такой режим обеспечивает наилучшие гидравлические характеристики и сохранность насыпи от размыва при эксплуатации дороги.

Напорный режим труб крайне нежелателен по ряду причин. Главными из них можно считать следующие: при ливнях и снеготаянии насыпь работает, как плотина; подпертая и долгостоящая вода насыщает грунт насыпи, фильтруясь через нее, вымывает мелкие частицы грунта, в результате насыпь теряет несущую способность. Для предотвращения размыва насыпи необходимы специальные меропр-

ятия по ее укреплению. При напорном режиме пропускная способность труб ниже, чем при безнапорном, так как наибольшая скорость и наибольший расход наблюдаются при частичном наполнении трубы, а не при полном (при наличии свободной поверхности водного потока).

Согласно [22] максимальная скорость течения воды в трубах круглого сечения  $V_{max}$  наблюдается при глубине наполнения  $h_n = 0,85d$ , а максимальные расходы  $Q_{max}$  – при  $h_n = 0,93 d$ .

Объясняется это тем, что в верхней части трубы площадь живого сечения  $\omega$  увеличивается незначительно при повышении уровня воды в трубе, а смоченный периметр  $\chi$  увеличивается более активно.

Следовательно, гидравлический радиус  $R = \omega/\chi$  начинает уменьшаться после некоторой глубины наполнения трубы. Поэтому скорость водного потока согласно уравнению Шези  $V = c\sqrt{Ri}$ , равно как и расход трубы  $Q = \omega c\sqrt{Ri}$ , будут уменьшаться, начиная с некоторой предельной глубины наполнения.

В гофрированных трубах возможен полунапорный режим, т.е. когда труба на участке, примыкающем к входному отверстию, работает полным сечением, а на остальной части имеет свободную поверхность.

### ***Определение глубины воды перед трубой***

Чтобы проверить режим работы трубы в конкретных условиях для расчетного расхода  $Q_p$ , необходимо знать глубину воды перед трубой  $H$ . Для этой цели можно воспользоваться формулами пропускной способности трубы  $Q_c$ ; при безнапорном режиме

$$Q_c = \varphi_0 \omega_c \sqrt{2g(H - h_c)}, \quad (6.20)$$

где  $Q_c$  – расход воды в сооружении при безнапорном режиме, м<sup>3</sup>/с;  $\varphi_0$  – коэффициент скорости; при обычных условиях принимают  $\varphi_0 = 0,82...0,85$  (для всех оголовков кроме обтекаемых, работающих в напорном режиме);  $h_c$  – глубина воды в сжатом сечении, м.

Связь между подпором воды перед трубой  $H$  и глубиной  $h_c$  выражается в виде

$$H = h_c + \frac{V_c^2}{2g\varphi_0^2} \approx 2h_c, \quad (6.21)$$

где  $V_c$  – скорость воды в сжатом сечении, м/с.

На основе расчетных формул пропускной способности труб при разных режимах протекания построены графики, позволяющие определить  $H$  – глубину воды перед трубой круглого и прямоугольного сечений при известных расчетных расходах  $Q$  (рис. 6.6).

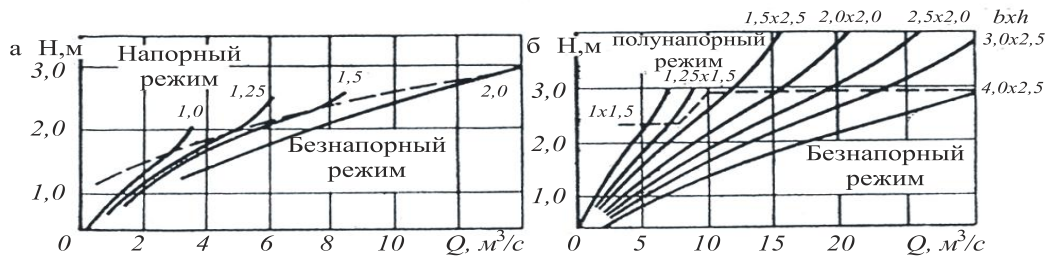


Рис. 6.6. Графики пропускной способности типовых труб:  
а - круглых; б - прямоугольных (цифры на кривых - отверстия труб, м )

Определение  $H$  по формуле (6.21) достаточно трудоемко, поскольку глубина воды в сжатом сечении  $h_c$  вычисляется подбором (см. раздел 6.4.2).

### Учет аккумуляции ливневых вод перед трубой

Расход воды в сооружении (пропускная способность трубы)  $Q_c$  существенно зависит от подпора воды перед трубой  $H$ . При узких логах с крутыми склонами и большом уклоне тальвега подпор воды, как правило, обеспечивает равенство расхода воды в отверстии секунднему притоку ( $Q_p = Q_c$ ). При определении отверстия трубы в таких случаях принимают за расчетный наибольший расход заданной вероятности превышения (обычно это ливневый), т.е. не учитывается аккумуляция воды перед сооружением.

При развалистых логах с малыми уклонами вода накапливается перед полотном дороги, образуя пруд. Причем подпор воды перед трубой возрастает достаточно медленно, и тогда расход воды в сооружении оказывается значительно меньше расчетного расхода бассейна ( $Q_c \ll Q_p$ ). Поэтому при неявно выраженных логах отверстие трубы необходимо определять с учетом аккумуляции. Без учета накопления воды перед трубой нельзя твердо сказать, какой вид стока наиболее опасен для сооружения. Даже при  $Q_l > Q_T$  опасным может оказаться сток талых вод, если  $Q_l > Q_c < Q_T$ . Поэтому необходимо выполнить расчет отверстия трубы на пропуск талых вод при  $Q_c = Q_T$  и ливневых вод с учетом аккумуляции, т.е. при  $Q_c < Q_l$ .

Степень снижения расчетного расхода из-за аккумуляции определяется по отношению объема воды, накопленной перед трубой  $W_{np}$ , к объему суммарного притока  $W$  с площади бассейна.

Объем пруда аналитически может быть выражен (весьма условно) в виде

$$W_{np} = \frac{m_1 + m_2}{6i_l} H^3 = aH^3, \quad (6.22)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – коэффициенты крутизны склонов лога;  $i_l$  – уклон лога, доли ед.

Расчетный сбросный расход  $Q_c$ , по Д.И. Кочергину (для треугольной формы гидрографов притока и сброса), выражается формулой

$$Q_c = Q = Q_l(1 - W_{np}/W) = Q_l(1 - aH^3/W). \quad (6.23)$$

Но определить величину подпора  $H$  при неизвестном сбросном расходе по формулам нельзя. Поэтому учесть аккумуляцию при определение расходов можно только *подбором* или графоаналитическим способом. Последовательность решения графоаналитическим способом:

– задают предельный подпор перед сооружением  $H$  (ориентируясь на глубину лога);

– вычисляют объем пруда  $W_{np}$  по формуле (6.22) для *принятого* подпора;

– перестраивают график пропускной способности (см. рис. 6.6) в новую систему координат:  $Q_c$  – ось  $x$ ,  $H^3$  – ось  $y$  (рис. 6.7);

– откладывают по оси  $Q_c$  значение  $Q_l$ , а по оси  $H^3$  – отношение  $W/a$  при  $a = (m_1 + m_2)/6i_l$ ;

– соединяют обозначенные точки по линейке. Полученная прямая (прямая аккумуляции) соответствует уравнению (6.20).

Точки пересечения прямой аккумуляции с кривыми пропускной способности труб дают решение: по оси  $y$  находят непосредственно значение подпора  $H^3$  при известном отверстии трубы.

### **Определение длины трубы. Укрепление русел**

При высоте насыпи  $H < 6$  м длину трубы без оголовков вычисляют по формуле

$$l_{mp} = \left[ \frac{0,5B + m(H_{нас} - h_{mp})}{1 + mi_{mp}} + \frac{0,5B + m(H_{нас} - h_{mp})}{1 - mi_{mp}} + n \right] \frac{1}{\sin \alpha}, \quad (6.24)$$

где  $m$  – коэффициент крутизны откосов насыпи непосредственно у сооружения;  $H_{нас}$  – высота насыпи у сооружения; принимают по про-



дольному профилю (фактическая рабочая отметка по оси трубы), м;  $i_{mp}$  – уклон трубы, доли ед., принимают равным уклону лога у сооружения  $i_{mp} = i_{л.с}$ ;  $n$  – толщина стенки оголовка; для прямоугольных труб  $n = \delta$ , т.е. равна толщине плиты перекрытия, м;  $\alpha$  – угол между осями дороги и трубы, град; как правило,  $\alpha = 90^\circ$  (пересечение под прямым углом).

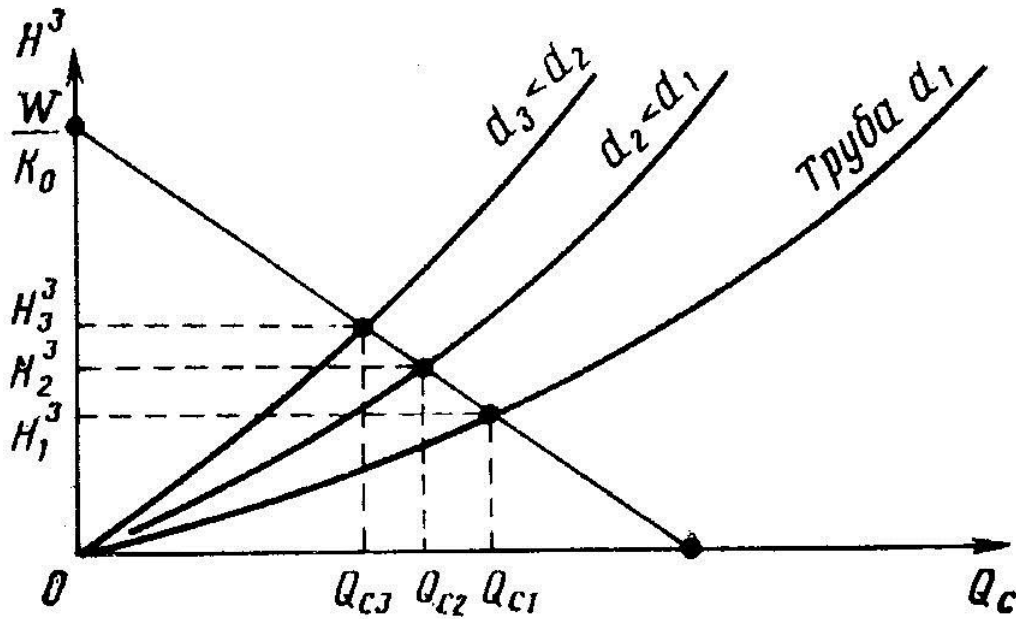


Рис. 6.7. Схема графика для расчета отверстий труб с учетом аккумуляции ливневых вод

При высоте насыпи  $H_{нас} > 6$  м, т.е. когда верхняя часть земляного полотна устраивается с крутизной откосов 1:1,5, а нижняя – более пологой (1:1,75), длину трубы без оголовков можно определить по формуле

$$l_{mp} = \left[ \frac{0,5B - 1,5 + 1,75(H_{нас} - h_{mp})}{1 + 1,75i_{mp}} + \frac{0,5B - 1,5 + 1,75(H_{нас} - h_{mp})}{1 - 1,75i_{mp}} + n \right] \frac{1}{\sin \alpha}. \quad (6.25)$$

Полную длину трубы определяют по формуле

$$L_{mp} = l + 2M, \quad (6.26)$$

где  $M$  – длина оголовков, м; принимают по таблицам геометрических размеров труб.

Местный размыв в отводящем русле является следствием превышения фактической скорости над неразмывающей, допускаемой по грунту  $V_{дон}$ .

Глубина размыва за укреплением зависит от длины укрепленного участка  $l_{укр}$ . При малой длине укрепления за трубой глубина размыва становится значительной, и это может привести к подмыву кромки укрепления, постепенному его разрушению, а в конечном счете – к подмыву фундамента водопропускного сооружения.

Размыв русла резко уменьшается при длине укрепления, равной пятикратной величине отверстия трубы.

Длину укрепления русла за сооружением следует назначать на основании гидравлического расчета или по типовым решениям в зависимости от отверстия трубы и расходов.

### 6.3.5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВОДОПРОПУСКНОЙ ТРУБЫ

**Задание:** выполнить расчет водопропускной трубы на ПК22+00. Площадь и другие характеристики водосборного бассейна определить по карте с горизонталями (см. рис. 2.1).

Характеристику климатических и грунтово-геологических условий принять согласно описанию района (п. 1.2).

#### **Решение**

Этапы проектирования водопропускной трубы:

- установление исходных данных для проектирования;
- определение расчетного расхода и подбор отверстия трубы по типовым решениям;
- определение минимальной высоты насыпи у трубы и длины трубы;
- назначение укрепления на входе и выходе водного потока.

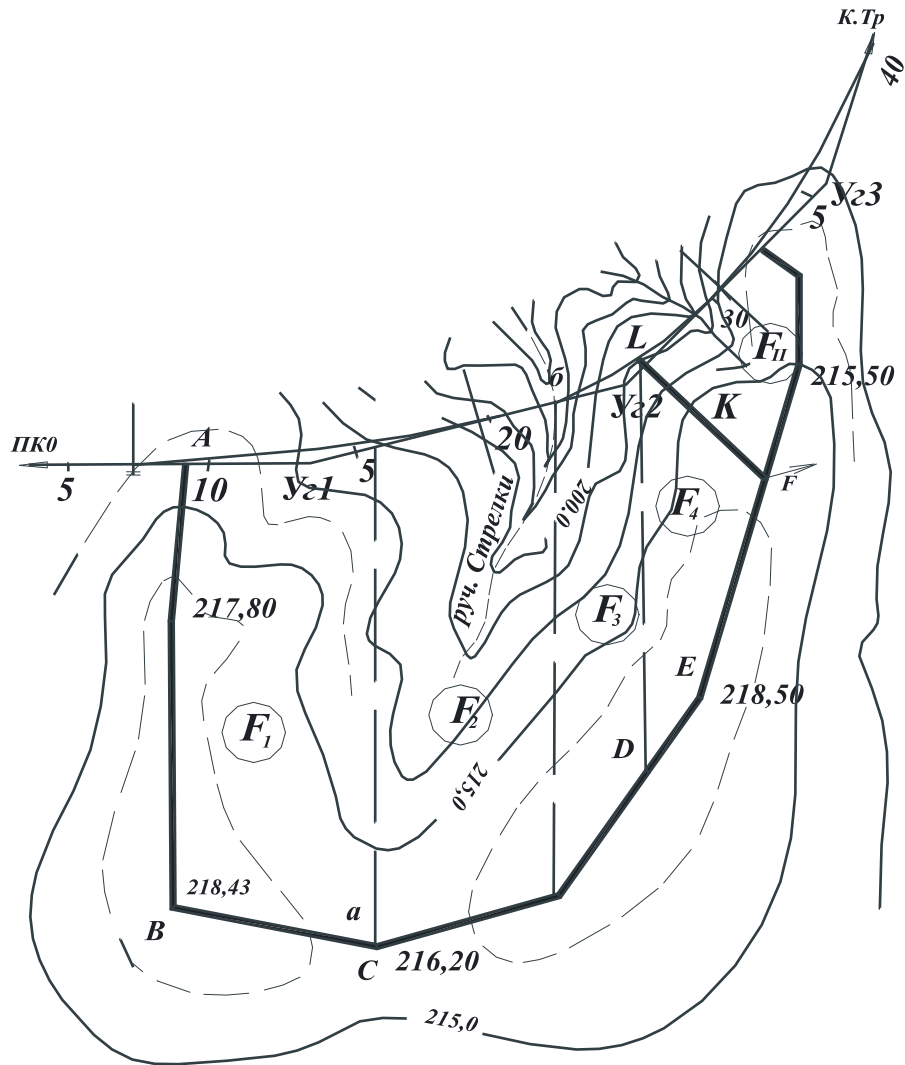
#### **Установление исходных данных**

Площадь водосборного бассейна  $F$  определяем в такой последовательности.

Ориентируясь на отметки и конфигурацию горизонталей на специально вычерченном плане (рис. 6.8), находим самые высокие точки бассейна:  $A, B, C, D, E, F, K$ . Намечаем линии водоразделов и обозначаем границы бассейна, с площади которого все водные потоки стекают к трубе (направления водных потоков показано на рисунке стрелками).

Вычисляем площадь водосборного бассейна  $F$  как сумму площадей элементарных геометрических фигур:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4.$$



Характеристики водосборного бассейна	Обозначения	1-й бассейн	2-й бассейн
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	F	3,44	0,27
Длина лога, км	Lл	3,10	1,5
Уклон главного лога, д.ед.	ил	0,0094	0,0103
Уклон склонов лога, д. ед.: правого	ип	0,0435	0,0050
левого	ил	0,0603	0,0065
Уклон лога у сооружения д. ед	илс	0,0170	0,0670
Залесенность бассейна, %	$\delta_1$	95	95
Заболоченность бассейна, %	$\delta_2$	0	0
Заозеренность бассейна, %	$\delta_2$	0	0

Рис. 6.8. План площадей водосборных бассейнов

С учетом масштаба плана (1:25000) имеем:

$$F_1=1,37 \text{ км}^2, F_2=1,20 \text{ км}^2, F_3=0,53 \text{ км}^2, F_4=0,34 \text{ км}^2.$$

Общая площадь бассейна  $F=3,44 \text{ км}^2$ .

Определяем основные характеристики бассейна:

– средний уклон главного лога  $i_l$ :

$$i_l = (H_n - H_0)/L_l, \quad (6.27)$$

где  $H_n$  – отметка поверхности земли в начале лога (явно выраженная вершина тальвега), м;  $H_0$  – отметка точки непосредственно у сооружения, м;  $L_l$  – длина главного лога, м; определяется как сумма длин всех второстепенных логов на площади бассейна.

На плане рис. 6.8 второстепенных логов нет, поэтому длину лога принимаем равной расстоянию между точками  $a$ – $b$  по тальвегу с учетом его извилистости:  $L_l = 3100 \text{ м}$ .

Тогда средний уклон главного лога

$$i_l = (216,2 - 187,05)/3100 = 0,009.$$

Уклон лога у сооружения  $i_{лс}$  определяем по разности отметок точек, расположенных на 50 м выше и ниже осевой точки трубы (рис. 6.9):

$$i_{лс} = (188,0 - 186,3)/(50 + 50) = 0,017.$$

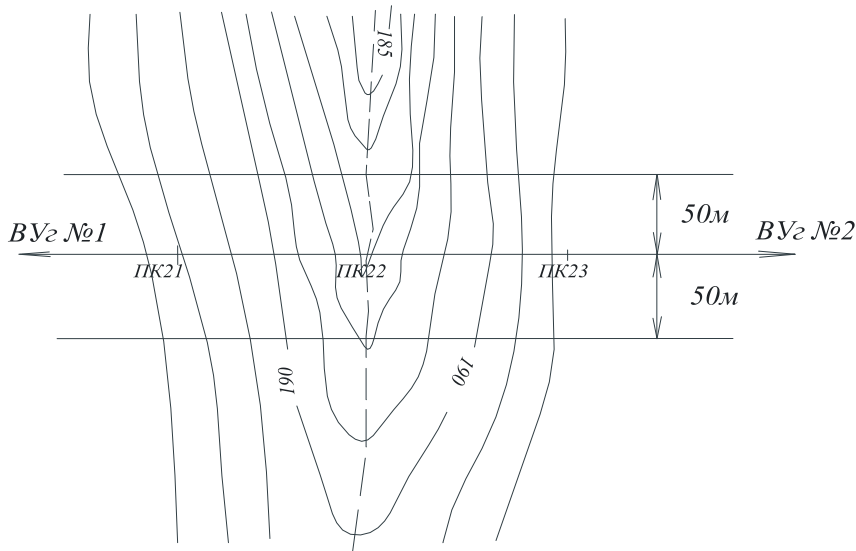


Рис. 6.9. Схема для определения уклона лога у сооружения

Средние уклоны склонов лога  $i_{ск.л}$  (рис. 6.10) определяем в поперечном сечении непосредственно у сооружения (ПК22+00):

$$i_{ск.л} = \frac{(193,08 - 187,05) 10^3}{100} = 60 \text{ ‰}.$$

Глубину лога  $h_l$  определяем при условии, что вода пруда не переливается в смежный лог. На рис. 6.10 имеем случай  $H_2 < H_1$ , следовательно, глубина лога равна разности отметок  $H_2 - H_0$ .

Отметка наиболее низкой точки у сооружения  $H_0 = 187,05$ ; следовательно,  $h_l = 191,40 - 187,05 = 4,35$  м.

$$i_{ск}^{np} = \frac{(191,4 - 187,05)10^3}{100} = 43 \text{‰}.$$

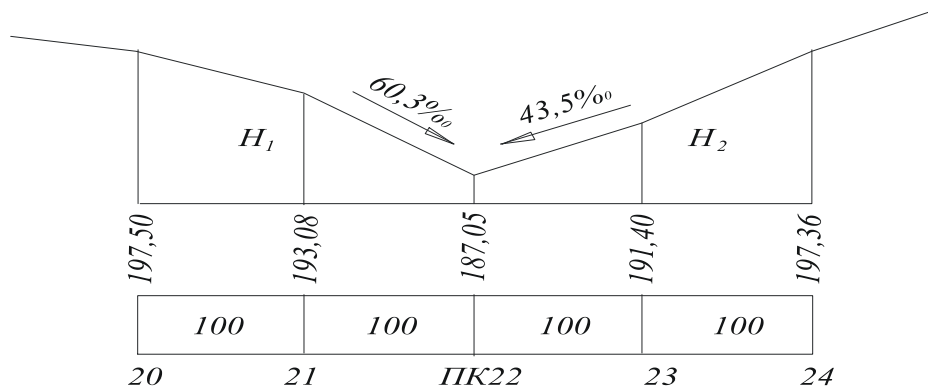


Рис. 6.10. Схема для определения уклонов склонов лога у сооружения

### Определение расчетного расхода

Чтобы определить ливневый сток, предварительно устанавливаем значение параметров формулы (6.12): интенсивность ливня часовой продолжительности для 5-го ливневого района (прил. 8, рис. 1) равна  $a_{час} = 0,82$  мм/мин (см. прил. 9, табл. 1).

Коэффициент  $K_t$ , зависящий от длины бассейна  $L_b$  и уклона бассейна  $J_b$ , устанавливаем по табл. 2 прил. 9, приняв  $L_b = h_k = 3,1$  км и  $J_b = i_l = 0,009$ .

При данных условиях табличное значение  $K_t = 1,22$ , следовательно, расчетная интенсивность ливня по формуле (6.15) равна:

$$a_{расч} = 1,22 \cdot 0,82 = 1,00 \text{ мм/мин.}$$

По формуле (6.13) определяем коэффициент редукции  $\varphi$  для площади бассейна  $F = 3,44$  км<sup>2</sup>:

$$\varphi = 1/\sqrt[4]{10 \cdot 3,44} = 0,413,$$

по формуле (6.12) находим максимальный расход от ливней:

$$Q_l = 16,7 \cdot 1 \cdot 3,44 \cdot 0,413 = 23,7 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Аккумуляцию воды от ливневого стока не учитываем, поскольку перед сооружением нельзя создать пруд (узкий лог с крутыми склонами и большим уклоном тальвега).

### **Расчет стока талых вод**

Последовательность расчета по формуле (6.16).

1. По карте прил. 8, рис. 2 находим  $h_{cp}$  – средний многолетний слой стока талых вод при  $F > 100 \text{ км}^2$ ; для условий Свердловской области  $h_{cp} = 60 \text{ мм}$ .

2. Чтобы определить модульный коэффициент  $K_p$ , необходимо знать значение коэффициентов вариаций  $C_v$  и асимметрии  $C_s$ .

Коэффициент  $C_v$  определяем по карте рис. 3 прил. 8 в зависимости от района строительства. Для Свердловской области находим:  $C_v = 0,60$ . К этому значению  $C_v$  вводим поправочный коэффициент влияния площади бассейна  $K_{nl}$ . При  $F = (0 - 50) \text{ км}^2$  поправочный коэффициент  $K_{nl} = 1,25$ , следовательно,  $C_v = 1,25 \cdot 0,6 = 0,75$ .

Принимаем коэффициент асимметрии  $C_s$  для горной местности  $C_s = 3C_v$  и по графику рис. 4 прил. 8 находим модульный коэффициент  $K_p$ . При вероятности превышения  $ВП = 2 \%$   $K_p = 2,80$ .

3. Вычисляем расчетный слой стока по формуле (6.17):

$$h_p = 1,1 \cdot 60 \cdot 2,8 = 185 \text{ мм}.$$

4. Коэффициенты, учитывающие снижение максимальных расходов в залесенных и заболоченных бассейнах, принимаем:  $\delta_1 = 1$  и  $\delta_2 = 1$ , так как трасса проходит по открытой местности, а болот и озер нет.

5. Принимаем показатель степени  $n$  в формуле (6.16) для района Урала равным  $n = 0,15$ , а коэффициент дружности половодья  $K_0 = 0,02$  (см. прил. 9, табл. 3) и вычисляем максимальный расход талых вод:

$$Q_T = \frac{0,02 \cdot 185 \cdot 3,44}{(3,44 + 1) \cdot 0,15} = 3,4 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Из расчетов следует, что максимальный расход от ливней значительно больше, чем от талых вод ( $Q_l > Q_T$ ); в качестве расчетного расхода необходимо принять ливневый:  $Q_p = Q_l = 24 \text{ м}^3/\text{с}$ .

### **Расчет отверстия трубы на ПК22+00**

1. Пользуясь таблицами пропускной способности типовых труб, устанавливаем, что трубы круглого сечения не могут обеспечить пропуск расчетного расхода  $Q_p = 24 \text{ м}^3/\text{с}$  в безнапорном режиме. Поэтому принимаем типовую трубу прямоугольного сечения  $v_{mp} h_{mp} = 3,0 \cdot 2,5 \text{ м}$  (см. прил. 9, табл. 5). Гидравлические характеристики прямоугольной

трубы с нормальным входным звеном выписываем из той же табл. 5 прил. 9:

- глубина воды перед трубой  $H=3,0$  м; определяем по графику для прямоугольной трубы;
- скорость потока на выходе из трубы  $V=5,0$  м/с;
- высота входного звена  $h_{ex} = 2,5$  м.

2. Сравниваем глубину воды перед трубой ( $H=3,0$  м) с глубиной лога ( $h_l=4,35$  м) и замечаем, что  $H < h_l$ , следовательно, можно назначить одноочковую трубу.

3. Проверяем режим работы трубы по отношению глубины воды перед трубой  $H$  к высоте входного звена  $h_{ex}$ :

$$H/h_{ex} = 3/2,5 = 1,2.$$

Безнапорный режим обеспечивается при условии, что  $H \leq h_{ex}$  либо превышает высоту трубы на входе  $h_{ex}$  не более чем на 20 %, поэтому можно считать, что работа прямоугольной трубы  $4 \times 2,5$  м в безнапорном режиме обеспечивается, но возможен срыв режима с переходом на полунапорный.

4. Для повышения надежности работы трубы без срыва безнапорного режима можно назначить на ПК22+00 прямоугольную трубу  $3,0 \times 2,5$  м с повышенным входным звеном  $h_{ex}=3,0$  м.

Тогда при  $Q=24$  м<sup>3</sup>/с и глубине воды перед трубой  $H=3,0$  м

$$H/h_{ex} = 3,0/3,0 = 1,0 < 1,2.$$

Прямоугольная труба  $3,0 \times 2,5$  м с повышенным входным звеном обеспечивает более стабильную работу в безнапорном режиме. Однако конструкция трубы с нормальным входным звеном предпочтительнее по соображениям экономичности. Кроме того, расчетные расходы определены для малой вероятности превышения ( $ВП=2$  %), поэтому принимаем окончательное решение: назначить на ПК22+00 одноочковую прямоугольную трубу сечением  $3,0 \times 2,5$  м с нормальным входным звеном.

### ***Определение минимальной высоты насыпи на ПК22***

Высота насыпи у трубы должна обеспечить, во-первых, ее размещение и, во-вторых, соответствующий режим протекания водного потока.

Высоту насыпи определяем по формуле (3.2) для следующих исходных данных:

- труба прямоугольная  $3,0 \times 2,5$  м;
- толщина плиты перекрытия  $d= 0,3$  м.

Минимальную толщину засыпки трубы у входного оголовка  $\Delta$  принимаем равной толщине дорожной одежды:  $\Delta = h_{до} = 0,65 \text{ м}$ .

По формуле (3.2) находим

$$H_{min} = 2,5 + 0,3 + 0,65 = 3,45 \text{ м}.$$

### **Определение длины трубы**

Поскольку фактическая высота насыпи на ПК22+00 более 6 м, то длину трубы вычисляем по формуле (6.25) для насыпей с переменной крутизной откосов.

Расчетные данные:  $B = 12 \text{ м}$ ;  $H_{нас} = 6,4 \text{ м}$ ;  $h_{мп} = 2,5 \text{ м}$ , уклон трубы  $i_{мп} = 0,017$ ;  $n = 0,36 \text{ м}$ .

Длина трубы без оголовков равна:

$$l = \left[ \frac{0,5 \cdot 12 + 1,5 + 1,75(6,4 - 2,5)}{1 + 1,75 \cdot 0,017} + \frac{0,5 \cdot 12 + 1,5 + 1,75(6,4 - 2,5)}{1 - 1,75 \cdot 0,017} + 0,36 \right] \frac{1}{\sin 90} = 23 \text{ м}.$$

Устанавливаем [22], что длина оголовка прямоугольной трубы  $3,0 \times 2,5 \text{ м}$  равна  $4,7 \text{ м}$ . Следовательно, длина трубы с оголовком

$$L_{мп} = 23 + 2 \cdot 4,7 = 32,4 \text{ м}.$$

## **6.4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ РУСЕЛ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ**

### **6.4.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОГАСЯЩИХ УСТРОЙСТВ**

*Быстротоки и перепады* – искусственные русла, предназначенные для уменьшения скорости течения воды до значения менее допустимого по условию неразмывания грунта [22]. Снижение скорости движения воды на быстротоках и перепадах осуществляется за счет гашения энергии водного потока. Поэтому быстроток обычно заканчивается гасителем энергии – успокоителем в виде водобойного колодца или водобойной стены (рис. 6.11, а). Гашение энергии на перепадах происходит на каждой его ступени (многоступенчатый перепад рис. 6.11, б).

Быстротоки можно устраивать из различного материала: камня, бетона, железобетона и пр. Монолитные и сборные железобетонные быстротоки целесообразно устраивать на крутых спусках, в местах выхода водоотводных канав в овраги, суходолы и другие пониженные места.



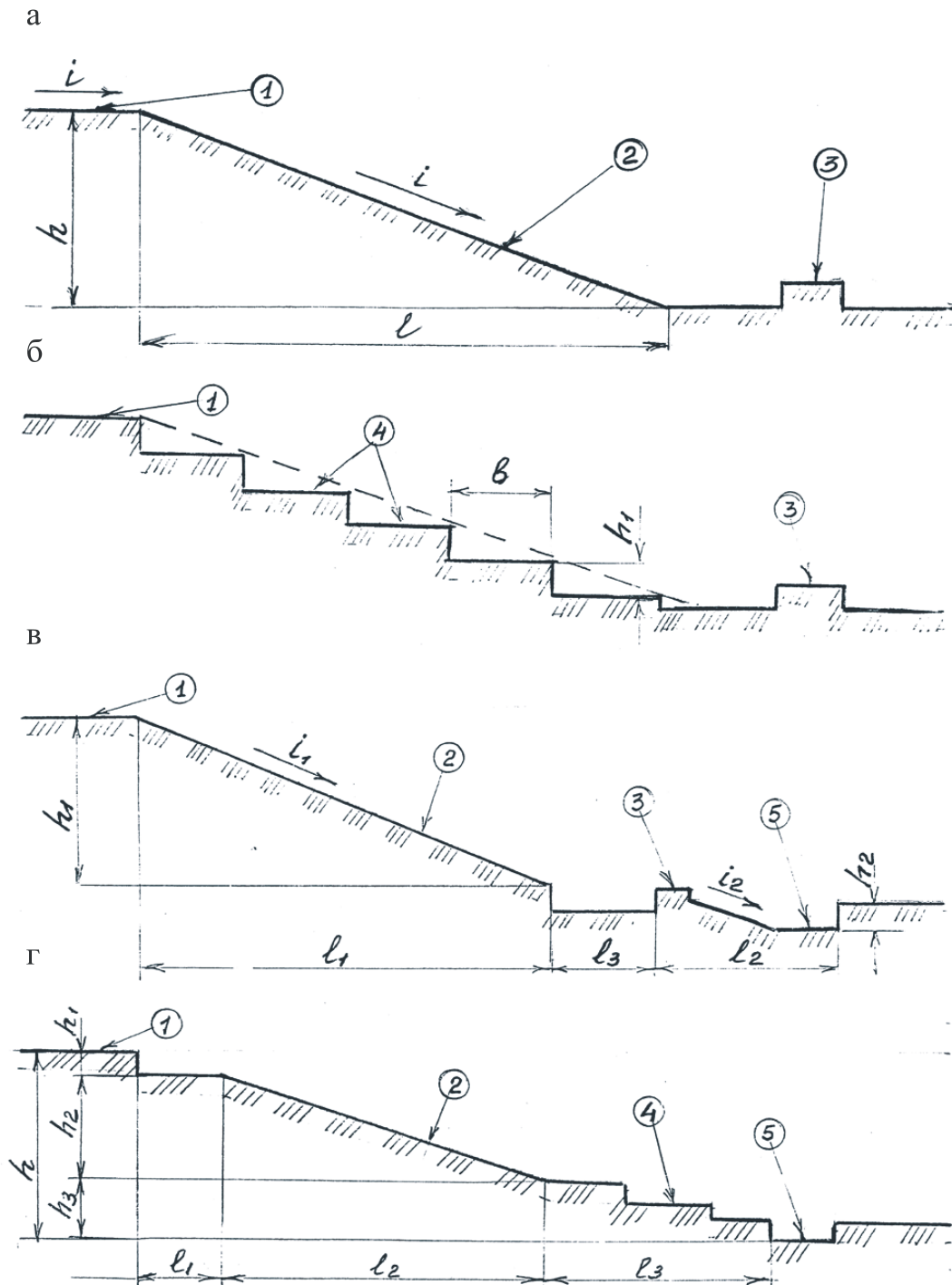


Рис. 6.11. Продольные профили искусственных русел:  
 а – заканчивающийся водобойной стенкой; б – многоступенчатый перепад; в – быстроток из двух участков с водобойным колодцем (стенкой); г – комбинированного типа (быстроток + перепады);  
 1 – входная часть; 2 – лоток быстротока; 3 – водобойная стенка;  
 4 – ступени перепада; 5 – водобойный колодец

Нередко быстротоки и перепады устраиваются как подводящие искусственные русла к водопропускным трубам и в низовой части на выходе водного потока из трубы.

В качестве искусственных русел канав быстротоки устраиваются прямоугольного и трапецеидального сечения с шириной дна 0,6 и 1,0 м; прочие размеры быстротоков и гасителей энергии водного потока (колодцы и др.) определяют гидравлическими расчетами [22].

*Перепады* (одноступенчатые и многоступенчатые) устраивают для уменьшения скорости течения воды в кюветах, канавах, резервах, а также в подводящих и отводящих руслах.

Конструкции искусственных русел назначают с учетом фактических условий на местности (уклонов, вида грунта, расчетных расходов воды и т.д.), требований нормативных документов и гидравлических расчетов. В сложных условиях местности (пересеченный рельеф и т.п.) искусственное русло может состоять из двух участков быстротока с различными уклонами; сопряжение таких участков между собой может быть выполнено при помощи гасителя энергии – водобойной стенки или колодца (см. рис. 6.11, в). Иногда применяют конструкцию комбинированного типа – из быстротока и перепадов (см. рис. 6.11, г).

Перепады одноступенчатые, равно как и многоступенчатые, *без гасителей* энергии водного потока обеспечивают нормальную гидравлическую работу только при относительно небольших уклонах лога, позволяющих устраивать ступени необходимой длины с уклоном, близким к *критическому*. Поэтому типовые материалы по проектированию водоотводных сооружений [22] предусматривают следующие рекомендации:

- одноступенчатые перепады *без гасителей энергии* целесообразно устраивать при продольном уклоне трассы водоотвода, обеспечивающем получение высоты ступени не более 0,5 м;

- многоступенчатые перепады *без гасителей энергии*, т.е. колодезного типа, устраивают при продольном уклоне трассы водоотвода 50 – 60 ‰;

- многоступенчатые перепады с гасителями энергии колодезного типа устраивают при продольном уклоне трассы водоотвода 100 – 350 ‰ и расходах воды более 1 м<sup>3</sup>/с.

Следует отметить особо, что, по мнению ряда специалистов дорожного профиля, при очень больших уклонах и значительных расчетных расходах устройство многоступенчатых перепадов с гасителями энергии (колодцами) экономически менее целесообразно, чем

устройство быстротоков, особенно при благоприятных геологических условиях, когда грунтовые и прочие условия позволяют обеспечить устойчивость круто наклонного лотка.

Такое утверждение может оказаться справедливым, если учесть, что с увеличением уклонов приходится назначать большую глубину и длину колодца (ради обеспечения нормальных гидравлических характеристик водного потока). Это приводит к увеличению строительных затрат. Кроме того, водобойные колодцы засоряются частицами грунта, выпадающими из водного потока (аккумулируют на дно колодца). Для поддержания колодцев в рабочем состоянии их приходится регулярно очищать от наносов, что увеличивает эксплуатационные затраты. С другой стороны, устройство водобойных колодцев позволяет уменьшить длину ступеней, а следовательно, сократить затраты на устройство лотка. Поэтому целесообразность устройства того или другого типа искусственного русла должна подтверждаться технико-экономическими расчетами с проработкой вариантов. Многоступенчатые перепады без водобойных колодцев нередко оказываются значительно *эффективнее* быстротоков с гасителями энергии. Например, многоступенчатый перепад можно устроить переменной ширины, увеличивая ее от верховой части ступени на перепадах вниз по течению, обеспечивая тем самым значительное снижение скорости течения водного потока (рис. 6.12).

#### 6.4.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПЕРЕПАДА

**Задание:** выполнить гидравлический расчет перепада на участке трассы ПК643 – ПК645 (см. прил. 4) для следующих условий:

- расчетный расход канавы  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- отметка дна канавы в начале участка 195,08, в конце участка – 187,54 (правая сторона по ходу пикетажа);
- грунты, суглинки средней плотности ( $\rho = 1,2 \dots 1,56 \text{ г/см}^3$ );
- форма сечения канавы трапецеидальная;
- ширина канавы по дну 0,6 м, откосы 1:1,5;
- уклон дна лотка  $i = 0,038$ .

#### **Решение**

Расчет перепада ведем по методике «Союздорпроекта» [20]; расчетная схема перепада представлена на рис. 6.13.

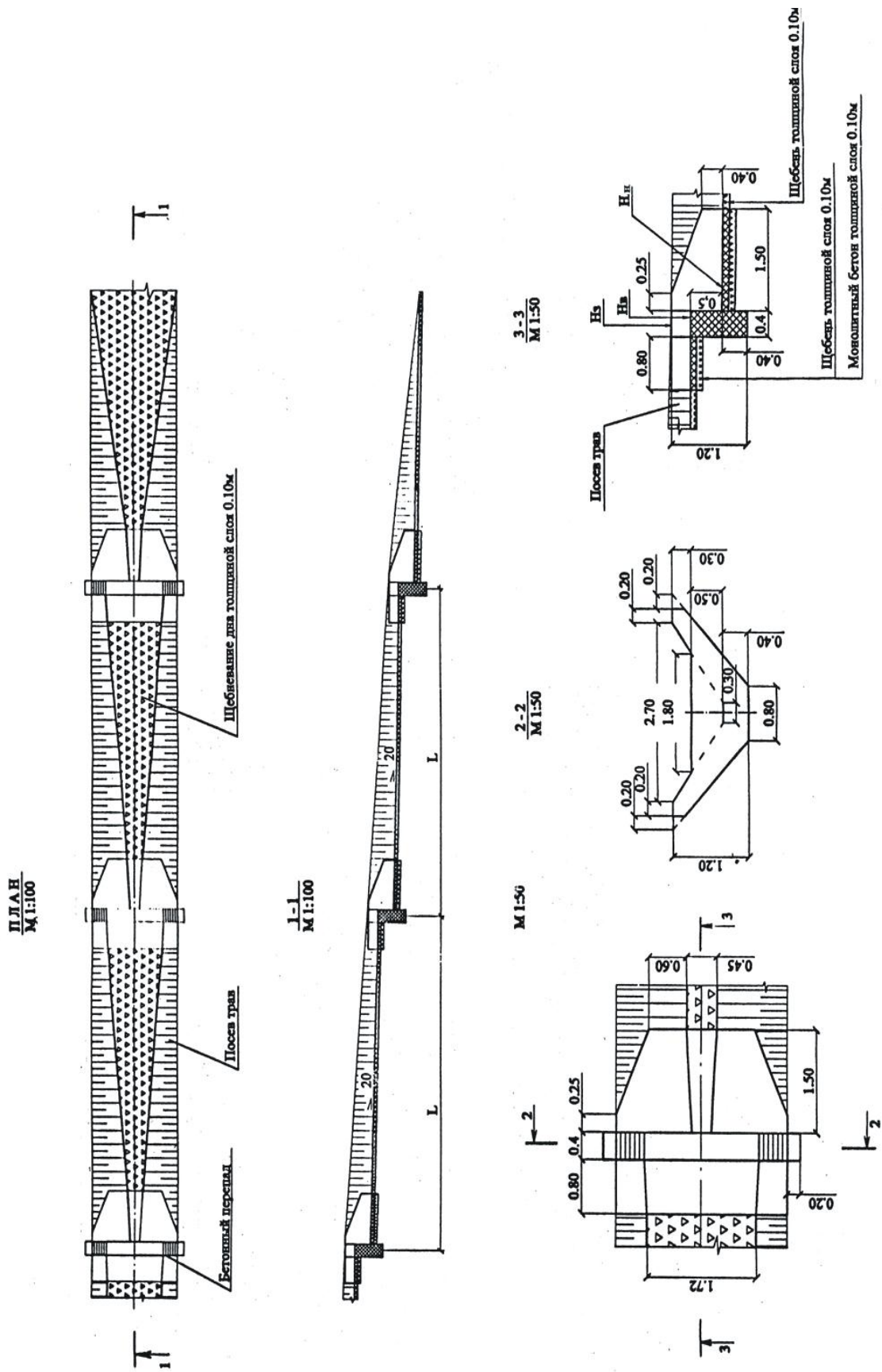


Рис. 6.12. Конструкция бетонного перепада

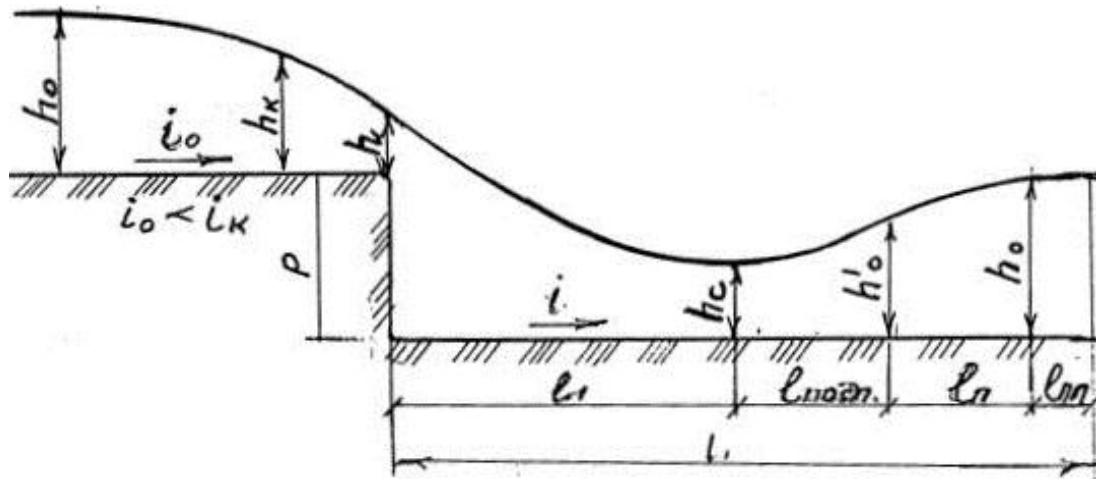


Рис. 6.13. Схема к расчету перепада

Поскольку уклоны естественного русла относительно небольшие, назначаем перепад без гасителей энергии водного потока. Принимаем конструкцию перепада трапецеидального сечения монолитную (бетон марки М–150).

Назначаем высоту ступени перепада  $P = 0,5$  м. Расчет ведем в такой последовательности.

1. Определяем глубину водного потока в русле  $h_0$  и уклон  $i_0$  при равномерном движении воды.

Чтобы определить  $h_0$ , используем зависимость между расчетным расходом  $Q$  и площадью живого сечения:

$$Q = \omega_0 V_0. \quad (6.28)$$

При установившемся движении водного потока для трапецеидального сечения при  $m_1 = m_2 = m$  находим площадь сечения водного потока:

$$\omega_0 = (b + mh_0)h_0. \quad (6.29)$$

Подставляя в формулу (6.28) выражение  $\omega_0$ , имеем

$$Q = (b + mh_0)h_0 V_0, \quad (6.30)$$

где  $V_0$  – скорость водного потока при равномерном движении; принимаем равной скорости течения воды по условию неразмывания грунта; для суглинка средней плотности –  $0,8$  м/с (см. прил. 9, табл. 7).

При  $Q = 0,5$  м<sup>3</sup>/с;  $m = 1,5$  и  $V_0 = 0,8$  м/с имеем:

$$0,5 = (0,6 + 1,5 h_0) h_0 V_0, \quad \text{откуда } h_0 = 0,476 \text{ м.}$$

Продольный уклон дна канавы при равномерном движении потока определяем из формулы (6.3), представив ее в виде

$$i_0 = V_0^2 / (c_0^2 R_0). \quad (6.31)$$

Значение гидравлического радиуса  $R_0$  определяем по формуле (6.6), предварительно выразив смоченный периметр  $\chi$  для трапецеидального сечения русла в виде

$$\chi_0 = b + 2\sqrt{1+m^2}h_0, \quad (6.32)$$

тогда

$$R_0 = \omega_0 / \chi_0 = (b + mh_0)h_0 / (b + 2\sqrt{1+m^2}h_0), \quad (6.33)$$

$$R_0 = (0,6 + 1,5 \cdot 0,476)0,476 / (0,6 + 2\sqrt{1+1,5^2} \cdot 0,476) = 0,27 \text{ м.}$$

Скоростной множитель  $C_0$  определяем по формуле Павловского (6.4), предварительно установив коэффициент шероховатости русла  $n$  по табл. 6.2. Для канавы с одернованными откосами в обычном состоянии  $n = 0,033$ .

Показатель степени  $y$  в формуле Павловского устанавливаем по таблице на листе 39 [16].

При  $R = 0,27$  и  $n = 0,33$  значение  $y = 0,28$ .

Скоростной множитель  $C_0 = 0,27^{0,28} / 0,33 = 20,05$ .

Продольный уклон  $i_0 = i_0 = 0,8^2 / (20^2 \cdot 0,27) = 0,006$ .

2. Определяем критическую глубину потока  $h_k$  непосредственно по графику ([20, лист 43]) в зависимости от ширины канавы по низу и расчетного расхода  $Q$ . При  $b = 0,6$  м и  $Q = 0,5$  м<sup>3</sup>/с  $h_k = 0,3$ .

При отсутствии графика  $h_k = f(b, Q)$  критическая глубина потока для трапецеидального сечения определяется подбором с использованием зависимости

$$\alpha Q^2 / g = \omega_k^3 / b_k, \quad (6.34)$$

где  $\alpha = 1,1$  – коэффициент кинетической энергии водного потока;  $b_k$  – ширина канавы по верху, м.

Для прямоугольного сечения русла критическая глубина может определяться по формуле

$$h_k = \sqrt[3]{\alpha q^2 / g} = 0,482 \sqrt[3]{q^2}, \quad (6.35)$$

где  $q$  – расход на единицу ширины лотка, м<sup>3</sup>/с,

$$q = q = Q/b. \quad (6.36)$$

3. Определяем скорость потока  $V$  в сечении над уступом (при глубине воды  $h$ , см. рис. 6.13).

Глубину воды над уступом  $h$  принимают равной  $h = 0,7h_k$ , т.е.  $h = 0,7 \cdot 0,33 = 0,231$ , тогда

$$V = V = Q/\omega = \frac{0,5}{(0,6 + 1,5 \cdot 0,231)0,231} = 2,28 \text{ м/с.}$$

4. Определяем глубину водного потока в сжатом сечении  $h_c$ .

Решение может быть выполнено подбором с использованием зависимости

$$h + \frac{\alpha V^2}{2g} + P = h_c + \frac{\alpha Q^2}{2g\varphi^2 h_c^2 (b_c + mh_c)^2}, \quad (6.37)$$

где  $\varphi$  – коэффициент скорости;  $\varphi = (0,85-0,95)$ . Решаем равенство (6.37) при  $\varphi = 0,9$  и ранее вычисленных параметрах

$$0,231 + \frac{1,1 \cdot 2,28^2}{2 \cdot 9,81} + 0,5 = h_c + \frac{1,1 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,9(0,6 + 1,5h_c)^2};$$

$$0,368h_c^2 + 1,48h_c^3 + 0,5h_c^4 - 2,25h_c^5 - 0,017 = 0.$$

При  $h_c = 0,20$  имеем:

$$0,368 \cdot 0,2^2 + 1,48 \cdot 0,2^3 + 0,5 \cdot 0,2^4 - 2,25 \cdot 0,2^5 - 0,017 = 0,0147 + 0,0118 + 0,0008 - 0,0007 - 0,017 = 0,025 \neq 0.$$

Принимаем  $h_c = 0,19$  и повторяем расчет.

При  $h_c = 0,19$  имеем:

$$0,0132 + 0,01 + 0,0005 - 0,00045 - 0,017 = 0,006.$$

Величина  $0,006 \approx 0$ ; результат в пределах допустимой точности вычислений (3 %).

$$0,006 \cdot 100 < 3\%.$$

Определяем скорость потока в сжатом сечении при  $h_c = 0,19$  м:

$$V_c = \frac{Q}{\omega_a} = \frac{0,5}{(0,6 + 1,5 \cdot 0,19)0,19} = 2,98 \text{ м/с}.$$

Для дальнейших расчетов принимаем глубину в сжатом сечении  $h_c = 0,20$  м, тогда скорость потока в сжатом сечении

$$V_c = \frac{0,5}{(0,6 + 1,5 \cdot 0,2)0,2} = 2,8 \text{ м/с}.$$

5. Определяем взаимную (сопряженную) глубину потока после перепада  $h'$  по формуле

$$h''_c = \frac{6h_k^2}{h_k + 5h_c}, \quad (6.38)$$

$$h''_c = \frac{6 \cdot 0,33^2}{0,33 + 5 \cdot 0,2} = 0,49 \text{ м}.$$

Сравниваем глубину  $h''_c$  с глубиной потока при установившемся движении  $h_0 = 0,476$  м, т.е.  $h''_c > h_0$ . Следовательно, прыжок отогнанный.

Если  $h''_c < h_0$ , необходимо дальнейшее гашение скорости потока.

6. Определяем меньшую сопряженную глубину потока  $h_0'$  (в конце перепада) по формуле

$$h_0 = \frac{6h_k^2}{h_k + 5h_0'}; \quad h_0' = \frac{6h_k^2}{5h} - \frac{h_k}{5}. \quad (6.39)$$

Для ранее выполненных расчетов находим

$$h_0' = \frac{6 \cdot 0,33^2}{5 \cdot 0,476} - \frac{0,33}{5} = 0,22 \text{ м.}$$

7. Определяем длину кривой подпора  $l_{подп}$ .

Чтобы определить  $l_{подп}$ , необходимо сначала вычислить *несколько* гидравлических характеристик, поэтому решение выполняем в такой последовательности:

– вычисляем площадь живого сечения  $\omega_c$  при  $h_c = 0,2$  м (т. е. в сжатом сечении) и  $\omega_0'$  при  $h_0' = 0,22$  м (в сечении меньшей сопряженной) по формуле (6.1):

$$\omega_c = (0,6 + 1,5 \cdot 0,2)0,2 = 0,180 \text{ м}^2;$$

$$\omega_0' = (0,6 + 1,5 \cdot 0,22)0,22 = 0,203 \text{ м}^2;$$

– вычисляем гидравлические радиусы  $R_c$  и  $R_0'$  в тех же сечениях, предварительно вычислив смоченные периметры  $\chi_c$  и  $\chi_0'$ . Для трапецидального сечения при  $m_1 = m_2$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} \text{ (см. формулу (6.7)).}$$

Смоченный периметр  $\chi$  в сечениях с глубиной  $h_c = 0,2$

$$\chi_c = 0,6 + 2 \cdot 0,2\sqrt{1+1,5^2} = 1,321 \text{ м,}$$

при  $h_0' = 0,22$   $\chi_0' = 0,6 + 2 \cdot 0,22\sqrt{1+1,5^2} = 1,393 \text{ м.}$

Гидравлические радиусы по формуле (6.6) равны:

в сжатом сечении:  $R_c = \omega_c / \chi_c = 0,180 / 1,321 = 0,1363$ ,

в сечении меньшей сопряженной  $R_0' = \omega_0' / \chi_0' = 0,203 / 1,3 = 0,1457$ ;

– далее вычисляем средние значения площади живого сечения  $\omega_{cp}$  и гидравлического радиуса  $R_{cp}$ :

$$\omega_{cp} = (0,180 + 0,203) / 2 = 0,1915; \quad \omega_{cp} \approx 0,191 \text{ м}^2;$$

$$R_{cp} = 0,1363 + 0,1457 / 2 = 0,141; \quad R_{cp} = 0,14 \text{ м};$$

– устанавливаем значения коэффициентов Шези  $C_c$  и  $C_0'$  при  $R_c$  и  $R_0'$ , приняв коэффициент шероховатости  $n = 0,015$  для гладкой бетонной поверхности в обычном состоянии (см. табл. 6.3). Заметим, что коэффициент  $C$  можно определить по прил. 9, рис. 5 или по формуле (6.4).

В данном примере значения  $R_c$  и  $R_0'$  практически равны, поэтому находим значение  $C$  для  $R_{cp} = 0,14$  м,  $n = 0,015$  и принимаем его за



среднее, т.е.  $C_c = C_0' = C_{cp}$ . По таблице [20] находим коэффициент  $C_{cp} = 45$ ;

– определяем средний уклон трения по формуле

$$i_{cp} = \frac{Q^2}{\omega_{cp}^2 C_{cp}^2 R_{cp}}, \quad (6.40)$$

$$i_{cp} = \frac{0,5^2}{0,191^2 \cdot 45^2 \cdot 0,140} = 0,0242 ;$$

– определяем энергию водного потока:

в сжатом сечении

$$\mathcal{E}_c = h_c + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega_c^2}, \quad (6.41)$$

$$\mathcal{E}_c = 0,20 + \frac{1,1 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,180^2} = 0,433 ,$$

в сечении меньшей сопряженной

$$\mathcal{E}_0' = h_c' + \frac{\alpha Q^2}{2g(\omega_0')^2}, \quad (6.42)$$

$$\mathcal{E}_0' = 0,22 + \frac{1,1 \cdot 0,5^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,203^2} = 0,34 .$$

Для вычисленных параметров длина кривой подпора равна:

$$l_{подп} = \frac{\mathcal{E}_0' - \mathcal{E}_c}{i - i_{cp}} = \frac{0,34 - 0,433}{0,038 - 0,024} = 6,6 \text{ м}. \quad (6.43)$$

8. Определяем длину прыжка  $l_n$  по формуле

$$l_n = 2,5(0,9h_0 + d), \quad (6.44)$$

где  $d$  – разность между глубиной потока в русле при равномерном движении  $h_0$  и в сечении меньшей сопряженной  $h_0'$ ;

$$d = 0,476 - 0,22 = 0,256 \text{ м},$$

$$l_n = 2,5(0,9 \cdot 0,476 + 0,256) = 1,7 \text{ м}.$$

9. Определяем длину участка после прыжка  $l_{nn}$ :

$$l_{nn} = 2,7 l_n = 2,7 \cdot 1,7 = 4,62 \text{ м}.$$

10. Определяем дальность падения струи  $l_1$ :

$$l_1 = V \sqrt{\frac{2P + h}{g}}, \quad (6.45)$$

где  $h$  – глубина воды над уступом;  $h = 0,231$  м.

$$l_1 = 2,28 \sqrt{\frac{2 \cdot 0,5 + 0,231}{9,81}} = 0,807 \text{ м.}$$

11. Определяем длину участка водобоя  $L$ :

$$L = l_1 + l_{\text{нод}} + l_n + l_{\text{ин}}, \quad (6.46)$$

$$L = 0,807 + 6,6 + 1,70 + 4,627 = 13,73 \text{ м.}$$

При высоте перепада  $P = 0,5$  м и уклоне дна лотка  $i = 0,038$  расстояние между уступами должно быть  $\sim 14$  м. Следовательно, при уклоне канавы 38 ‰ на участке длиной 200 м необходимо устройство  $200/14 \approx 14$  уступов.

### Контрольные вопросы

1. Перечислить основные способы отвода воды с проезжей части, обочин и прилегающей к дороге территории.
2. Назовите основные элементы водопропускных труб и назначение каждого из них.
3. Что понимают под шероховатостью русла, и как она влияет на скорость движения водного потока?
4. Дайте характеристику безнапорного и напорного режимов работы водопропускных труб.
5. От каких факторов зависит глубина заложения фундамента труб?
6. Какие виды укрепления русел применяют при уклонах дна канав более 50 ‰?
7. Какой расход принимают в качестве расчетного при определении отверстия трубы?
8. Для какой цели устраивают водобойные колодцы на быстротоках и перепадах?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

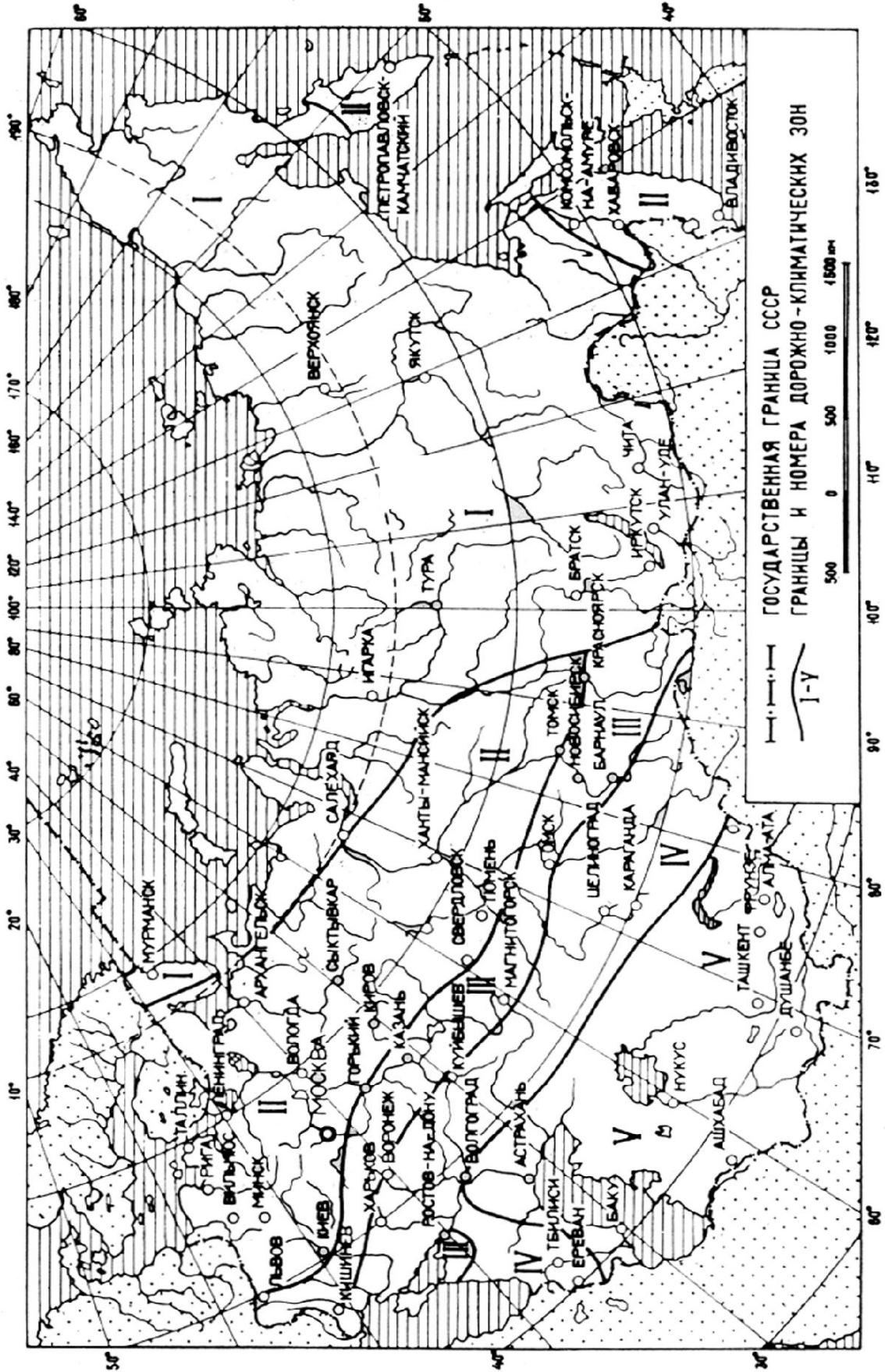
1. Федеральный закон Российской Федерации от 08 ноября 2007 г. № 257 – ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». М., 2008.
2. ГОСТ Р 52289-2004. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. М., 2006.
3. СНиП 2.05.02-85\*. Автомобильные дороги. Госстрой России. М., 2002.
4. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (с изм.от 23 июля, 31 декабря 2005 г., 3 июня, 27 июля 2006 г.). М., 2004.
5. Порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации для дорожных работ, финансируемых из федерального дорожного фонда. М., 2007.
6. СНиП 11–02–96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М., 1997.
7. СП 11–104–97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. М., 1997.
8. СП 11–105–97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. М., 1997.
9. ГОСТ Р 21.1701-97. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. М., 1997
10. СНиП 23–01–99 Строительная климатология. М., 1999.
11. Элементы автомобильных дорог на закруглениях – виражи, уширения проезжей части, переходные кривые. Типовые проектные решения. Серия 503–0–45. М., 1982.
12. Ксенодохов В.И. Таблицы для клотоидного проектирования и разбивки плана и профиля автомобильных дорог. М., 1981.
13. Ганьшин В.Н., Хренов Л.С. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. М., 1981.
14. ОДМД. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах / Минтранс России. М., 2002.
15. Антонов Н.М. Боровков Н.А. Проектирование и разбивка вертикальных кривых на автомобильных дорогах. М., 1968.

16. Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования. Материалы для проектирования. Серия 3.503-71. М., 1986.
17. ОДН 218.046-2001. Проектирование нежестких дорожных одежд. М., 2001.
18. ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон /МНТКС. М., 1998
19. Межремонтные сроки проведения капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог общего пользования федерального значения и искусственных сооружений на них / Минтранс России. М., 2008.
20. Водоотводные сооружения на автомобильных дорогах общей сети Союза ССР. Материалы для проектирования. Серия 503-09-7.84. М., 1984.
21. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений /под ред. Г.Я. Волченкова. М.: Транспорт, 1992.
22. Толмачев К.Х. Специальные сооружения на автомобильных дорогах. М., 1986.
23. Савин К.Д. Искусственные сооружения. М.: Транспорт, 1983.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Дорожно-климатические зоны



**Приложение 2**  
**Нормативные материалы для проектирования плана, продольного профиля**  
**и земляного полотна**

*Таблица 1*

**Предельно допустимые нормы проектирования в плане и продольном профиле**

Расчетная скорость, км/ч	Наибольшие продольные уклоны, ‰	Наименьшие расстояния видимости, м		Наименьшие радиусы кривых, м				
		для оставшихся новки	встречного автомобиля	в плане		в продольном профиле		
				основные	в гор. мест.	выпуклых	вогнутых	
150	30	300	–	1200	1000	30000	8000	4000
120	40	250	450	800	600	15000	5000	2500
100	50	200	350	600	400	10000	3000	1500
80	60	150	250	300	250	5000	2000	1000
60	70	85	170	150	125	2500	1500	600
50	80	75	130	100	100	1500	1200	400
40	90	55	110	60	60	1000	1000	300
30	100	45	90	30	30	600	600	200

Примечание. Наименьшее расстояние видимости для остановки должно обеспечивать видимость любых предметов, имеющих высоту 0,2 м и более, находящихся на середине полосы движения, с высоты глаз водителя (1,2 м от поверхности проезжей части)

*Таблица 2*

**Наименьшая длина переходной кривой в зависимости от радиуса круговой кривой**

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

Таблица 3

Поперечные уклоны проезжей части на виражах

Радиусы кривых в плане, м	Поперечный уклон проезжей части на виражах, ‰		
	Основной, наиболее распространенный		в районах с частым гололедом
	на дорогах 1–5 категорий	на подъездных дорогах к промышленным предприятиям	
От 3000 до 1000 для дорог 1 категории	20–30	–	20–30
От 2000 до 1000 для дорог 2–5 категории	20–30	–	20–30
От 1000 до 800	30–40	–	30–40
От 800 до 700	30–40	20	30–40
От 700 до 650	40–50	20	40
От 650 до 600	50–60	20	40
От 600 до 500	60	20–30	40
От 500 до 450	60	30–40	40
От 450 до 400	60	40–60	40
От 400 и менее	60	60	40

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

Таблица 4

Величина полного уширения двухполосной проезжей части дорог на закруглениях

Радиусы кривых в плане, м	Величина уширения, м, для автомобилей и автопоездов с расстоянием от переднего бампера до задней оси автомобиля или автопоезда, м			
	Автомобилей – 7 и менее Автопоездов – 11 и менее	13	15	18
1000	–	–	–	0,4
850	–	0,4	0,4	0,5
650	0,4	0,5	0,5	0,7
575	0,5	0,6	0,6	0,8
425	0,5	0,7	0,7	0,9
325	0,6	0,8	0,9	1,1
225	0,8	1,0	1,0	1,5
140	0,9	1,4	1,5	2,2
95	1,1	1,8	2,0	3,0
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	–	–	–

Примечания: 1. При радиусах кривых в плане 1000 м и менее необходимо предусматривать уширение проезжей части с внутренней стороны за счет обочин, с тем чтобы ширина обочин была не менее 1,5 м для дорог I и II категории и не менее 1 м – для дорог остальных категорий.



2. При недостаточной ширине обочин для размещения уширений проезжей части с соблюдением этих условий следует предусматривать соответствующее уширение земляного полотна. Уширение проезжей части надлежит выполнять пропорционально расстоянию от начала переходной кривой так, чтобы величины полного уширения были достигнуты к началу круговой кривой.

Таблица 5

Допускаемая крутизна откосов

а) Насыпь на прочном основании

Грунты насыпи	Наибольшая крутизна откосов насыпи, м		
	до 6 м	до 12 м	
		в нижней части (0–6)	в верхней части (6–12)
Глыбы из слабыветривающихся пород	1:1 – 1:1,3	1:3 – 1:1,5	1:1,3 – 1:1,5
Крупнообломочные и песчаные (за исключением мелких и пылеватых песков)	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Песчаные мелкие и пылеватые, глинистые и лёссовые	1:1,5/1:1,75	1:1,75/1:2	1:1,5/1:1,75

Примечание. В знаменателе даны значения для пылеватых разновидностей грунтов во II и III дорожно-климатических зонах.

б) Выемки, не относящиеся к объектам индивидуального проектирования

Грунты	Высота откоса, м	Наибольшая крутизна
Скальные:		
слабыветривающиеся	До 16	1:0,2
легковыветривающиеся:		
неразмягченные	До 16	1,05 – 1:1,5
размягченные	До 6	1:1
Крупнообломочные	Свыше 6 До 12	1:1,5 1:1 – 1:1,5
Песчаные, глинистые однородные твердой, полутвердой и тугопластичной консистенции	До 12	1:1,5
Пески мелкие барханные	До 2 От 2 до 12	1:4 1:2
Лёсс	До 12	1:0,1 – 1:0,5 1:0,5 – 1:1,5

Таблица 6

## Основные параметры поперечного профиля проезжей части и земляного полотна

Параметры элементов дорог	Категории дорог							
	I-а	I-б	II	III	IV	V		
Число полос движения	4; 6; 8	4; 6; 8	2	2	2	1		
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3,0	-		
Ширина проезжей части, м	2x7,5	2x7,5	7,5	7	6	4,5		
Ширина обочин, м	2x11,25	2x11,25	-	-	-	-		
	2x15	2x15	-	-	-	-		
	3,75	3,75	3,75	2,5	2,0	1,75		
Наименьшая ширина укрепленной обочины, м	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	-		
Наименьшая ширина разделительной полосы между разными направлениями движения, м	6	5	-	-	-	-		
Наименьшая ширина укрепленной полосы на разделительной полосе, м	1	1	1	-	-	-		
Ширина земляного полотна, м	28,5; 36; 43,5	27,5; 35; 42,5	15	12	10	8		

## Приложение 3

## Классификация типов местности и грунтов

Таблица 1

## Типы местности по характеру и степени увлажнения

Тип местности	Признаки в зависимости от дорожно-климатических зон			
	II	III	IV	V
1-й	Поверхностный сток обеспечен; грунтовые воды не влияют на увлажнение верхней толщи; почвы слабо-, среднеподзолистые или дерново-подзолистые без признаков заболачивания	Поверхностный сток обеспечен; грунтовые воды не влияют на увлажнение верхней толщи; почвы – черноземы тучные или мощные, в южной части зоны – темно-серые лесные и черноземы оподзоленные и выщелоченные	Поверхностный сток обеспечен; грунтовые воды не влияют на увлажнение верхней толщи; почвы – черноземы тучные или мощные, а в южной части зоны – южные черноземы, темно-каштановые и каштановые почвы	Грунтовые воды не влияют на увлажнение; почвы в северной части бурые, в южной – светлосветлые бурые и сероземы
2-й	Поверхностный сток не обеспечен; грунтовые воды не влияют на увлажнение верхней толщи; почвы средне- и сильноподзолистые и полуболотные с признаками заболачивания	Поверхностный сток не обеспечен; грунтовые воды не влияют на увлажнение верхней толщи; почвы подзолистые и полуболотные с признаками оглеения, в южной части лугово-черноземные, солонцы и солоды	Поверхностный сток не обеспечен; грунтовые воды не влияют на увлажнение верхней толщи; почвы – сильно-солонцеватые черноземы, каштановые, солонцы и солоды	Грунтовые воды не влияют на увлажнение верхней толщи; почвы – солонцы, такыры, солончаковатые солонцы и реже солончаки
3-й	Грунтовые воды или длительно (более 30 сут) стоящие поверхностные воды влияют на увлажнение верхней толщи; почвы торфяно-болотные или полуболотные	То же, что для II зоны	Грунтовые воды или длительно (более 30 сут) стоящие поверхностные воды влияют на увлажнение верхней толщи; почвы полуболотные, солончаки и солончаковатые солонцы	Грунтовые воды или длительно (более 30 сут) стоящие поверхностные воды влияют на увлажнение верхней толщи; почвы – солончаки, солончаковатые солонцы; постоянно орошаемые территории

Примечания: 1. Участки, где залегают песчано-гравийные или песчаные грунты (за исключением мелких пылеватых песков) мощностью более 5 м, при расположении уровня грунтовых вод на глубине более 3 м во II, III зонах и более 2 м в IV, V зонах относятся к I-му типу независимо от наличия поверхностного стока (при отсутствии длительного подтопления).

2. Грунтовые воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщи грунтов в случае, если их уровень в предморозный период залегает ниже глубины промерзания не менее чем: на 2 м при глинах, суглинках тяжелых пылеватых и тяжелых; на 1,5 м в суглинках легких пылеватых и легких, супесях тяжелых пылеватых и пылеватых; на 1 м в супесях легких, легких крупных и песках пылеватых.

3. Поверхностный сток считается обеспеченным при уклонах поверхности грунта в пределах полосы отвода более 2 ‰.

Таблица 2

Допустимая влажность грунтов при уплотнении

Грунты	Допустимая влажность $w_{adm}$ в долях от оптимальной при требуемом коэффициенте уплотнения грунта $m_b$			
	св. 1,0	1,0–0,98	0,95	0,90
Пески пылеватые; супеси легкие крупные	1,30	1,35	1,60	1,60
Супеси легкие и пылеватые	1,20	1,25	1,35	1,60
Супеси тяжелые пылеватые; суглинки легкие и легкие пылеватые	1,10	1,15	1,30	1,50
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые, глины	1,0	1,05	1,20	1,30

Примечания: 1. При возведении насыпей из непывеватых песков в летних условиях допустимая влажность не ограничивается.

2. Настоящие ограничения не распространяются на насыпи, возводимые гидронамывом.

3. При возведении насыпей в зимних условиях влажность не должна, как правило, быть более  $1,3 w_0$  при песчаных и непывеватых супесчаных,  $1,2 w_0$  — при супесчаных пылеватых и суглинках легких и  $1,1 w_0$  — для других связных грунтов.

4. Величина допустимой влажности грунта может уточняться с учетом технологических возможностей имеющихся в наличии конкретных уплотняющих средств в соответствии с нормами СНиП 3.06.03–85.

Таблица 3

Классификация грунтов по степени пучинистости при замерзании

Группы грунтов по степени пучинистости	Степень пучинистости	Относительное морозное пучение образца, %
I	Непучинистый	1 и менее
II	Слабопучинистый	Свыше 1 до 4
III	Пучинистый	Свыше 4 до 7
IV	Сильнопучинистый	Свыше 7 до 10
V	Чрезмерно пучинистый	Свыше 10

Таблица 4

Группы грунтов по степени пучинистости

Грунты	Степень пучинистости
Песок гравелистый, крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 2 %	I
Песок гравелистый, крупный, средней крупности и мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 15 %; супесь легкая крупная	II
Супесь легкая, суглинок легкий и тяжелый, глины	III
Песок пылеватый; супесь пылеватая; суглинок тяжелый пылеватый	IV
Супесь тяжелая пылеватая; суглинок легкий пылеватый	V

Примечание. Коэффициент морозного пучения щебенистых, гравелистых, древесных песков при содержании частиц мельче 0,05 мм свыше 15 % ориентировочно принимают, как для пылеватого песка, и проверяют в лаборатории.

Таблица 5

Ориентировочные значения морозного пучения земляного полотна

Грунт рабочего слоя	Среднее значение относительного морозного пучения при промерзании на глубину 1,5 м
<b>Песок:</b>	
гравелистый, крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 2 %	1/1
гравелистый, крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 15 %	1/1–2
мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм до 2 %	1/1–2
мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 мм менее 2 %	1–2/2–4
пылеватый	2–4/7–10
<b>Супесь:</b>	
легкая крупная	1–2/2–4
легкая	1–2/4–7
пылеватая	2–4/7–10
тяжелая пылеватая	4–7/10
<b>Суглинок:</b>	
легкий	2–4/4–7
легкий пылеватый	4–7/10
тяжелый	2–4/4–7
тяжелый пылеватый	2–4/7–10
<b>Глины</b>	2–4/4–7

Примечание. Числитель – при 1–м типе местности по увлажнению верхней части земляного полотна (по прил. 3, табл. 1), знаменатель – при 2-м и 3-м типах местности.

Таблица 6

Грунты, используемые в верхней части земляного полотна  
(в рабочем слое)

Дорожно-климатическая зона	Рабочий слой до глубины от поверхности покрытия, м	Допускаемый грунт
II	1,2/1,0	Непучинистый и слабопучинистый (I и II группы по пучинистости)
III	1,0/0,8	Непучинистый и слабопучинистый
IV и V	1,0/0,8	Ненабухающий, непросадочный

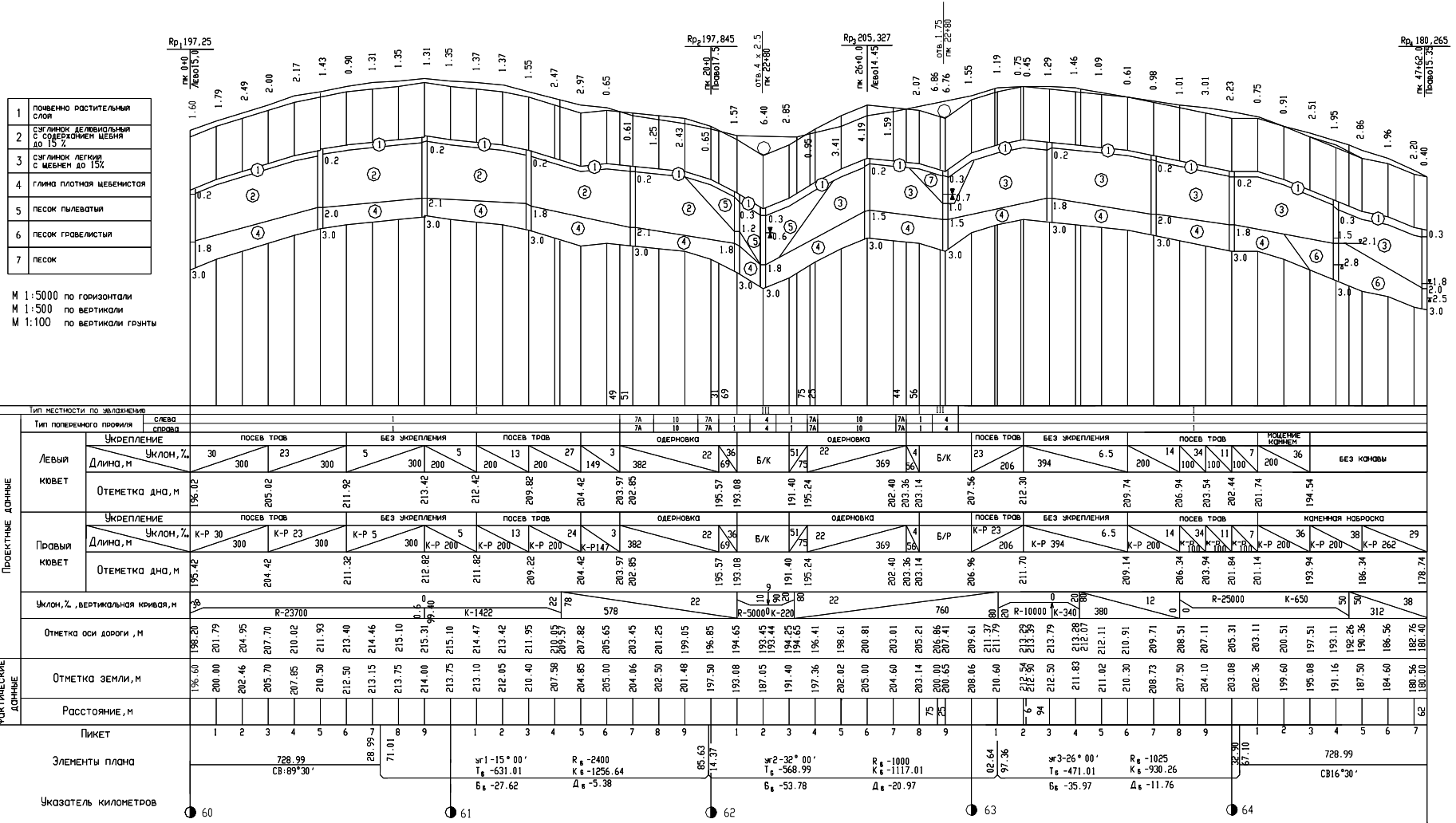
Примечание. В числителе – значения для цементобетонных покрытий, в знаменателе – для асфальтобетонных.

Таблица 7

Значение коэффициента относительного уплотнения  $K_1$  для грунтов

$K_{упл}$	Пески, супеси, суглинки пылеватые	Суглинки, глины	Лёссы, лёссовидные грунты	Скальные грунты при объемной массе, $г/см^3$			Шлаки, отвалы промышленности
				1,9–2,2	2,2–2,4	2,4–2,7	
1,00	1,10	1,05	1,30	0,95	0,89	0,84	1,26–1,47
0,95	1,05	1,00	1,15	0,90	0,85	0,80	1,20–1,40
0,90	1,00	0,95	1,10	0,85	0,80	0,76	1,13–1,33

Продольный профиль автомобильной дороги



Приложение 5

Номограммы для расчета дорожных одежд

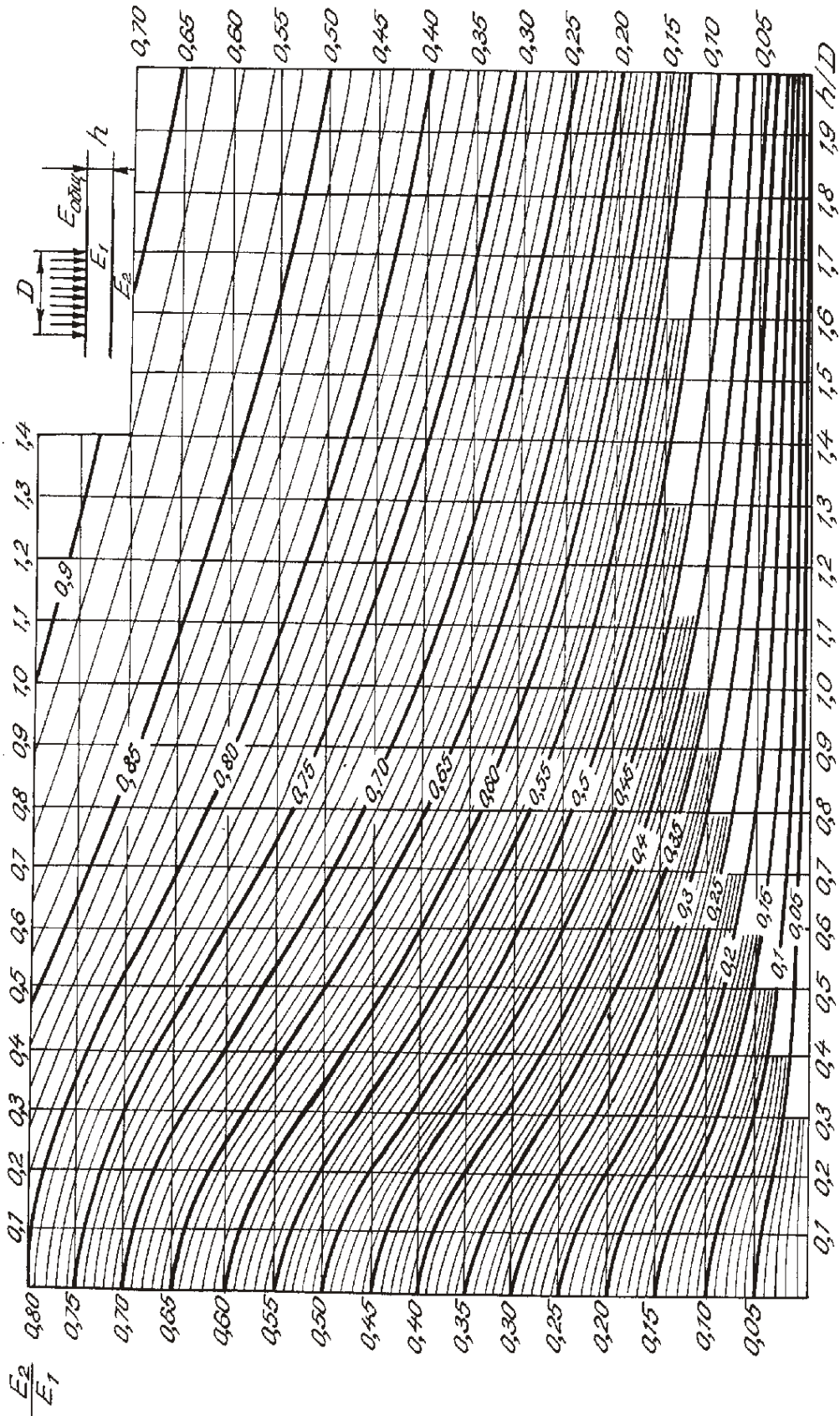


Рис. 1. Номограмма для определения общего модуля упругости  $E_{общ}$



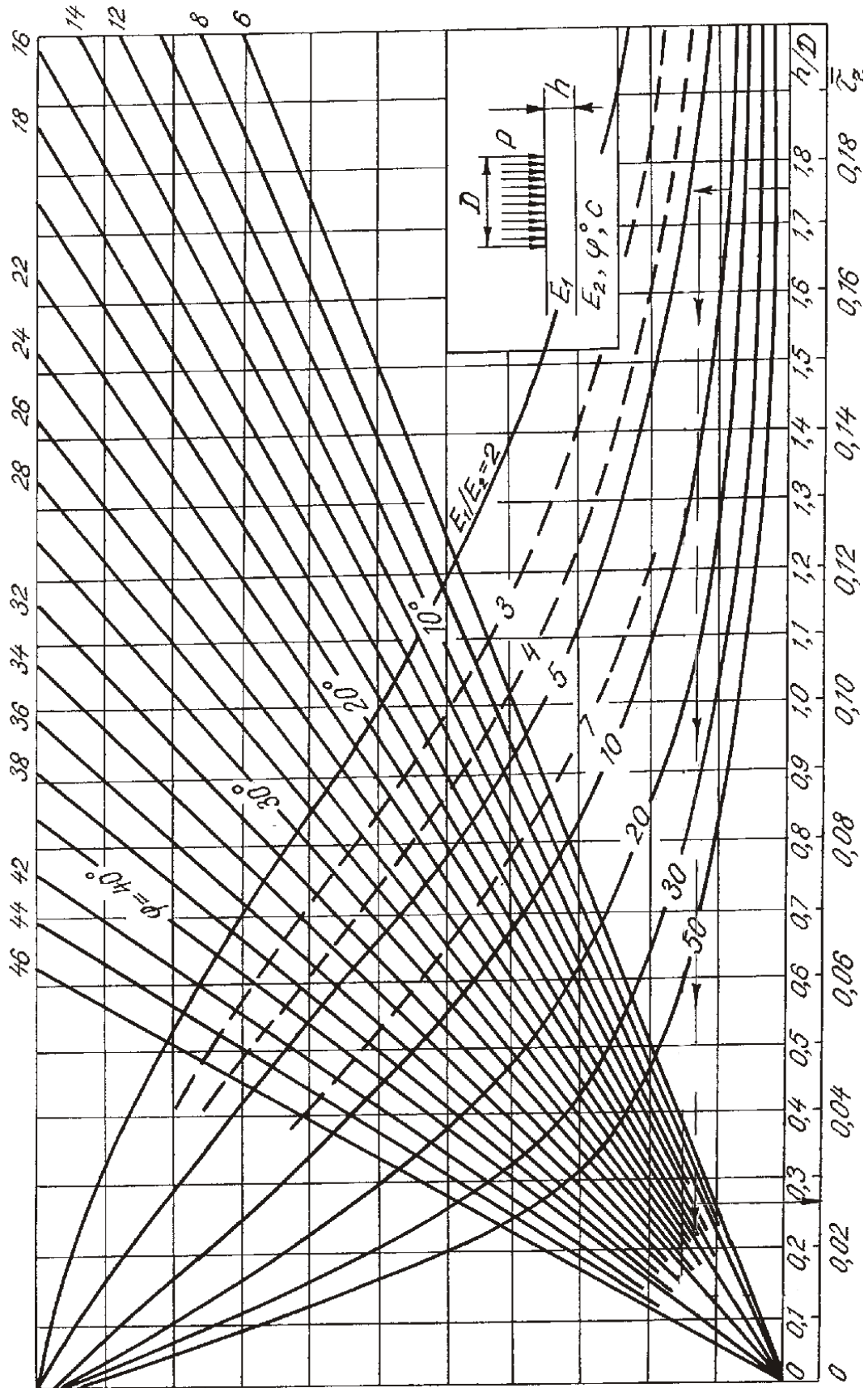


Рис. 2. Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при  $h/D = 0 - 2,0$ )

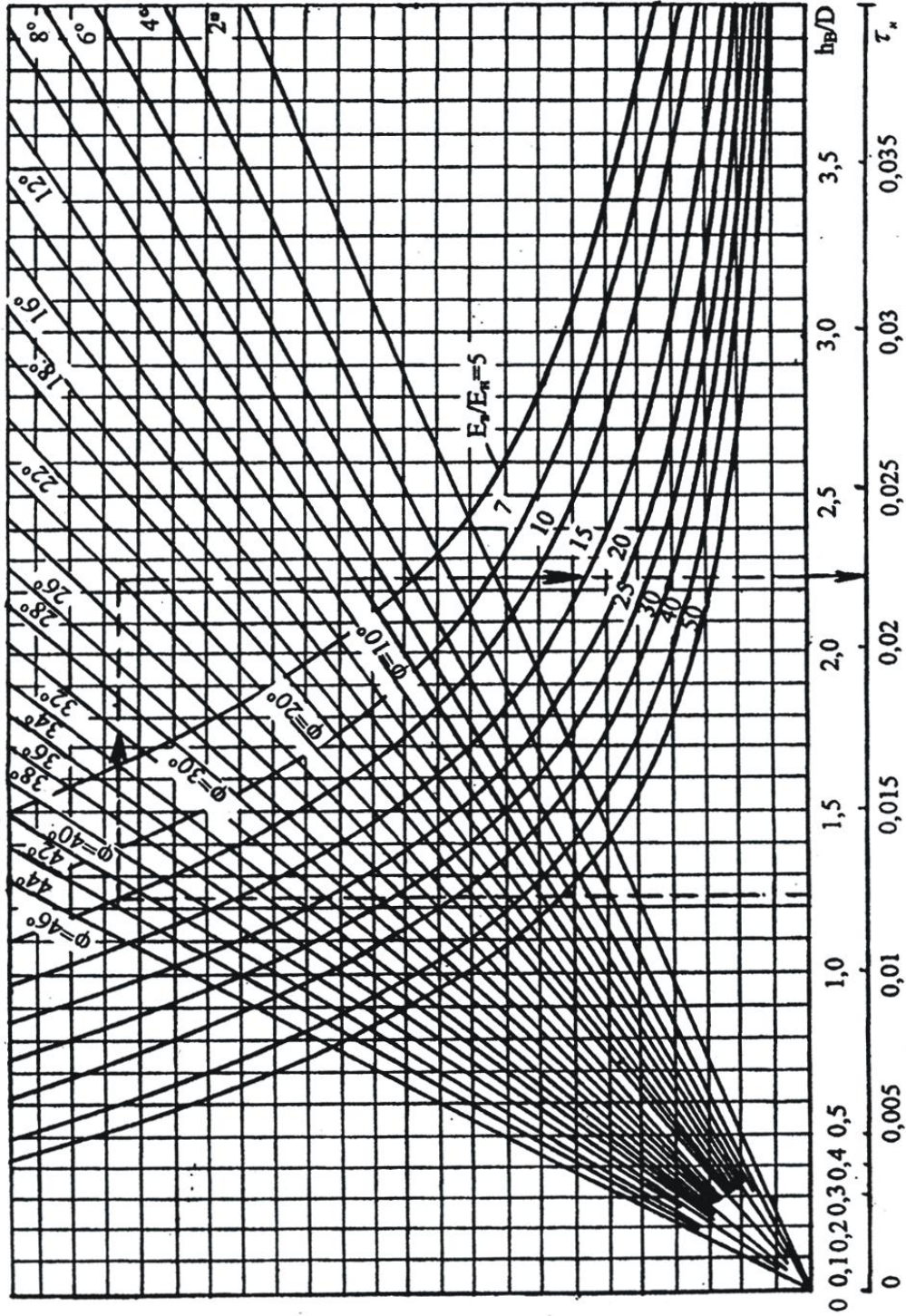


Рис. 3. Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при  $h/D = 0 - 4,0$ )

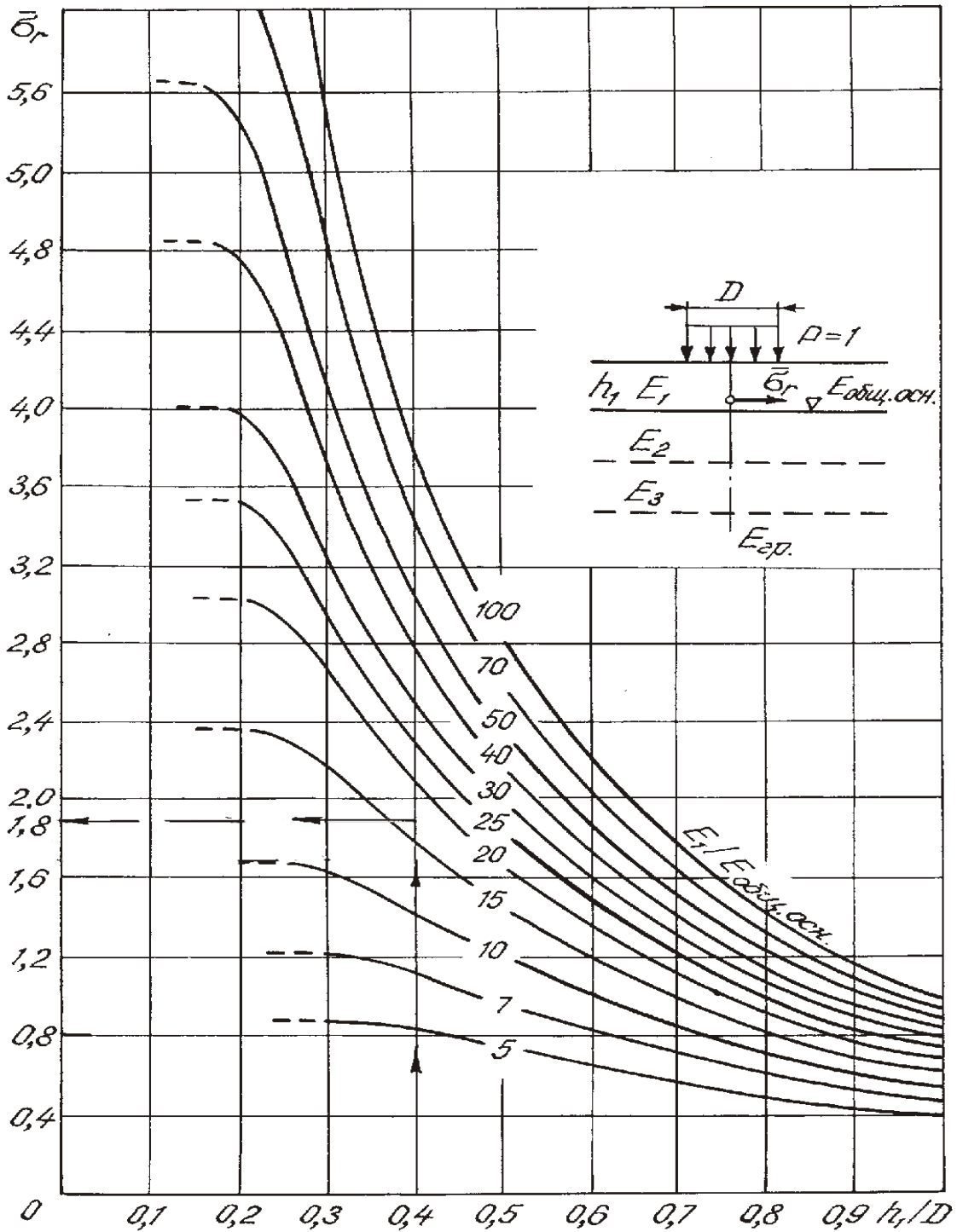


Рис. 4. Номограмма для определения растягивающего напряжения  $\sigma$  при изгибе от единичной нагрузки в верхнем слое двухслойной системы

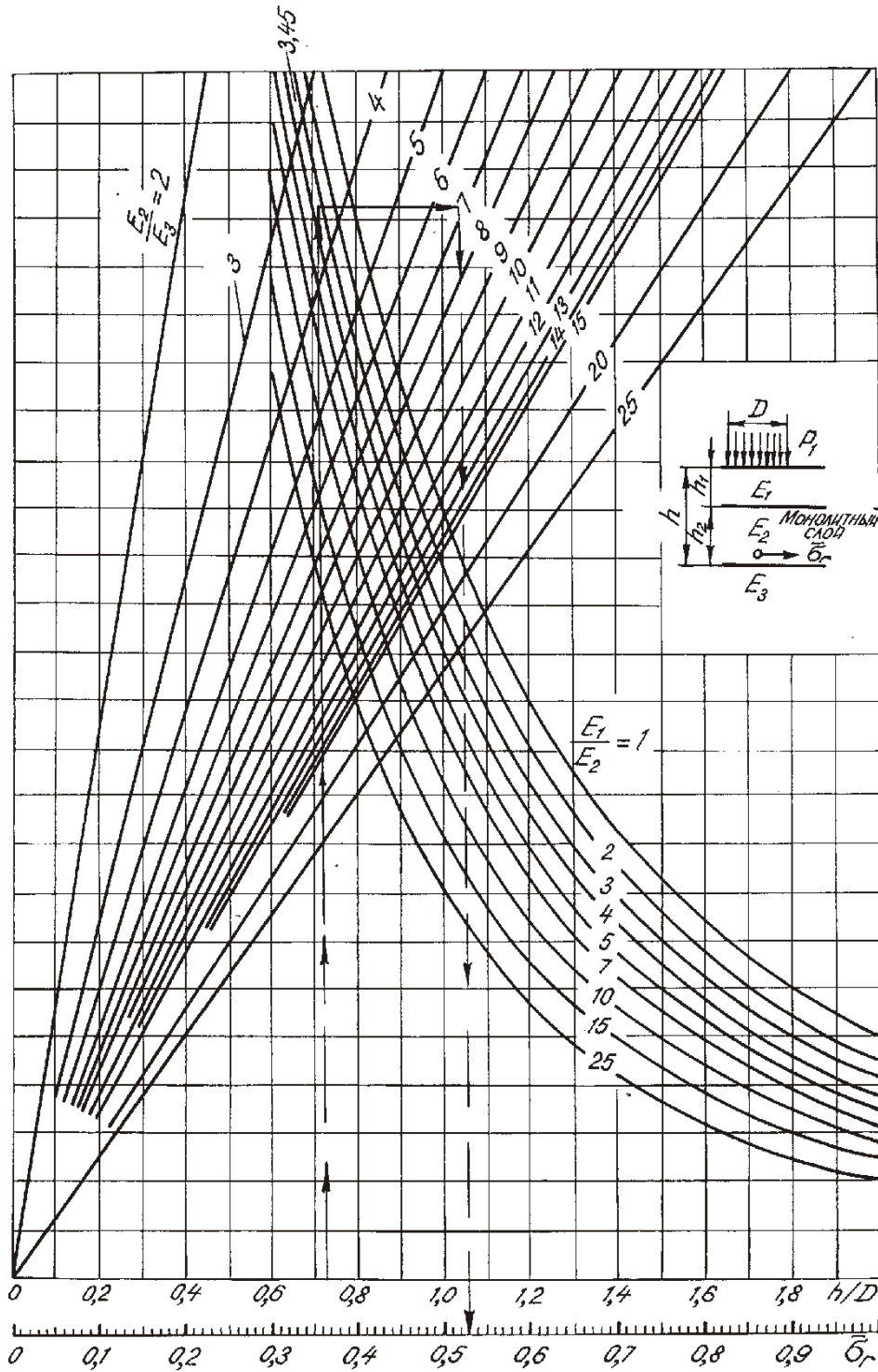


Рис. 5. Номограмма для определения растягивающего напряжения  $\sigma$  в промежуточном монолитном слое дорожной одежды

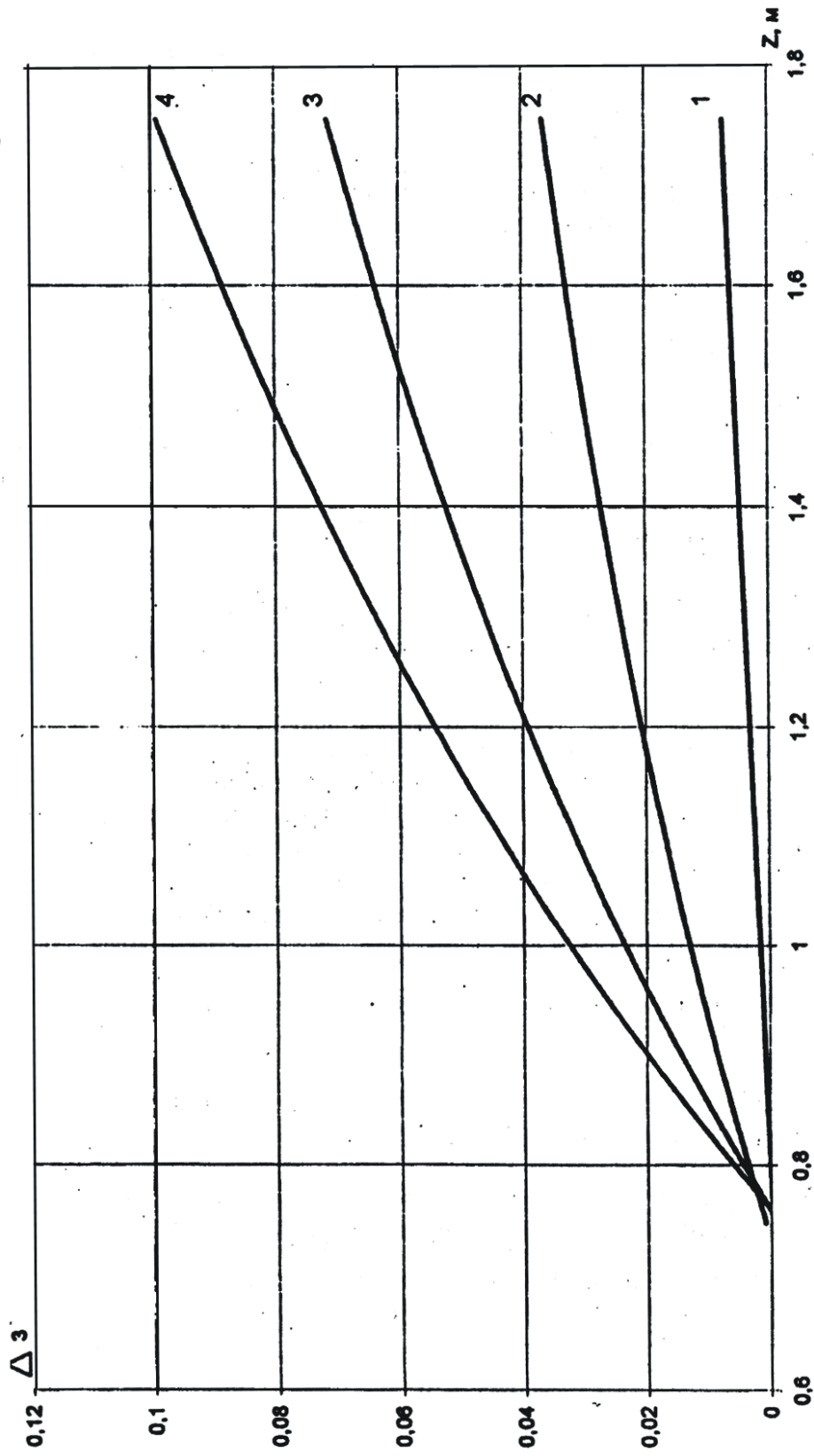


Рис. 6. График для определения поправки на влияние суммарной толщины стабилизирующих слоев одежды:  
 1 - для исходной\* относительной влажности 0,75W<sub>m</sub>; 2 - то же, для 0,80W<sub>m</sub>;

3 - то же, для 0,85W<sub>m</sub>; 4 - то же, для 0,90W<sub>m</sub>.

\* Исходная влажность определяется первым слагаемым в формуле (5.10).

Приложение 6

Нормативно-справочные материалы  
для определения характеристик грунтов

Таблица 1

Средняя многолетняя влажность грунтов

Дорожно-климатические зоны и подзоны	Тип местности по условиям увлажнения	Среднее значение влажности $\bar{w}$ грунта, доли от $W_m$			
		Супесь легкая	Песок пылеватый	Суглинок легкий и тяжелый, глины	Супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок пылеватый
I <sub>1</sub>	1	0,53	0,57	0,62	0,65
	2	0,55	0,59	0,65	0,67
	3	0,57	0,62	0,67	0,70
I <sub>2</sub>	1	0,57	0,57	0,62	0,65
	2	0,59	0,62	0,67	0,70
	3	0,62	0,65	0,70	0,75
I <sub>3</sub>	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,62	0,65	0,70	0,75
	3	0,65	0,70	0,75	0,80
II <sub>1</sub>	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 <sub>2</sub>	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. Табличными значениями  $\bar{w}_{\text{таб}}$  можно пользоваться только при обеспечении возвышения земляного полотна в соответствии со СНиП. На участках, где возвышение не обеспечивается (например, в нулевых местах и в выемках с близким залеганием грунтовых вод), величина  $\bar{W}_{\text{таб}}$  назначается индивидуально по данным прогнозов, но она должна быть не менее чем на 0,03 выше табличных значений.

Таблица 2

Нормативные значения сдвиговых характеристик глинистых грунтов в зависимости от расчетного числа приложенной расчетной нагрузки

Расчетная относительная влажность	Сцепление, МПа, при суммарном числе приложенной нагрузки ( $\Sigma N_p$ )						Угол внутреннего трения, град, при суммарном числе приложенной нагрузки ( $\Sigma N_p$ )					
	1	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	1	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$		
	Суглинки и глины											
0,60	0,030	0,030	0,016	0,014	0,012	24	20	14,5	11	9		
0,65	0,024	0,019	0,013	0,011	0,009	21	15	11	8	7		
0,70	0,019	0,013	0,009	0,007	0,006	18	11,5	8,5	6,5	5,5		
0,75	0,015	0,009	0,006	0,005	0,004	15	10	7,5	5	4		
0,80	0,011	0,007	0,005	0,003	0,002	13	8	5	3	2,5		
0,90	0,008	0,004	0,004	0,002	0,001	11,5	6,5	3,5	2,2	2		
	Супеси											
0,6	0,014	0,012	0,008	0,006	0,005	36	24	18	14	12		
0,65	0,013	0,010	0,008	0,006	0,004	36	23,5	17	14	12		
0,70	0,012	0,009	0,006	0,005	0,004	35	23,5	17	14	12		
0,75	0,011	0,008	0,005	0,004	0,003	35	23	17	14	12		
0,80	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	34	23	17	14	12		
0,85	0,009	0,007	0,004	0,003	0,003	34	22	15	12	10		
0,90	0,008	0,004	0,003	0,003	0,003	33	21	12,5	10	8		

Примечание. Значение сдвиговых характеристик при  $\Sigma N_p = 1$  используются при расчете на статическое действие нагрузки. При  $\Sigma N_p > 10^6$  расчетные значения  $\varphi$  и  $c$  следует принимать по столбцу  $10^6$ .

Таблица 3

## Нормативные значения модулей упругости грунтов

Грунт	Модуль упругости, МПа, при относительной влажности $W/W_m$									
	0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Пески: крупные средней крупности мелкие однородные пылеватые	130									
	120									
Супеси: легкая пылеватая, тяжелая пылеватая легкая крупная	100									
	75									
Суглинки: легкий, тяжелый легкий пылеватый, тяжелый пылеватый	96	90	84	78	72	60	60	54	48	43
	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
Глины	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	65									
Суглинки: легкий, тяжелый легкий пылеватый, тяжелый пылеватый	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
Глины	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
	65									

Примечание. Классификация песков дана по ГОСТ 25 100 – 95. Однородные выделяются по указаниям СНиП.



Таблица 4

Расчетные значения угла внутреннего трения и сцепления песчаных грунтов и песков кон-  
структивных слоев в зависимости от расчетного числа приложения расчетной нагрузки ( $\Sigma N_p$ )

№№ п/п	Тип грунта	Сцепление, МПа, и угол внутрен- него трения, град, при суммарном числе приложений нагрузки ( $\Sigma N_p$ )					
		1	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	
1	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции, %: 0 5	35 0,004	33 0,003	32 0,003	31 0,003	29 0,003	
		34 0,005	31 0,004	36 0,004	29 0,003	28 0,003	
2	Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции, %: 0 5	32 0,004	30 0,004	30 0,003	28 0,003	27 0,002	
		33 0,005	30 0,004	29 0,003	28 0,003	26 0,002	
3	Песок мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции, %: 0 5 8	31 0,003	28 0,003	27 0,002	26 0,002	25 0,002	
		31 0,005	27 0,004	26 0,004	25 0,004	24 0,003	
		31 0,006	27 0,005	26 0,004	25 0,003	23 0,002	

Примечания: 1. Значения характеристик даны для условий полного заполнения пор водой.

2. В числителе – угол внутреннего трения в градусах, в знаменателе – сцепление в МПа.

3. При  $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^6$  расчетные значения  $\varphi$  и  $c$  следует принимать по столбцу  $10^6$ .

Таблица 5

Значения поправки  $\Delta_2 \bar{w}$  на конструктивные особенности проезжей части и обочин

№ п/п	Конструктивная особенность	Поправка $\Delta_2 \bar{w}$ в дорожно-климатических зонах			
		II	III	IV	V
1.	Наличие основания дорожной одежды, включая слой на границе раздела с земляным полотном, из укрепленных материалов и грунтов: крупнообломочного грунта и песка супеси пылеватых песков и супесей, суглинка, зологрунта	0,04	0,04	0,03	0,03
		0,05	0,05	0,05	0,04
		0,08	0,08	0,06	0,05
2	Укрепление обочин (не менее 2/3 их ширины): асфальтобетоном щебнем (гравием)	0,05	0,04	0,03	0,02
		0,02	0,02	0,02	0,02
3	Дренаж с продольными трубчатыми дренами	0,05	0,03	–	–
4	Устройство гидроизолирующих прослоек из полимерных материалов	0,05	0,05	0,03	0,03
5	Устройство теплоизолирующего слоя, предотвращающего промерзание	Снижение расчетной влажности до величины полной влагоемкости при требуемом $k_{упл}$ грунта			
6	Грунт в активной зоне земляного полотна в «обойме»	Снижение расчетной влажности до оптимальной			
7	Грунт, уплотненный до $k_{упл}=1,03-1,05$ , в слое 0,3–0,5 м от низа дорожной одежды, расположенном ниже границы промерзания	–	0,03–0,05	0,03–0,05	0,03–0,05

Примечание. Поправки  $\Delta_2 \bar{w}$  при мероприятиях по пп. 1 и 2 следует принимать только при 1-й схеме увлажнения рабочего слоя, а по п.5 – при 2-й и 3-й схемах.

Таблицы нормативных и расчетных значений прочностных и деформационных характеристик

А. Слои из асфальтобетона

Таблица 1

Характеристики асфальтобетонов при расчете на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками

Асфальтобетон	Расчетные значения модуля упругости $E$ , МПа	$m$	$\alpha$	Нормативные значения сопротивления растяжению при изгибе $R_0$ , МПа
Высокоплотный на БНД марки:				
40/60	8600	6,0	5,0/5,6*	10,0
60/90	6000	5,5	5,2/5,9	9,80
90/130	4600	5,0	5,4/6,3	9,50
130/200	3500	4,5	5,8/6,8	9,30
200/300	2500	4,3	5,9/7,1	9,00
Плотный на БНД марки:				
40/60	6000	6,0	5,0/5,6	10,0
60/90	4500	5,5	5,2/5,9	9,80
90/130	3600	5,0	5,4/6,3	9,50
130/200	2600	4,5	5,8/6,8	9,30
200/300	2000	4,3	5,9/7,1	9,00
Пористый на БНД марки:				
40/60	3600	4,5	5,8/6,8	8,30
60/90	2800	4,3	5,9/7,1	8,00
90/130	2200	4,0	6,3/7,6	7,80
130/200	1800	3,75	6,6/8,2	7,60
200/300	1400	3,7	6,7/8,2	7,10
Высокопористый на БНД марки:				
40/60	3000	4,3	5,9/7,1	5,50/6,5**
60/90	2100	4,0	6,3/7,6	5,65/6,20
90/130	1700	3,8	6,5/7,9	5,50/–
Холодные асфальтобетоны:				
Бх	2600	3,0	8,0/10,3	4,90
Вх	2200	2,5	9,8/13,4	4,60
Гх	1800	2,0	13,2/19,5	4,20
Дх	1500	2,0	13,2/19,5	3,90

\* В числителе – для II дорожно-климатической зоны, в знаменателе – для III – V дорожно-климатических зон.

\*\* Для песчаного асфальтобетона.

Таблица 2

Нормативные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов различных составов (при расчете конструкции по допускаемому упругому прогибу и по условию сдвигоустойчивости)

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости E, МПа, при температуре покрытия, °С				
		+10	+20	+30	+40	+50 (60)
Плотный асфальтобетон и высокоплотный асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40/60;60/90;90/130 130/200;200/300 Жидкого: БГ-70/130; СГ-130/200 СГ-70/130; МГ-70/130	4400;3200;2400 1500;1200	2600;1800;1200 800;600	1550;1100;550 670;500	850;650;550 460;420	520;460;420 380;360
		1000;1000 800;800	420;420 360;360	400;400 350;350	350;350 350;350	350;350 350;350
Пористый и высокопористый асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40/60;60/90;90/130 130/200;200/300	2800;2000;1400 1100;950	1700;1200;800 600;450	900;700;510 400;350	540;460;380 340;330	390;360;350 340;330
Плотный дегтебетон Пористый дегтебетон	-	3800 200	1500 300	800 400	500 350	350 300
		1300	-	-	-	-
Асфальтобетоны холодные	Б <sub>х</sub>	1100				
	Г <sub>х</sub>	900				
	Д <sub>х</sub>	750				

Примечания: 1. Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре от 30 до 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей следует увеличить на 10 %, а для крупнозернистых смесей – на 20 %.

2. При расчете на упругий прогиб принимать значения параметров при  $t^0 = +10^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 3

Расчетные значения модуля упругости асфальтобетона при расчете на длительную нагрузку

Вид асфальтобетона	Тип смеси	Расчетный модуль упругости E при статическом действии нагрузки, МПа при расчетной температуре, °С				
		+20	+30	+40	+50	
Плотные смеси	А	480	420	360	300	
	Б	400	350	300	250	
	В	320	280	240	200	
	Г	300	270	220	200	
	Д	200	180	160	150	
Пористые и высокопористые смеси	Крупнозернистая	360	320	280	250	
	Мелкозернистая	290	250	220	200	
	Песчаная	250	225	200	190	
Асфальтобетоны холодные	Б <sub>х</sub>	180	–	–	–	
	В <sub>х</sub>	170	–	–	–	
	Г <sub>х</sub>	160	–	–	–	
	Д <sub>х</sub>	150	–	–	–	

Примечание. Модуль упругости высокоплотного асфальтобетона принимать как для плотного асфальтобетона типа А.

Б. Конструктивные слои из органоминеральных смесей и грунтов, укрепленных органическим вяжущим

Таблица 4

Конструктивные слои из щебеночно-гравийно-песчаных смесей и грунтов, обработанных органическими и комплексными вяжущими (органоминеральные смеси – ГОСТ 30491–97)

Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости $E$ , МПа
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси и крупноблочные грунты (оптимального/неоптимального состава), обработанные: жидкими органическими вяжущими или вязкими, в т.ч. эмульгированными, органическими вяжущими	450/350
	950/700
Пески гравелистые, крупные, средние / пески мелкие, супесь легкая и пылеватая, суглинки легкие, обработанные: жидкими органическими вяжущими или вязкими, в т.ч. эмульгированными, органическими вяжущими	430/280
	700/600

Таблица 5

Конструктивные слои из черного щебня

Материал	Нормативные значения модуля упругости $E$ , МПа
Черный щебень, уложенный по способу заклинки	600 – 900
Слой из щебня, устроенного по способу пропитки вязким битумом и битумной эмульсией	400 – 600

Примечание. Большие значения – для покрытий, меньшие – для оснований.

В. Конструктивные слои из щебеночно-гравийно-песчаных смесей и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами

Таблица 6

Конструктивные слои из смесей щебеночно-гравийно-песчаных и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами, соответствующих ГОСТ 223558–94

Материал	Нормативные значения модуля упругости $E$ , МПа
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси, крупноблочные грунты (оптимальные/неоптимальные), обработанные цементом, соответствующие марке: 20 40 60 75 100	500/400 600/550 800/700 870/830 1000/950
То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим, соответствующие марке: 20 40 60 75 100	450/350 550/500 750/650 870/780 950/910
Пески гравелистые, крупные, средние / пески мелкие и пылеватые, супесь легкая и тяжелая, суглинки легкие, обработанные цементом, соответствующие марке: 20 40 60 75 100	400/250 550/400 700/550 870/750 950/870
То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим, соответствующие марке: 20 40 60 75 100	300/200 450/300 600/450 730/600 870/750

Таблица 7

Конструктивные слои из активных материалов  
(шлаки, шламы, фосфогипс и др.)

Материал	Нормативные значения модуля упругости $E$ , МПа
Основание из подобранных оптимальных смесей из высокоактивных материалов с максимальной крупностью зерен до 40 мм, уплотненных при оптимальной влажности	650 – 870
То же, из активных материалов	480 – 700
Основание из рядовых неоптимальных смесей из высокоактивных материалов с максимальной крупностью 70 мм	450 – 650
То же, из активных материалов	370 – 480

Примечание. К высокоактивным материалам относятся материалы, имеющие прочность при сжатии от 5 до 10 МПа в возрасте 90 сут, к активным материалам – материалы, имеющие прочность при сжатии от 2,5 до 5 МПа в том же возрасте.

Г. Конструктивные слои из щебеночно-гравийно-песчаных материалов, не обработанных вяжущими

Таблица 8

Конструктивные слои из смесей щебеночно-гравийно-песчаных, соответствующих ГОСТ 25607–94 и ГОСТ 3344–83

Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости $E$ , МПа
Щебеночные / гравийные смеси (С) для покрытий: непрерывная гранулометрия (ГОСТ 25607) при максимальном размере зерен: $C_1$ – 40 мм $C_2$ – 20 мм Смеси для оснований непрерывная гранулометрия: $C_3$ – 80 мм $C_4$ – 80 мм $C_5$ – 40 мм $C_6$ – 20 мм $C_7$ – 20 мм	300/280 290/265  280/240 275/230 260/220 240/200 260/180
Шлаковая щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков (ГОСТ 3344) $C_1$ – 70 мм $C_2$ – 70 мм $C_4$ – 40 мм $C_6$ – 20 мм	275 260 250 210



Таблица 9

Щебеночные основания, устраиваемые методом заклинки,  
соответствующие ГОСТ 25607–94

Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости $E$ , МПа
Щебень фракционированный 40–80 (80–120) мм с заклинкой: фракционированным мелким щебнем	$\frac{450}{350}$
известняковой мелкой смесью или активным мелким шлаком	$\frac{400}{300}$
мелким высокоактивным шлаком	$\frac{450}{400}$
асфальтобетонной смесью	$\frac{500}{450}$
цементопесчаной смесью М75 при глубине пропитки 0,25–0,75 $h_{\text{слоя}}$	$\frac{450-700}{350-600}$

Примечание. Для слоя: в числителе – из легкоуплотняемого щебня; в знаменателе – из трудноуплотняемого щебня.

Таблица 10

Межремонтные сроки проведения капитального ремонта  
автомобильных дорог федерального значения

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Дорожно-климатическая зона					
		I-II		III		IV-V	
		Межремонтный срок, лет	Коэф. надежности дорожной одежды	Межремонтный срок, лет	Коэф. надежности дорожной одежды	Межремонтный срок, лет	Коэф. надежности дорожной одежды
IA, IB, IB	Капитальный	12	0,98	14	0,95	18	0,88
II	Капитальный	12	0,95	12	0,92	15	0,88
III	Капитальный	12	0,92	12	0,90	15	0,85
	Облегченный	12	0,86	12	0,85	12	0,84
IV	Капитальный	12	0,85	12	0,84	15	0,83
	Облегченный	10	0,85	10	0,84	12	0,82
	Переходный	5	0,82	5	0,80	5	0,77
V	Облегченный	10	0,82	10	0,80	12	0,79
	Переходный	5	0,65	5	0,60	5	0,58
	Низший	3	0,65	3	0,60	3	0,58

Примечания: 1. Межремонтные сроки проведения работ по капитальному ремонту соответствуют коэффициентам надежности, характеризующим ровность дорожного покрытия в конце межремонтного периода.

2. При планировании реконструкции автомобильной дороги в сроки, меньшие указанных межремонтных сроков, межремонтный срок принимают равным периоду до реконструкции дороги без изменения коэффициентов надежности.

3. Для автомобильных дорог с дорожными одедами из асфальтобетонов типа А на основе полимерно-битумного вяжущего срок проведения работ по капитальному ремонту увеличивают на 8–10 % с округлением до целого количества лет.

Таблица 11

Межремонтные сроки проведения работ по ремонту капитальных нежестких, капитальных жестких с асфальтобетонным покрытием и облегченных дорожных одежд автомобильных дорог

Дорожно-климатическая зона	Фактическая интенсивность транспортного потока по крайней правой полосе движения, <i>авт./сут</i>	Межремонтный срок, лет
I – II III IV – V	$\geq 4501$ $\geq 4001$ $\geq 3001$	3
I – II III IV – V	2501 – 4500 2001 – 4000 1501 – 3000	4
I – II III IV – V	$\leq 2500$ $\leq 2000$ 201 – 1500	6
I – V	$\leq 200$	8

Примечания:

1. Для верхних слоев дорожного покрытия из асфальтобетона типа А, из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА), асфальтобетона с полимерными добавками, при устройстве слоев износа срок проведения работ по ремонту автомобильных дорог увеличивают на 40–45 % с округлением до целого количества лет.

2. Срок проведения работ по ремонту автомобильных дорог IV –V категорий с переходными и низшими типами дорожной одежды принимают равным трем годам.

Таблица 12

Значения коэффициента суммирования

Показатель изменения интенсивности движения по годам, q	Значение K при сроке службы дорожной одежды T в годах			
	8	10	15	20
0,90	5,7	6,5	7,9	8,8
0,92	6,1	7,1	8,9	10,1
0,94	6,5	7,7	10,0	11,8
0,96	7,0	8,4	11,4	13,9
0,98	7,5	9,1	13,1	16,6
1,00	8,0	10,0	15,0	20,0
1,02	8,6	10,9	17,2	24,4
1,04	9,2	12,0	20,0	29,8

Показатель изменения интенсивности движения по годам, q	Значение K при сроке службы дорожной одежды T в годах			
	8	10	15	20
1,06	9,9	13,2	23,2	36,0
1,08	10,6	14,5	27,2	45,8
1,10	11,4	15,9	31,7	67,3

Таблица 13

Минимальная толщина слоев с органическими вяжущими

Показатель	Тип дорожной одежды	
	капитальный	облегченный
Наименьшая толщина слоев из материалов, соединенных органическим вяжущим	18	12

Приложение 8

Карты и номограммы для расчета водопропускных труб

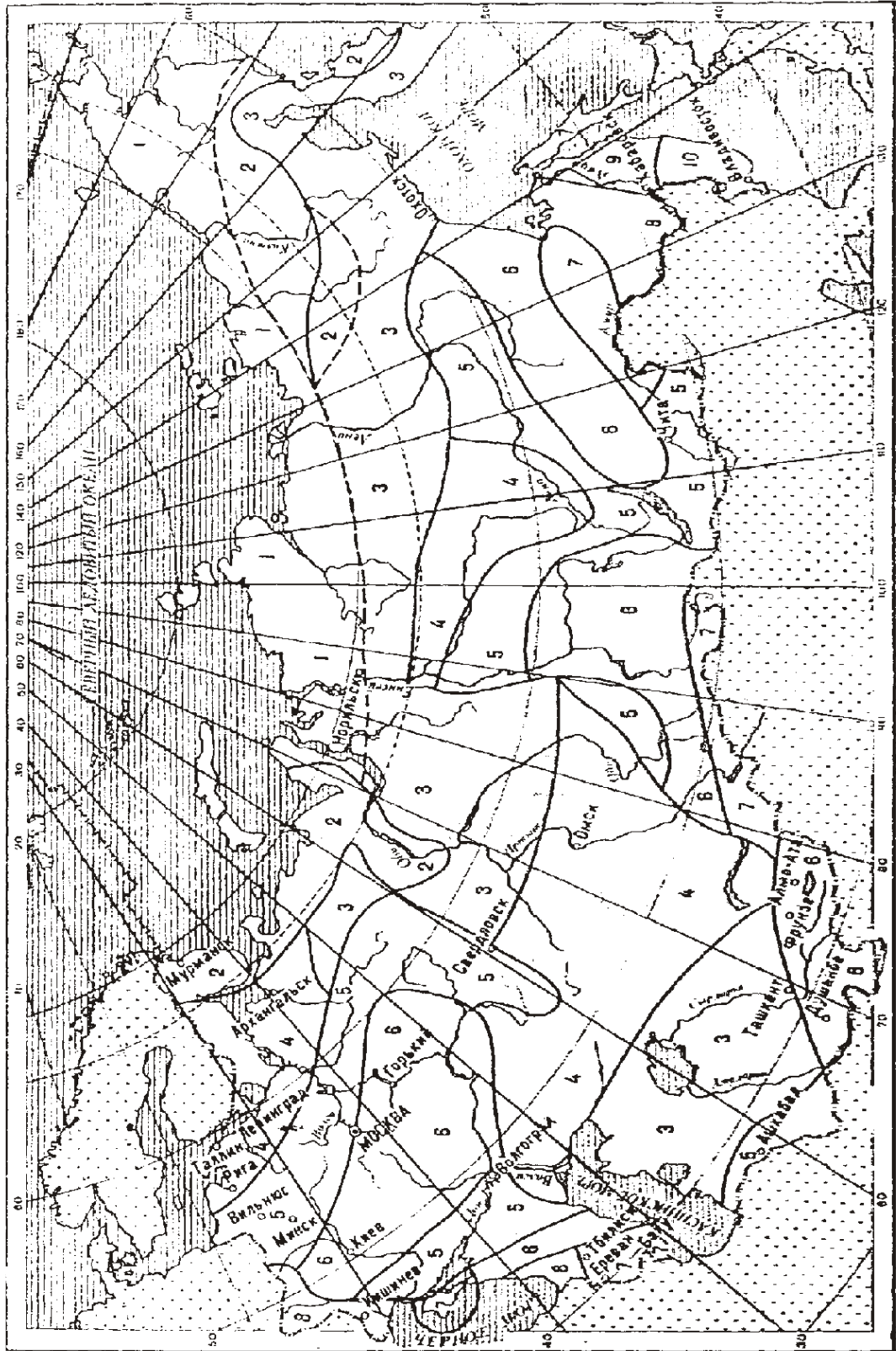


Рис. 1. Карта ливневого районирования

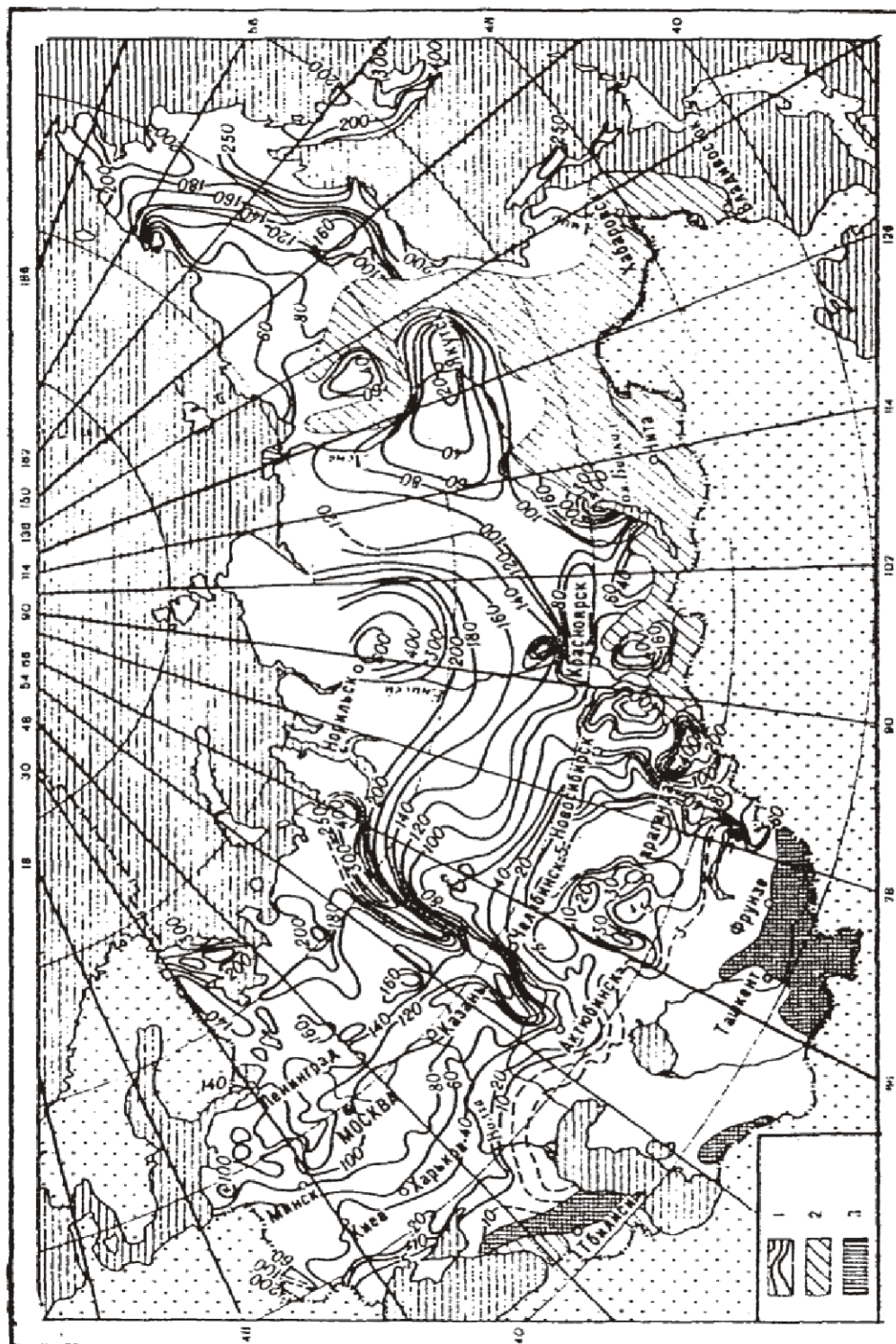


Рис. 2. Карта среднего многолетнего слоя стока талых вод:

1 - районы, в которых расчетными являются максимальные расходы малых водосборов, за исключением малых водосборов, и изолинии среднего слоя стока половодья, мм; 2 - районы, в которых расчетными являются максимальные расходы дождевых паводков; 3 - горные районы, в которых весеннее половодье не выделяется

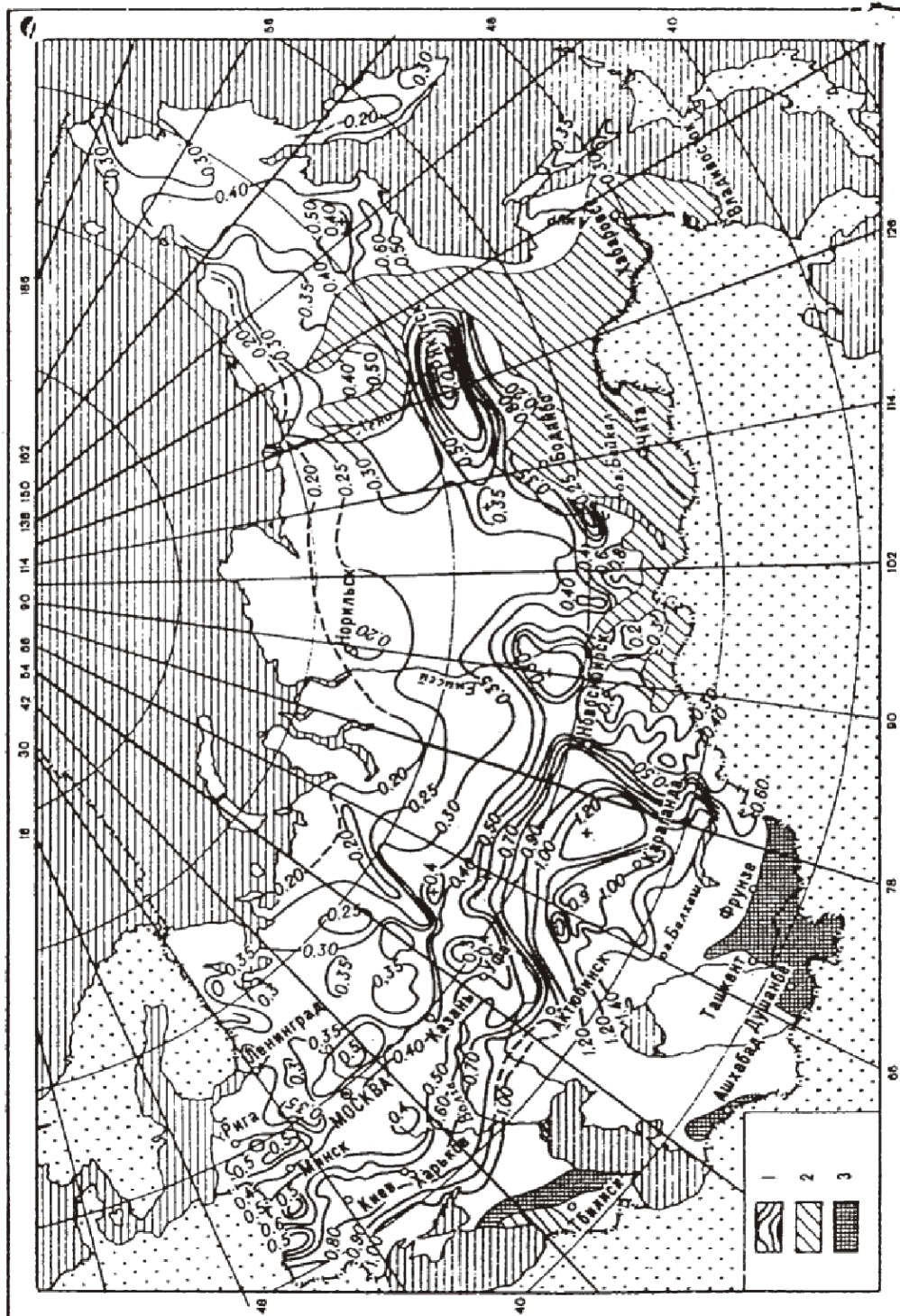


Рис. 3. Карта коэффициентов вариации слоя стока половодий:

1 - районы, в которых расчетными являются максимальные расходы половодий, и изолинии  $S_{\text{вн}}$  слоя стока половодья; 2 - районы, в которых расчетными являются максимальные расходы дождевых паводков; 3 - горные районы, в которых весеннее половодье не выделяется

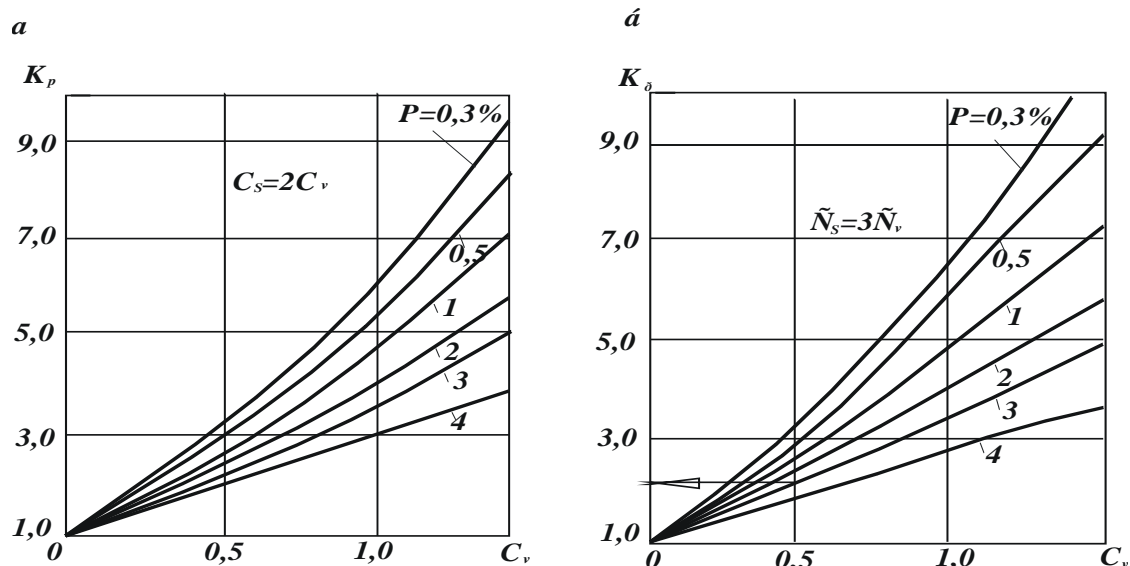


Рис. 4. Модульные коэффициенты при гамма-параметрическом законе распределения:  
 а – для равнинных водосборов;  
 б – для регионов северо-западных, северо-восточных и для горной местности

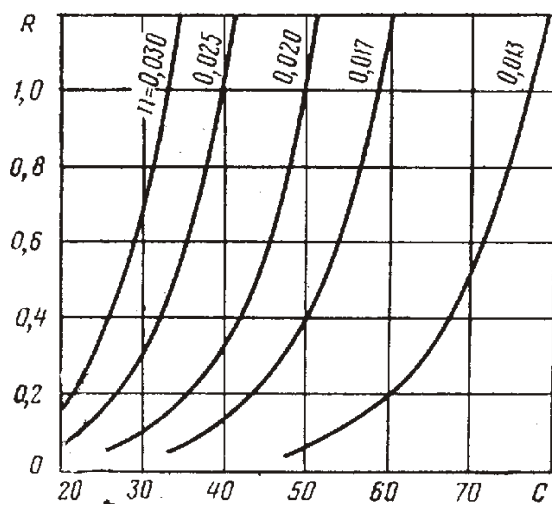


Рис. 5. График для определения коэффициента Шези

Приложение 9

Таблицы для расчета водопропускных труб

Таблица 1

Интенсивность ливня

Районы	Интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин, при вероятности превышения, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,27	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,29	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	0,75	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,79
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

Таблица 2

Коэффициент  $K_t$

$L, км$	Уклоны, ‰							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
0,15	4,21							
0,30	2,57	3,86						
0,50	1,84	2,76	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
1,25	1,00	1,49	2,20	3,24	3,60	3,90	4,23	4,46
1,50	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
1,75	0,80	1,18	1,75	2,58	2,84	3,06	3,33	3,52
2,0	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,09	3,27
2,50	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	1,61
6,5	0,33	0,49	0,73	1,07	1,20	1,29	1,40	1,53
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	1,30
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	0,93	0,93
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

Значения коэффициента дружности половодья  $K_0$  и показателя  $n$ 

Географический район	$n$	$K_0$
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
Горные районы:		
Урал	0,15	0,025–0,018
Карпаты	0,15	0,0045
Камчатка	0,15	0,0010
Сахалин	0,15	0,0014–0,020
Алтай	0,15	0,0025–0,0015

Таблица 4

Гидравлические характеристики типовых круглых труб

Диаметр от- вертия, м	Расход, м <sup>3</sup> /с	Глубина воды перед трубой, м	Скорость на выходе из трубы, м/с
Портальный оголовок			
0,75	0,20	0,41	1,40
	0,40	0,62	1,70
	0,60	0,79	2,00
Раструбный оголовок с нормальным входным звеном			
1,00	0,60	0,68	2,10
	0,80	0,81	2,30
	1,00	0,93	2,40
	1,20	1,05	2,60
	1,40	1,16	2,80
Раструбный оголовок с коническим входным звеном			
1,00	0,80	0,57	1,40
	1,00	0,84	2,40
	1,40	1,03	2,70
	1,65	1,14	2,90
	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
1,50	2,70	1,37	3,20
	3,00	1,46	3,20
	3,50	1,61	3,50
	3,90	1,74	3,80
	4,50	2,19	3,90
	4,80	2,27	4,00
1,75	4,50	1,47	3,20
	4,70	1,75	3,70
	5,00	1,81	3,70
	6,00	2,08	4,10
2,00	4,50	1,47	3,20
	5,00	1,55	3,30
	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
	9,50	2,31	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	

Таблица 5

Гидравлические характеристики типовых прямоугольных труб

Расход, $m^3/c$ , при отверстии трубы, м	Глубина воды перед трубой, м	Скорость на выходе из трубы, м/с
Отверстие трубы 2,0x2,0 м		
15,40	2,88	6,10
16,00	2,99	6,30
16,50	3,07	6,50
17,00	3,16	6,70
17,50	3,25	6,90
18,00	3,35	7,10
19,00	3,56	7,50
20,00	3,75	7,90
21,00	3,97	8,30
Отверстие трубы 2,5x2,0 м		
19,30	2,88	6,10
20,00	2,97	6,30
20,50	3,04	6,50
21,00	3,11	6,60
21,50	3,19	6,80
22,00	3,25	6,90
23,00	3,40	7,20
24,00	3,57	7,50
Отверстие трубы 3,0x2,5 м		
23,00	2,86	4,80
23,50	2,92	4,90
24,00	2,98	5,00
24,50	3,04	5,10
25,00	3,10	5,20
25,50	3,16	5,50
26,00	3,22	5,50
27,00	3,34	5,70
28,00	3,47	5,90
29,00	3,61	6,10
30,00	3,75	6,30
31,00	3,89	6,40
31,50	3,97	6,60
Отверстие трубы 4,0x2,5 м		
31,00	2,89	4,90
32,00	2,98	5,00
33,00	3,07	5,20
34,00	3,16	5,40
35,00	3,25	5,50
36,00	3,35	5,70
37,00	3,44	5,80
38,00	3,54	6,00

Допускаемые (неразмывающие) скорости течения  
для несвязных грунтов

Грунты	Размеры частиц грунтов, мм	Средние глубины потока, м			
		0,4	1	1,5	2
		Средние скорости течения, м/с			
Пыль и ил с мелким песком; растительная земля	0,005–0,05	0,15–0,2	0,2–0,3	0,23–0,35	0,25–0,4
Песок мелкий с примесью среднего	0,05–0,25	0,2–0,35	0,3–0,45	0,35–0,50	0,4–0,55
Песок средний с глиной; песок средний с примесью крупного	0,25–1	0,35–0,5	0,45–0,6	0,50–0,65	0,55–0,7
Песок крупный с примесью гравия; среднезернистый песок с глиной	1–2,5	0,5–0,55	0,6–0,75	0,65–0,78	0,7–0,8
Гравий мелкий с примесью среднего	2,5–5	0,55–0,8	0,75–0,85	0,78–0,93	0,8–1
Гравий крупный с песком и мелким гравием	5–10	0,8–0,9	0,85–1,05	0,93–1,1	1–1,5
Галька мелкая с песком и гравием	10–15	0,9–1,1	1,05–1,2	1,1–1,28	1,5–1,35
Галька средняя с песком и гравием	15–25	1,1–1,25	1,2–1,45	1,28–1,55	1,35–1,65
Галька крупная с примесью гравия	25–40	1,25–1,5	1,45–1,85	1,55–1,98	1,65–2,10
Булыжник мелкий с галькой и гравием	40–75	1,5–2	1,85–2,4	1,98–2,58	2,1–2,75
Булыжник средний с галькой	75–100	2–2,45	2,4–2,8	2,58–3	2,75–3,2
Булыжник средний с примесью крупного; булыжник крупный с мелкими примесями	100–150	2,45–3	2,8–3,35	3–3,55	3,2–3,75
Булыжник крупный с примесью мелких валунов и гальки	150–200	3–3,5	3,35–3,8	3,55–4,05	3,75–4,3
Валуны средние с примесью гальки	200–300	3,5–3,85	3,8–4,35	4,05–4,53	4,3–4,7
Валуны с примесью булыжника	300–400	–	4,35–4,75	4,53–4,99	4,7–4,95
Валуны особо крупные	400–500 и более	–	–	–	4,95–5,35

Таблица 7

## Допускаемые (неразмывающие) скорости для связных грунтов

Грунт	Донная размывающая скорость, м/с	Средние неразмывающие скорости, м/с, при значениях $\delta$ для естественных русел		Средние неразмывающие скорости, м/с, при глубине русел, м		
		0,7	0,9	0,2–0,5	0	2
Супесь:						
малоплотная	0,20	0,30	0,20	0,20	0,25	0,30
среднеплотная	0,30	0,45	0,35	0,30	0,40	0,45
плотная	0,40	0,55	0,45	0,40	0,50	0,55
очень плотная	0,50	0,70	0,55	0,50	0,60	0,70
Глина и суглинок:						
малоплотные	0,35	0,50	0,40	0,35	0,40	0,45
среднеплотные	0,70	1,00	0,80	0,70	0,85	0,95
плотные	1,00	1,40	1,10	1,00	1,20	1,40
очень плотные	1,40	2,00	1,55	1,55	1,40	1,90
Лёсс:						
малоплотный	0,30	0,45	0,35	0,30	0,40	0,45
среднеплотный	0,60	0,85	0,65	0,60	0,70	0,80
плотный	0,80	1,15	0,90	0,80	1,00	1,20
очень плотный	1,10	1,55	1,20	1,10	1,30	1,50

Примечание.  $\delta$  – коэффициент перехода от данной неразмывающей скорости к средней,  $\delta=0,7$  – в меженной части русла;  $\delta=0,9$  – в побочной части русла.

Допускаемые (неразмывающие) скорости течения воды  
для укреплений

Тип укрепления	Размер камня, см	Допускаемые скорости тече- ния, 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
Одерновка в стенку	–	1,5	1,8	2,0	2,2
Одиночное мощение на щебне	15	2,5	3,0	3,5	4,0
	20	3,0	3,5	4,0	4,5
	25	3,5	4,0	4,5	5,0
	20	3,5	4,5	5,0	5,5
Одиночное мощение с подбором лица и грубым приколом на щебне	25	4,0	4,5	5,5	5,5
	30	4,0	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 класса В30	–	6,0	7,0	8,0	9,0
Бутовая кладка из камня крепких пород	–	6,5	8,0	10,0	12,0

Учебное издание

*Сергей Иванович Булдаков*

# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ISBN 978-5-94984-575-2



Редактор Е.Л. Михайлова  
Компьютерная верстка О.А. Казанцевой

---

Подписано в печать 30.07.2016	Печать офсетная	Формат 60x84 1/16
Усл. печ. л. 15,81	Тираж 100 экз.	Уч.-изд. л. 12.64
		Заказ №

---

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37  
Тел.: 8(343)262-96-10. Редакционно-издательский отдел

Отпечатано с готового оригинал-макета  
Типография ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР УПИ»  
620062, РФ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Гагарина, 35а, оф. 2