Учебное пособие

Никитин В.В.,
Борисов В.А.,
Акинин Д.В.,
Сорокин М.А.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ

Научно-инновационный центр
Красноярск, 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
Мытищинский филиал

Никитин В.В., Борисов В.А.,
Акинин Д.В., Сорокин М.А.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ

Учебное пособие

Допущено в качестве учебного пособия
для подготовки бакалавров и магистров 35.03.02, 35.04.02 «Технология
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»
по профилю «Лесоинженерное дело»

Научно-инновационный центр
Красноярск, 2018

УДК 630*378(075.8)
ББК 43.904.61я73
Н62

Работа подготовлена на кафедре промышленного транспорта и строительства

Рецензент:

Голубев Иван Григорьевич, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом анализа и обобщения информации по инженерно-технологическому обеспечению АПК, Научно-исследовательский центр «Агроинновация», ФГБНУ «Росинформагротех»

Н62

Никитин, В.В.

Проектирование лесовозных и лесохозяйственных дорог: Учебное пособие [Электронный ресурс] / В.В. Никитин, В.А. Борисов, Д.В. Акинин, М.А. Сорокин; под редакцией А.А. Камусина. – Электрон. текстовые дан. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2018. – 118 с. – Режим доступа: http://nkras.ru/arhiv/2018/borisov.pdf – DOI: 10.12731/MGTU/PLLD.2018.118 – Систем. требования: IBM PC; Internet Explorer и др.; Acrobat Reader 3.0 или старше.

ISBN 978-5-906314-80-2
DOI: 10.12731/MGTU/PLLD.2018.118

В учебном пособии рассмотрены вопросы проектирования плана трассы, продольного и поперечного профилей дороги. Приведена методика расчета малых искусственных сооружений. Рассмотрены вопросы по организации вывозки леса. Даны справочные материалы, необходимые для выполнения транспортно-эксплуатационных расчетов автомобильного лесовозного транспорта.

ISBN 978-5-906314-80-2

© Коллектив авторов, 2018
© ФГБОУ ВО МФ МГТУ, 2018
© Научно-инновационный центр, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ГЛАВА I. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГИ 6
1.1. Характеристика района действия предприятия 6
1.2. Назначение технических условий проектирования лесной дороги 8
ГЛАВА II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ДОРОГИ 15
2.1. Камеральное трассирование 15
ГЛАВА III. РАСЧЕТ МАЛЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ 32
3.1. Общие положения 32
3.2. Определение расчетного расхода воды 33
3.2.1. Расчетные характеристики водосборной площади 33
3.2.2. Определение расхода воды 35
3.2.3. Гидравлический расчет водопропускных труб 51
3.2.4. Расчет продольного водоотвода 55
3.2.5. Расположение искусственных сооружений в плане и продольном профиле дороги 60
ГЛАВА IV. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ 61
4.1. Общие принципы проектирования продольного профиля 61
4.2. Аналитический расчет вертикальных кривых 68
4.3. Проектирование вертикальных кривых методом тангенсов 74
ГЛАВА V. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА 79
5.1. Элементы поперечного профиля земляного полотна 79
5.2. Конструкция поперечных профилей земляного полотна 80
ГЛАВА VI. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫВОЗКИ ЛЕСА 93
6.1. Определение рейсовой нагрузки на автопоезд 93
6.2. Определение расстояния между кониками автомобиля и роспуска 97
6.3. Расчет скоростей и времени движения автопоезда в грузовом и порожнем направления 99
6.4. Определение сменной производительности автопоезда и потребностей в подвижном составе 106
6.5. Организация работы водителей на вывозке леса 109
6.6. График движения лесовозных автопоездов 110
6.7. Определение потребности в горючих и смазочных материалов 112
ПРИЛОЖЕНИЯ 1–2 114-115
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 116

ВВЕДЕНИЕ

Сухопутный транспорт леса является важной составной частью производственного процесса лесозаготовительных и лесохозяйственных предприятий и играет существенную роль в освоении и развитии экономики района тяготения к лесным дорогам.

Ритмичность работы предприятий и эффективность автомобильной вывозки леса обусловлены надежной работой путей транспорта. Лесные дороги позволяют оперативно организовать транспортный процесс при освоении лесных массивов в разнообразных природных условиях, проводить комплекс лесовосстановительных и лесоохранных мероприятий.

Условие эффективной работы лесной дороги заложено, прежде всего, в проекте дороги, выполненном на современном техническом уровне.

Учебное пособие составлено применительно к изучению дисциплин «Сухопутный транспорт леса» и «Транспорт леса» и предназначено для подготовки дипломированных бакалавров, специалистов и магистров высших учебных заведений, обучающихся по направлению 250400 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

В учебном пособии изложены вопросы проектирования лесных дорог, недостаточно освещенные в ранее изданной учебной литературе. Кроме того, в последние годы опубликован ряд новых ГОСТов и СНи Пов, которыми необходимо руководствоваться при

разработке проектов дорог. Поэтому в учебном пособии приведен необходимый справочный материал, а в списке литературы нормативные документы.

Настоящее учебное пособие имеет своей целью помочь студентам в самостоятельной работе над расчетно-графическими работами, курсовыми и дипломными проектами.

Глава I

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГИ

1.1. Характеристика района действия лесозаготовительного предприятия

Указав район расположения лесозаготовительного предприятия, дают его характеристику. Работу следует начать с детального изучения топографической карты местности. Чтобы легко читать карту, целесообразно пронумеровать горизонтали в районе проложения трассы согласно заданному сечению горизонталей. Отметить реки, лога, водоразделы и другие характерные особенности рельефа.

На основании изучения топографической карты в объяснительной записке дается описание рельефа местности. Нормативная литература по проектированию дорог классифицирует следующие категории местности по крутизне склонов и разности отметок.

Равнинный рельеф характеризуется ровными пространствами, долинами рек с пологими склонами и широкими, спокойными водоразделами с наибольшим уклоном поверхности 1: 15 и наибольшим колебанием отметок на 1 км не более 30 м.

Пересеченный рельеф характеризуется волнистой местностью, перерезанной низинами и водоразделами, глубокими балками и оврагами с наибольшими уклонами поверхности 1: 5 при общей разнице высот точек не свыше 200 м.

Горный рельеф характеризуется ущельями и хребтами, крутыми склонами и перевалами, для преодоления которых необходимо развивать трассу.

К трудным участкам проектирования дорога относят пересеченную местность, прорезанную часто чередующимися глубокими долинами с разницей отметок долин и водоразделов более 50 м на расстоянии не более 0,5 км и боковыми глубокими балками и оврагами, в отдельных случаях с неустойчивыми склонами. Студент должен, давая описание рельефа, отметить характерные особенности его: наличие и направление рек, тальвегов, оврагов, водоразделов и расположение контурных препятствий.

Давая характеристику района расположения предприятия, следует отметить возможность использования попутных водоразделов, долин и косогоров для прокладки трасс дорог. Особое внимание надо уделять пересекаемым дорогой водоразделам, водотокам, логам, оврагам, болотам, отмечая предварительно удобные места для укладки через них трассы.

Характеристику условий района расположения лесного предприятия можно дать, пользуясь справочниками [6, 7] и энциклопедиями.

Весьма существенное значение имеют следующие характеристики:

- наличие транспортной сети;
- среднегодовая, минимальная и максимальная температуры;
- продолжительность холодного и теплого сезонов;
- высота и длительность снегового покрова, глубина промерзания грунта;
- сопутствующие ветры, среднегодовые и в зимний период;
- годовое количество осадков и распределение их по месяцам, интенсивность ливней;
- начало ледостава и вскрытия рек;
- продолжительность строительного сезона.

Пользуясь, приложением 1, указать дорожно-климатическую зону района строительства дороги. Характеристику грунтов по трассе, карьеров и привозных дорожно-строительных материалов следует дать согласно заданию.

1.2. Назначение технических условий проектирования лесной дороги

Лесные автомобильные дороги строят с учетом их комплексного использования в целях лесозаготовок, лесного хозяйства и перевозок народнохозяйственных грузов. В зависимости от сферы деятельности лесозаготовительного или лесохозяйственного предприятия, лесные дороги разделяют на лесовозные и лесохозяйственные.

Лесные дороги относятся к дорогам промышленного транспорта. Лесовозные дороги разделяют на виды: магистральные, ветки и усы.

Относительная протяженность магистрали, веток и усов и удельный пробег лесовозных автопоездов по элементам лесотранспортной сети даны в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Протяженность видов дорог и пробег автопоездов по элементам лесопромышленной сети

Вид дорог	Протяженность, %	Пробег автопоездов, %
Магистраль	5…8	60…70
Ветки	10…15	20…35
Усы	80…85	5…10

Согласно СНиП 2.05.07-91 [3], автомобильные дороги промышленных предприятий подразделяют на внутренние и внешние.

К внутренним автомобильным дорогам относятся:

- внутриплощадочные дороги, расположенные на территории промышленных предприятий (промплощадок комбинатов,

заводов, фабрик, лесных, разработок и т.п.), обеспечивающие технологические перевозки;

- межплощадочные дороги, соединяющие между собой обособленные территории промышленных предприятий или их отдельные производства, образующие автотранспортную сеть промышленных районов или отдельных регионов, на которых расположены разрабатываемые лесные массивы, обеспечивающие наряду с технологическими и пассажирскими перевозками транспортировку хозяйственных грузов;
- служебные и патрульные автомобильные дороги, проходящие вдоль линий специализированных видов промышленного транспорта (подвесных канатных дорог и т.п.), линий энергоснабжения и других коммуникаций, а также подъезды к заправочным пунктам, складам и т.п., обеспечивающие перевозку вспомогательных и хозяйственных грузов и проезд пожарных, ремонтных и аварийных машин.

К внешним автомобильным дорогам промышленных предприятий относятся подъездные дороги, соединяющие эти предприятия с дорогами общего пользования, с другими предприятиями, железнодорожными станциями, портами, рассчитанные на пропуск стандартных автомобилей.

Внутриплощадочные и межплощадочные автомобильные дороги в зависимости от их назначения и расчетного годового объема перевозок подразделяются на виды и категории. Годовой расчетный объем определяется в обоих направлениях.

Производственные дороги, обеспечивающие производственные связи предприятий и их отдельных объектов (цехов, складов, разрабатываемых лесных массивов и др.) между собой, классифицируют на категории:

- I-в категории – с расчетным объемом перевозок более 0,70 млн. т нетто в год;
- II-в категории – более 0,35 до 0,70 млн. т нетто в год;
- III-в категории – до 0,35 млн. т нетто в год.

Служебные и патрульные автомобильные дороги, а также лесовозные магистрали с объемом перевозок до 0,10 млн. т нетто в год, лесовозные ветки, обеспечивающие вывозку леса с лесосек или отдельных участков разрабатываемого лесного массива относятся к IV-в категории.

Лесовозные магистрали необходимо проектировать по нормам межплощадочных дорог, а лесовозные ветки со сроком действия более пяти лет по нормам внутриплощадочных дорог, категория которых соответствует объемам перевозок по данным веткам.

Производственные внутриплощадочные и межплощадочные дороги со сроком действия по вывозу леса менее пяти лет и объемами перевозок свыше 0,70 и 0,35 млн. т нетто в год следует проектировать по нормам, установленным для дорог соответственно II-в и III-в категорий.

Лесовозные магистрали с объемом перевозок менее 0,10 млн. т нетто в год допускается проектировать по нормам межплощадочных дорог IV-в категории.

Подъезды к отдельным производственным объектам, не являющимся грузообразующими точками предприятия, суточная интенсивность движения на которых не превышает 100 транспортных единиц, допускается проектировать по нормам внутриплощадочных и межплощадочных дорог IV-в категории.

Основные параметры поперечного профиля внутриплощадочных и межплощадочных автомобильных дорог приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2.

Геометрические размеры поперечного профиля автомобильных дорог

Параметры	Значение параметров для дорог категории			
поперечного профиля	I-в	II-в	III-в	IV-в
Число полос движения	2	2	2	1
Ширина проезжей части, м, для расчетного автомобиля шириной, м:				
2,5 и менее	7,5/ 7,5	7,0/ 7,5	6,0/ 6,5	4,5/ 4,5
2,75	7,5/ 8,0	7,0/ 7,5	6,0/ 6,5	4,5/ 4,5

Окончение табл. 1.2.

3,2	9,0/ 10,5	8,0/ 9,5	7,5/ 9,0	4,5/ 5,0
3,5	10,0/ 12,0	9,5/ 11,5	9,0/ 10,5	5,0/ 5,5
3,8	11,5/ 14,5	10,0/ 13,0	9,5/ 12,0	5,0/ 6,0
5,0	14,0/ 17,5	13,0/ 16,0	12,0/15,0	6,5/ 7,0
Ширина обочины, м	1,5/ 2,0	1,5/ 1,5	1,5/ 1,0	1,0

Примечания:

1. Перед чертой приведены значения параметров поперечного профиля для внутриплощадочных дорог, после черты – для межплощадочных работ.

2. Для межплощадочных автомобильных дорог I-в и II-в категории, проектируемых в особо трудных условиях, значения ширины проезжей части и обочин допускается уменьшать на 0,5 м, а ширину обочин дороги IV-в категории и лесовозных веток принимать соответственно 0,75 и 0,5 м.

3. Ширину проезжей части служебных и патрульных дорог, предназначенных для движения стандартных автомобилей с интенсивностью менее 25 единиц в сутки, лесовозных магистралей с объемом перевозок до 0,1 млн.т нетто/год и лесовозных веток допускается уменьшать до 3,5 м.

Геометрические параметры поперечного профиля межплощадочных дорог III-в категории на участках, относящихся к особо трудным условиям проектирования, следует принимать по нормам дорог IV-в категории.

На участках внутриплощадочных и межплощадочных дорог IV-в категории, проектируемых по косогорам с крутизной склона более 1 : 5, ширина обочины с нагорной стороны должна быть не менее 1 м.

При применении уширенных коников (с габаритом более 2,75 м) ширину земляного полотна и проезжей части двухполосных дорог лесозаготовительных предприятий следует увеличивать на 0,5 м при габарите коника до 3,3 м и на 1,0 м при габарите коника 3,4 ...3,8 м.

На дорогах лесозаготовительных предприятий II-в и III-в категорий допускается устройство колейных дорог. Приведенные выше нормы не должны применяться при проектировании снежных, ледяных дорог, а также лесовозных усов.

В зависимости от лесорастительных и природных условий лесные массивы разделяют на зоны летней и зимней вывозки древеси-

ны. Соответственно и лесовозные дороги различают круглогодового и сезонного (летнего и зимнего) действия в зависимости от времени их работы.

Категории дорог сезонного действия устанавливаются по приведенному грузообороту

$$Q = \frac{Q_c \times A}{A_c}, \qquad 1.1.$$

где Q – сезонный грузооборот, тыс. м^3;

Q_c – приведенный годовой грузооборот, тыс. м^3;

A_c – число рабочих дней в сезоне;

A – число рабочих дней в году.

Дороги на нижних складах в зависимости от их грузооборотов проектируют по нормам магистралей соответствующей категории. На погрузочных пунктах, на лесосеках дороги проектируют по нормам для усов.

Расчетный грузооборот дороги необходимо определять с учетом всех видов перевозок по ним, включая пассажирские. Значительный объем перевозок смогут составлять лесохозяйственные грузы.

Лесохозяйственные дороги в соответствии с инструкцией [5] делят на три типа (табл. 1.3).

Таблица 1.3.

Классификация лесохозяйственных дорог

Тип дороги	Интенсивность движения, автомобилей/сутки
1	25... 50
2	до 25
3	Единичное

Дороги 1-го типа являются магистральными и имеют выход на дороги общего пользования. К дороге 1-го типа примыкают дороги низших типов. Дороги 2-го типа обеспечивают транспортную доступность в любой квартал лесного массива, соединяют лесные

питомники, лесничества и другие подразделения лесохозяйственных предприятий. Они примыкают к дорогам 1-го типа.

К дорогам 3-го типа относятся лесные проезды различных назначений, противопожарные, подъезды к кордонам, егерским участкам и другие лесохозяйственные дороги, не имеющие выраженного грузооборота.

Нормы проектирования лесовозной или лесохозяйственной автомобильной дороги зависят от ее категории или типа.

В соответствии с существующими нормативами [3] и литературой [1, 2], а так же заданием на выполнение работы необходимо выбрать и назначить основные нормы проектирования автомобильной дороги табл. 1.4.

Таблица 1.4.

Технические условия проектирования дороги

Наименование показателей и норм	Ед. измерения	Значения
1	2	3
1. Грузооборот дороги	тыс. т (тыс. $м^3$)	
2. Расчетные скорости движения: - основные	км ч	
3. Число полос движения		
4. Ширина проезжей части: - основные нормы	м	
5. Ширина обочин: - основные нормы	м	
6. Ширина земляного полотна: - основные нормы	м	
7. Наибольший продольный уклон: - основные нормы; - в трудных условиях; - в особо трудных условиях	‰	
8. Максимальный спуск: - основные нормы	‰	
9. Расстояния видимости поверхности дороги: - основные нормы	м	
10. Радиусы горизонтальных кривых (в плане): - рекомендуемые - минимальные	м	

Окончание табл. 1.4.

11. Радиусы вертикальных кривых (в продольном профиле): - выпуклые рекомендуемые; минимальные; - вогнутые рекомендуемые; минимальные; в трудных условиях	м	
12. Алгебраическая разность уклонов, сопрягаемая вертикальными кривыми	‰	
13. Шаг проектирования	м	
14. Минимальная высота насыпи над трубами	м	

Глава II

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАНА ДОРОГИ

2.1. Камеральное трассирование

Задачей трассирования является нахождение положения дороги между нижним складом, пунктом примыкания, и лесопогрузочными пунктами на карте местности в горизонталях.

При трассировании следует помнить основные рекомендации теоретического курса о достоинствах и недостатках отдельных трассировочных ходов.

При использовании продольного водораздельного хода на трассе будет небольшое количество водопропускных сооружений, небольшие продольные уклоны.

При поперечно-водораздельном ходе будет значительное количество водопропускных сооружений, большие продольные уклоны, но хороший водоотвод.

Долинный ход характеризуется небольшими продольными уклонами, извилистостью, наличием искусственных водопропускных сооружений часто значительных размеров.

Косогорный ход отличается большим разнообразием величин продольных уклонов и, как правило, не требует больших водопропускных сооружений. При изучении топографической карты от заданного начального до конечного пункта, между которыми проектируется дорога, нужно проанализировать имеющиеся там

контурные (озера, болота и проч.) и высотные (водоразделы, седловины и др.) препятствия, чтобы решить вопрос об их обходе или пересечении. При этом необходимо наметить удобные контрольные точки – места пересечений дорогой водоразделов, рек, логов, переходы болот, обход населенных пунктов, заповедников и т.п., которых следует придерживаться при трассировании.

В равнинной местности трассирование производят вольным ходом между контрольными точками – прямолинейными участками большой протяженности, не допуская частых изломов трассы. Отклонять трассу от прямой следует только тогда, когда это диктуется экономией затрат на строительство дороги или при необходимости обхода контурных препятствий.

В пересеченной местности применяют напряженный ход, трасса становится извилистой, так как к контурным препятствиям добавляются препятствия рельефа. При трассировании в сложных условиях нужно максимально использовать руководящий уклон и максимальный расчетный спуск в грузовом направлении. Трассу прокладывают по водоразделам, по долинам рек, на незатопляемых террасах, на склонах и косогорах.

Трасса должна огибать крупные формы рельефа и пересекать местные неровности. Это позволяет избежать больших объемов земляных работ и строительства крупных искусственных сооружений.

Пересечение рек нужно намечать нормально к направлению течения воды на прямых участках реки в наиболее узкой части поймы, не имеющей озер и стариц.

Мосты следует располагать на прямых участках дороги и продольных уклонах не более 30‰. В стесненных условиях допускается располагать деревянные однопролетные мосты на кривых и уклонах, принятых для дороги.

Трубы под насыпями допускается располагать на любых сочетаниях профиля и плана, предусмотренных нормами проектирования дороги [4].

Болото необходимо пересекать трассой в самом узком месте, там, где его глубина минимальная, а минеральное дно может служить надежным основанием земляного полотна дороги. В районах распространения средних или глубоких болот, значительных по протяженности, рассматривают варианты их обхода.

Учитывая возросшие требования к охране окружающей среды, для укладки трасс дорог надо максимально использовать квартальные просеки. Особенно это касается трассирования веток. При этом улучшается охват лесного массива дорожной сетью, а также облегчается и ускоряется строительство дорог.

Трассирование на трудных участках ведется циркулем-измерителем и сводится к установлению направления участков с продольными уклонами не более допустимого уклона или уклона трассирования. Величина раствора циркуля (в мм), при котором уклон трассы будет равен уклону трассирования, определяется по формуле

$$L = \frac{10^6 + h}{m \times i_p}, \qquad 2.1$$

где h – сечение горизонталей, м;

i_m – уклон трассирования, ‰;

m – знаменатель масштаба карты.

За уклон трассирования принимают: на подъемах в грузовом направлении $i_m = i_p$, на спусках $i_m = i_c$ (расчетный спуск).

Определив заложение, циркулем делают засечки на горизонталях и по ним проводят ломаную линию, которую затем спрямляют, если это не вызовет большого увеличения объема земляных работ. Наиболее распространенные варианты камерального трассирования дороги на участках вольного и стесненного хода, а также укладка трассы дороги в трудных горных условиях показаны на (рис. 2.1 а; б; в; г.)

Основными элементами плана трассы являются чередующиеся прямые и кривые участки дороги. Прямые участки дороги характеризуются длиной и направлением.

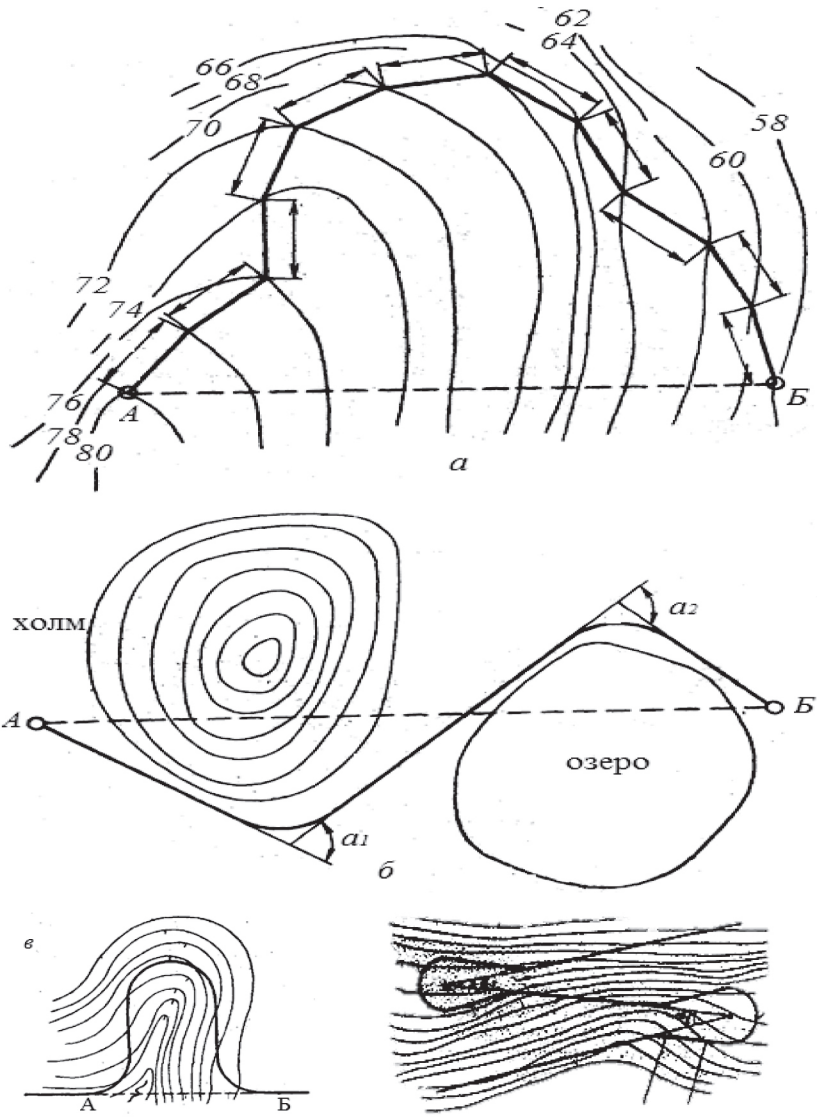


Рис. 2.1. Камеральное трассирование дороги на участках:
а – вольного хода; б – стесненного хода; в – заходом в боковую долину;
в – с устройством серпантин; 1 – основная кривая; 2 – вспомогательная кривая;
3 – прямые вставки между кривыми

В местах перелома прямых участков дороги вписывают плавные круговые кривые, при необходимости проектируем переходные круговые кривые при R≤ 250 м и виражи.

Следующий этап работы – назначение радиусов горизонтальных круговых кривых в плане. Радиусы рекомендуется принимать не менее 600 м на магистралях, и 150 м – на ветках, что обеспечивает безопасное движение автопоездов. В трудных условиях можно применять минимальные радиусы согласно техническим условиям.

Элементы круговых кривых в зависимости от радиуса R и угла поворота дороги α (длина круговой кривой К, дорожный тангенс Т, дорожная биссектриса Б, дорожный домер Д) определяют но таблицам Митина [10] или по формулам

$$T = R \times tg\frac{\alpha}{2};\ K = \frac{3.14 \times \alpha \times R}{180};\qquad 2.2.$$

$$Б = R \times (\frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}} - 1);\ Д = 2T - K.$$

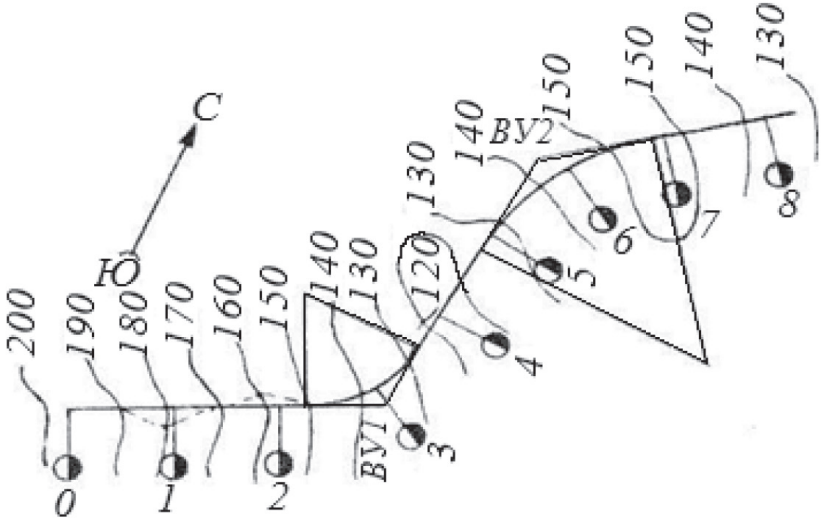


Рис. 2.2. Положение трассы дороги с заданным уклоном на карте местности

Угол поворота трассы измеряют транспортиром. Пикетаж характерных точек трассы определяют расчетом.

Для размещения смежных круговых кривых между двумя углами поворота необходимо определить минимальное расстояние между ними. Это расстояние определяется по формулам;

а) в случае, когда требуется устройство виража

$$L = T_1 + \frac{l^в{}_1 + l^в{}_2}{2} + T_2, \qquad 2.3$$

б) в случае, когда не требуется устройство виража

$$L = T_1 + T_2, \qquad 2.4$$

где T_1 и T_2 – величина дорожных тангенсов первой и второй смежных круговых кривых, м;

$l^a{}_1$ и $l^a{}_2$ – длины участков отгона виражей или соответствующих переходных кривых, м.

Одновременно с определением элементов кривых и характерных точек трассы вычерчивают кривые, разбивают пикетаж в километрах. Пикетаж ведут от начального пункта в глубь лесного массива. Расстояние между вершинами углов поворота, а также от нижнего склада до вершины первого угла поворота на карте измеряют масштабной линейкой с возможно большей точностью.

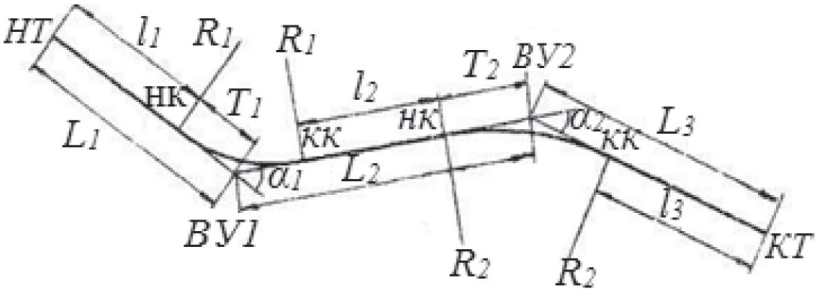


Рис. 2.3. Схема определения пикетажа характерных точек трассы

Пикеты начала – *НК* и конца – *КК* круговой кривой для угла поворота № 1 определяют по формулам

$$НК_1 = L_1 - T_1 = l_1; \; КК_1 = НК_1 + К_1. \qquad 2.5$$

Длина прямой между смежными углами

$$l_2=L_2-(T_1+T_2). \quad 2.6.$$

Пикет вершины угла № 2 и всех последующих углов определяются зависимостью

$$ВУ_2=КК_1+L_2-T_1. \quad 2.7$$

Начало и конец кривой для угла № 2 и всех последующих углов

$$НК_2=ВУ_2-T_2;\ КК_2=НК_2+K_2. \quad 2.8$$

Пикет конечной точки трассы

$$КТ=КК_2+L_3-T_2, \quad 2.9$$

где L_1 – расстояние по карте от нижнего склада до вершины угла № 1, м;

L_2 – расстояние между вершинами смежных углов № 1 и № 2, м;

L_3 – расстояние от вершины угла поворота № 2 до конечной точки трассы, м;

K_1, K_2 – длины соответствующих круговых кривых, м;

l_1, l_2, l_3 – длины соответствующих прямых, м.

При радиусах кривых R≤ 250 м на магистралях и R≤ 100 м на ветках проектируем переходные кривые. В случае разбивки переходной кривой ее элементы можно определить по таблицам Митина [10] или по формулам

$$\alpha \geq 2\beta;\ \beta = 57{,}3\times\frac{l_n}{2R}; \quad 2.10$$

где β – угол, образованной касательными в начале и в конце переходной кривой, град.

а) Угол сокращенной круговой кривой, град

$$\alpha_0=\alpha-2\beta. \quad 2.11$$

б) Длину сокращенной круговой кривой, м

$$K_0=\frac{R\times\alpha_0}{57{,}3}. \quad 2.12$$

в) Полную длину закругления, м

$$K_{пк}=K_0+2l_n. \quad 2.13$$

г) Величину дорожного тангенса, м

$$T_{пк}=(R+p)\times tq\frac{\alpha}{2}+m; \quad 2.14$$

$$p=\frac{l_n{}^2}{24\times R};m=0.50\times l_n. \quad 2.15$$

д) Дорожную биссектрису, м

$$Б_{пк} = (R + p) \times sec\frac{\alpha}{2} - R. \quad 2.16$$

е) Величину дорожного домера, м

$$Д_{пк} = 2T_{пк} - К_{пк}, \quad 2.17$$

где m – увеличение дорожного тангенса, при наличие переходной кривой, м;

p – сдвижка круговой кривой, м;

$l_п$ – длина переходной кривой, м.

Пикетаж характерных точек закругления при наличии переходных кривых из выражений;

а) Начало закругления

$$ПК\ НЗ=ПК\ ВУП - T_{пк}. \quad 2.18$$

б) Начало сокращенной круговой кривой

$$ПК\ НКК=ПК\ НЗ + l_п. \quad 2.19$$

в) Конец закругления

$$ПК\ КЗ=ПК\ НЗ + К_{пк}. \quad 2.20$$

г) Конец сокращенной круговой кривой

$$ПК\ ККК=ПК\ КЗ - l_п. \quad 2.21$$

Контроль

$$ПК\ ККК=ПК\ ВУП - T_{пк} - Д_{пк}. \quad 2.22$$

В заключение проводим проверку правильности выполнения расчетов;

$$\sum К + \sum К_{пк} + \sum U = L_q; \quad 2.23$$

$$\sum S - \sum Д_{пк} - \sum Д = L_q; \quad 2.24$$

$$2\sum Т + 2\sum T_{пк} - \sum К - \sum К_{пк} = \sum Д + \sum Д_{пк}; \quad 2.25$$

$$\sum А_л - \sum А_п = А_н - А_к, \quad 2.26$$

где L_q – длина трассы, м;

S – расстояния между вершинами углов, м;

U – длина прямой, м;

$А_н$, $А_к$ – начальный и конечный азимуты, град.

Затем трасса ориентируется.

Положение трассы на местности или карте должно быть определено в отношении сторон горизонта: севера, юга, востока, запада.

Такое определение называют ориентированием. Чтобы ориентировать трассу, нужно ориентировать составляющие ее прямые линии. Ориентировать линию, это значит определить угол между направлением меридиана, проходящим через начало линии, и направлением самой линии. Для ориентирования линии измеряют азимуты или румбы.

Азимут – это горизонтальный угол, измеряемый от северного направления меридиана по часовой стрелке до заданной линии.

Азимуты изменяются от 0° до 360°. На рис. 2.4 азимут первой линии A_A=29° 00', второй A_B =149°14', третьей A_E=230°35', четвертой A_F =317°10'.

Румб – это горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана (северного или южного) до ориентируемого направления (прямой). Румбы измеряются от 0 до 90°. Записывая численное значение румба, необходимо указывать название четверти, а которой находится ориентируемое направление.

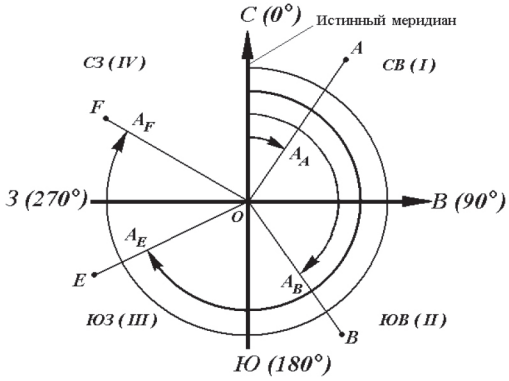


Рис. 2.4. Схема определения азимутов

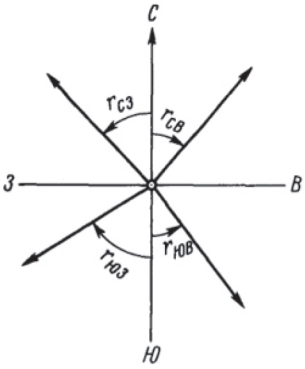


Рис. 2.5. Схема определения румбов

Так, на рис. 2.5 румб первой линии $r_{СВ}$ – СВ: 29°00', второй $r_{ЮВ}$ – ЮВ: 30°46›, третьей $r_{ЮЗ}$ – ЮЗ: 50°35'; четвертой $r_{СЗ}$ – СЗ: 42°50'.

Между азимутами и румбами имеется следующая зависимость табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Зависимость между азимутами и румбами

Четверть	А, град	r
I (СВ)	0...90	А
II (ЮВ)	90... 180	180° - А
III (ЮЗ)	180...270	А -180°
IV (СЗ)	270...360	360° - А

В дорожном проектировании принято ориентировать трассу при помощи румбов. При этом румб первой линии, считая от пункта примыкания трассы, определяют по карте транспортиром с возможно большей точностью. Определив начальный румб, румбы последующих прямых вычисляют по направлению и величине угла поворота.

Пример оформления трассы дан на рис. 2.2. На карте следует нанести также ветки, хозяйственные дороги и направление магнитного меридиана.

Результаты расчетов сводим в ведомость углов поворота, прямых, переходных и круговых кривых участка автомобильной дороги табл. 2.2.

Таблица 2.2.

Ведомость углов поворота, прямых, переходных и круговых кривых

№ угла поворота	Положение вершины угла поворота		Величина угла поворота, град.		Элементы круговой кривой, м					Элементы переходных, измененной круговой кривой и полного закругления, м								
	ПК	+	$\alpha_л$	$\alpha_п$	R	T	K	Б	Д	2β	α-2В	L	$R_{пк}$	$K_о$	$K_{пк}$	$T_{пк}$	$Б_{пк}$	$Д_{пк}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	00,00																
2	2	50,00		12°46′	40	44,79	89,13	2,50	0,37									
3	12	65,78		16°27′	1200	173,46	344,53	12,47	2,39									
4	20	26,75	26°32′		150					1708	924	45	150,06	2446	114,46	57,98	4,69	3,50
5	50	04,26																
Итого			26°32′	29°13′		218,21	433,66		2,76						114,46	57,98		3,50

Продолжение табл. 2.2.

		Главные точки закруглений						Прямые,	м	Румбы,
Н	З	Н	КК	К	КК	К	З			град
ПК	+	ПК	+	ПК	+	ПК	+	S	U	r
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
								250	2 65,25	СВ: 30°00’
		2	5,25	2	94,38			1015,78	797,94	СВ: 42°46’
		10	92,32	14	36,85			760,97	531,92	СВ: 59°13’
19	68,77	20	13,77	20	38,23	20	83,23	2977,51	2916,77	СВ: 32°41’
								5004,26	4451,88	

Расчет элементов кривых малых радиусов

Дорога в плане представляет собой сочетание прямых и кривых (см. рис. 2.3). Процесс движения автомобиля по кривой складывается из въезда на кривую, движения по кривой и съезда с нее. При движении автопоезда по кривой на него действует центробежная сила, стремящаяся сдвинуть его во внешнюю сторону кривой. Для обеспечения безопасности движения на кривых малых радиусов необходимо предусмотреть устройство виража для предотвращения поперечного скольжения или опрокидывания; уширение проезжей части и земляного полотна для геометрического вписывания автопоездов в пределах полосы движения; устройство переходных кривых для сопряжения круговых кривых и прямых участков; уменьшение величины предельных уклонов. При движении по кривой со скоростью υ возникает центробежная сила $C = Qv^2/R$, где Q – масса автомобиля; R – радиус кривой. Сила Y, сдвигающая автопоезд (рис. 2.6.), равна $Y = C\cos a \pm Qg\sin a$; принимая $\cos a \cong 1$ и для малых углов $\sin a \cong \operatorname{tg} a = i_{\text{п}}$ ($i_{\text{п}}$ – поперечный уклон), можно записать

$$Y = Q\left(\frac{\vartheta^2}{R} + i_{\text{п}}g\right), \qquad 2.27$$

где g – ускорение свободного падения.

Отношение

$$\mu = \frac{Y}{gQ} = \frac{\vartheta^2}{gR} \pm i_{\text{п}} \qquad 2.28$$

называют коэффициентом поперечной силы.

Из формулы (2.27) получаем

$$i_{\text{в}} = \frac{\vartheta_{\text{р}}^2}{gR} - \mu \qquad 2.29$$

где $i_в$ – уклон виража, отн. ед.; ϑ – расчетная скорость движения, км/ч.

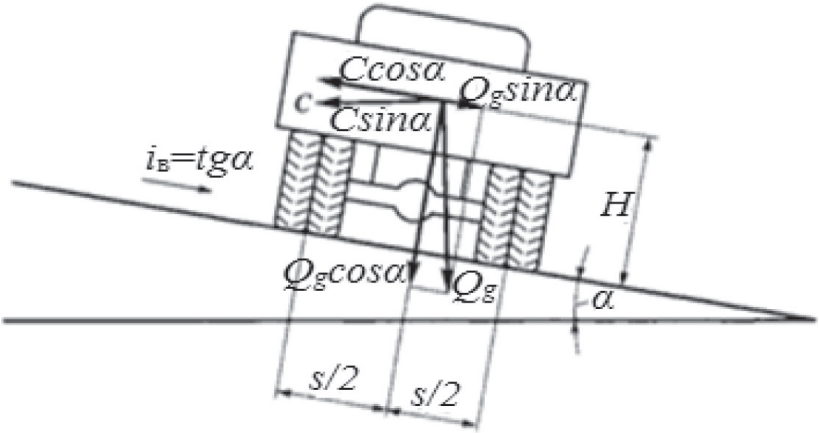


Рис. 2.6. Расчетная схема для определения уклона виража

Вираж – это участок пути на кривой, имеющий односкатный поперечный профиль дорожной одежды направленный внутрь кривой.

В соответствии с ВСН-01-82 Виражи на магистралях предусматривают в кривых в плане при радиусе R≤ 600 м, а переходные кривые при R≤ 250 м.

Значения поперечного уклона i_1 ‰ в зависимости от типа покрытия имеют следующие значения:

1. Щебеночные, гравийные и другие материалы обработанных вяжущими 20…25 ‰;

2. Щебеночные, гравийные, грунтогравийные, грунтощебеночные, грунтовые улучшенные карьерными добавками 30…40‰;

3. Поперечный уклон обочин i_2 принимается больше на 10…30‰.

Переход от двухскатного поперечного профиля к односкатному (отгон виража), осуществляется постепенно на протяжении переходной кривой, а при её отсутствии на прилегающем к кривой прямом участке (участке отгона виража).

Сначала постепенно вращают внешнюю половину проезжей части (в обочиной) вокруг оси дороги до тех пор, пока не будет достигнут односкатный профиль с поперечным уклоном, равным уклону двускатного профиля проезжей части. Затем вращение производится за счет внутренней кромки проезжей части (без учета уширения) до необходимой величины поперечного уклона на вираже i_3.

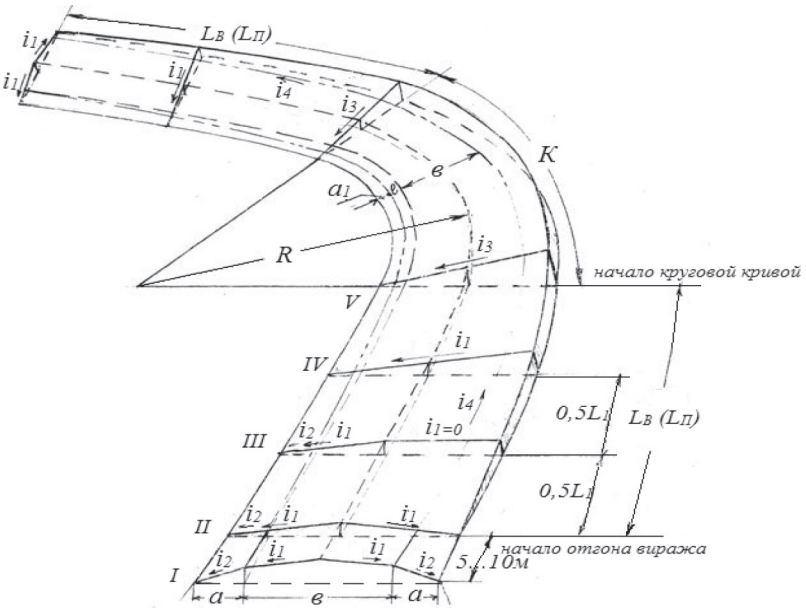


Рис. 2.7. Схема виража:

i_1 – поперечные уклоны проезжей части при двухскатном профиле; i_2 – поперечные уклоны обочин при двускатном профиле; i_3 – поперечные уклоны на вираже; a – ширина обочины; $в$ – ширина проезжей части; R – радиус круговой кривой; l – уширение проезжей части за счет обочины; a_1 – ширина обочины на вираже; $L_В$ – длина отгона виража; $L_П$ – длина переходной кривой; i_4 – дополнительный продольный уклон на внешней стороне проезжей части на участке отгона виража.

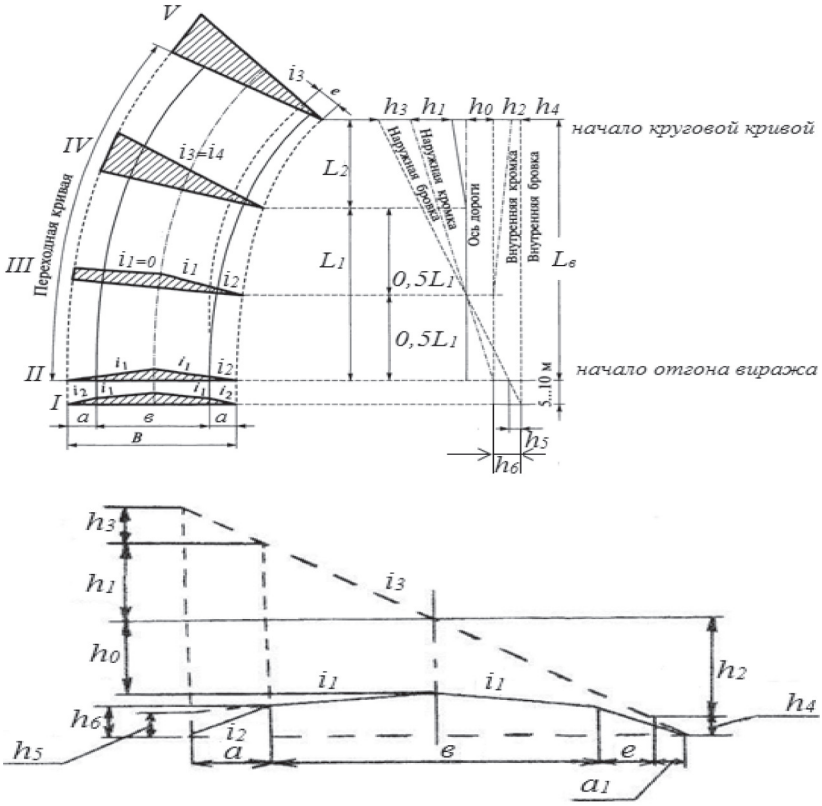


Рис. 2.8. Расчетная схема виража: h_0 – превышение от дороги на вираже над её положением при двухскатном профиле; h_1 – превышение внешней кромки над осью проезжей части на вираже; h_2 – превышение от дороги на вираже над внутренней кромкой; h_3 – превышение внешней бровки земляного полотна над внешней кромкой; h_4 – превышение внутренней кромки на вираже под внутренней бровкой земли; h_5 – превышение внешней бровки в начале отгона виража над внешней кромкой в начале вращения обочины; h_6 – превышение внутренней кромки над внутренней бровкой на участке вращения внешней обочины.

При переходе от двухскатного профиля к односкатному возникает дополнительный продольный уклон (уклон отгона виража i_4). Величину его принимают в обычных условиях $i_4 = 0{,}010$, а в горной местности $i_4 = 0{,}020$.

Поперечные уклоны обочин на вираже принимают одинаковые с уклоном проезжей части. Расчетная схема виража представлена на рис. 2.8.

Изменение поперечного уклона обочин производится до начала отгона виража на участке прямой равной 5…10 метрам (см. рис. 2.7).

На прямых участках с шириной обочины $a < 1$м на вираже ширина обочины должна оставаться такой же, как и на прямых участках $a_1 = a$ за счет одновременного уширения проезжей части и земляного полотна. Величину уширения для расчета виража можно взять из табл. 5... 8 инструкции [4] или из учебника [1] .

Параметры виража определяют по приведенным ниже формулам.

Поперечный уклон виража i_3 в долях единицы

$$i_3 = \frac{V^2}{127 \times R} - \mu_A, \qquad 2.30$$

где V – расчетная скорость движения, км/ ч;

R – радиус круговой кривой, м;

μ_A – коэффициент поперечного сцепления колеса с покрытием, (принимаем в дальнейших расчетах μ_A=0,10... 0,20).

Уклон виража должен находиться в пределах $0{,}060 \geq i_3 \geq i_1$, где i_1 – поперечный уклон проезжей части.

В случае, если $i_3 < i_1$, то принимаем $i_3 = i_1$.

Длина отгона виража, в м

$$L_в = \frac{b \times i_3}{i_4}, \qquad 2.31$$

где b – ширина проезжей части, м;

i_4 – продольный уклон отгона виража, (в обычной местности – i_4=0,010, в горной местности i_4=0,020).

Длина отгона виража равна длине переходной кривой, если она устраивается.

Длина переходной кривой, в м

$$L_п = \frac{V^3}{47 \times R \times J}, \qquad 2.32$$

где J – скорость нарастания центробежного ускорения, J=0,50 м/сек².

Расчетная длина отгона виража, в м

$$L_в = max(L_в\ ; L_n). \qquad 2.33$$

Выбирают большее значение из ($L_в$;L_n) и в последствии его используют в расчет, это и будет длина переходной кривой, на протяжении которой производится отгон виража. Переходную кривую можно разбить, если

$L_n = (L_в) \le K$, где K – длина круговой кривой, далее в расчетах принимаем $L_в$.

Проверяем возможность разбивки переходной кривой, так как переходную кривую можно устроить, если угол поворота трассы α в град удовлетворяет требованию

$$\alpha \ge 57{,}3 \times (\frac{L_в}{R}). \qquad 2.34$$

Если это условие не соблюдается, то необходимо увеличить R или уменьшить $L_в$.

Длина вращения внешней половины проезжей части вокруг оси дороги, в м

$$L_1 = \frac{b \times i_1}{i_4}. \qquad 2.35$$

Значения превышений, в метрах

$$h_0 = \frac{b \times (i_3 - i_1)}{2};\ h_1 = \frac{b \times i_3}{2};\ h_2 = (\frac{b}{2} + e) \times i_3;$$
$$h_3 = a + i_3;\ h_4 = a_1 \times i_3; \qquad 2.36$$
$$h_5 = a \times (i_2 - i_1);\ h_6 = a \times i_2,$$

где b – ширина проезжей части, м;

e – уширение проезжей части на вираже, м;

a – ширина обочины на прямых участках трассы, м;

a_1 – ширина обочины на вираже, м.

Вычерчивание поперечных профилей виража. Сначала проводится внутренняя бровка – вертикальная линия (внутренняя бровка

по высоте не меняется). От неё на расстоянии h_6 (снизу) проводится внутренняя кромка на длине $0{,}5L_1$ и далее продолжается до сечения V с превышением h_4.

Далее по сечению V откладывается h_2, а от него h_0 и проводится ось дороги (превышение оси начинается от сечения IV).

Затем откладывается h_1 и проводим линию внешней кромки (её превышение начинается от сечения II).

Потом откладываем превышение h_5 от внутренней бровки и h_3 от внешней кромки и проводим линию внешней бровки.

Если нужно найти абсолютные отметки разбивки виража, то нужно к соответствующим отметкам прибавить соответствующие им превышения.

При этом отметку бровки земляного полотна в начале отгона виража взять с продольного профиля, а остальные отметки вычислить.

При проектировании переходных кривых (и виражей в их пределах) ось дороги изменяется внутри кривой на величину

$$p = \frac{L_{\text{п}} \text{ или } (L_{\text{в}})}{24R}. \qquad 2.37$$

Полученные данные в ходе расчетов основных параметров виража, значения перехода и превышений, при переходе от двухскатного поперечного профиля к односкатному, сводим в табл. 2.3.

Таблица 2.3.

Сводная ведомость основных параметров виража

№ п/п	Радиус кривой, м	Длина оттона виража, м	Длина переходной кривой, м	Расчетная длина оттона виража, м	Длина вращения, м	Уширение проезжей части виража, м	Ширина обочины, м	Уклоны, доли единицы				Значение превышений, м						
	R	$L'_{в}$	$L_{п}$	$L_{в}$	L_1	e	a	i_1	i_2	i_3	i_4	H_0	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Глава III

РАСЧЕТ МАЛЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИИ

3.1. Общие положения

Трассу дороги, как правило, пересекают большие и малые водотоки, реки и ручьи, овраги и некоторые другие препятствия, требующие устройства искусственных сооружений.

Основными видами искусственных сооружений на лесных дорогах являются водопропускные трубы и мосты. Водопропускные трубы и мосты проектируют их по нормам СНиП 2.05.03–84 [9].

Искусственные сооружения разделяют на малые: мосты длиной до 25 м и $F \leq 100$ км^2 и водопропускные трубы; средние мосты длиной 25... 100 м и $F \leq 100$ км^2 и большие мосты длиной более 100 м и $F > 100$ км^2. К малым водопропускным сооружениям относятся также лотки, переливные и фильтрующие насыпи.

Основными факторами, определяющими тип и размер малых водопропускных сооружений, являются рельеф и расходы воды, притекающей к ним. Величину и характер распределения расходов воды во времени, характеризуемых гидрографами паводков, определяют гидрографическими расчетами. При этом определяют расходы ливневых и талых вод.

Основной документ, но которому производят гидрологические расчеты – СНиП 2.01.14– 83 «Определение расчетных гидрологи-

ческих характеристик». Этот СНиП рекомендует определять объем ливневого стока для малых водосборов, пользуясь принципом «предельных интенсивностей», но не приводит необходимых расчетных формул для определения объема стока.

В практике дорожного проектирования расчет ливневого стока производится по способу МАДИ и Союздорпроекта, который дает все необходимые характеристики.

Расчет стока талых вод с малых водосборов ведется на основании СНиП 2.01.14–83 [8].

Расчет стока и отверстий малых водопропускных сооружений предшествует нанесению на продольный профиль дороги проектной линии, так как для ее размещения необходимо знать минимальные отметки бровки насыпей у мостов и над трубами. Указанные отметки являются контрольными проектной линии.

Размеры отверстий водопропускных сооружений на лесных дорогах определяют из условия пропуска расчетного расхода воды с вероятностью превышения (ВП): для капитальных малых и средних мостов – 1 раз в 50 лет (ВП 2%); для труб ВП 2%; для малых деревянных мостов – 1 раз в 33 года (ВП 3%); для сооружений на ветках и прочих дорогах– 1 раз в 20 лет (ВП 5%).

3.2. Определение расчетного расхода воды

3.2.1. Расчетные характеристики водосборной площади

После нанесения трассы дороги на карту намечают расположение искусственных сооружений. Для этого находят положение водосливных линий с нагорной стороны трассы, по которым происходит движение воды, и намечают границы водораздельных линий, определяющих площади водосборных бассейнов.

Водораздельные линии на карте проводят сплошной линией, площадь водосбора заштриховывают. На рис. 3.1 водоразделы выделены сплошной линией ГВ, ВАД, ДЕ, пунктирными линия-

ми – склоны, имеющие наибольший уклон. Они направлены перпендикулярно линиям горизонталей и начинаются с наивысших точек, которыми в данном случае являются вершины В и Д. Таким образом, площадь водосбора ограничена линией БГВАДЕБ. Пунктирная линия АБ, имеющая минимальные отметки в поперечном сечении водосборной площади, является тальвегом. Искусственное сооружение на трассе расположено в точке Б. Водосборная площадь на карте в горизонталях определяется планиметром или предварительно разбивается на элементарные геометрические фигуры (треугольники, прямоугольники), площади которых в квадратных сантиметрах суммируются.

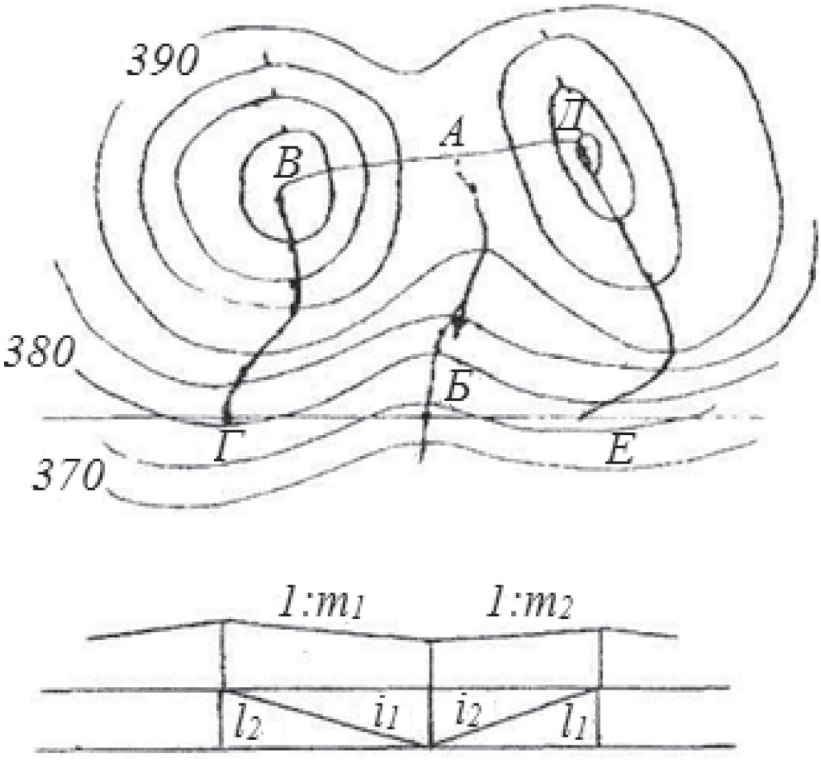


Рис. 3.1. Схема определения границ водосборной площади

Полученную площадь в см^2 умножают на квадрат масштаба карты, переведенный в километры, и получают площадь водосбора F в км^2.

Длина лога – это извилистая линия АБ, соединяющая точку расположения искусственного сооружения с наиболее удаленной точкой лога. Определяется длина лога $l_л$ курвиметром или наложением нити на лог с последующим измерением ее.

Уклон дна лога вычисляется по формуле

$$i_л = \frac{H_1 - H_2}{l_л} \qquad 3.1$$

где $i_л$ – уклон дна лога, доли единицы;

H_1 – отметка точки начала лога, м;

H_2 – отметка точки лога по оси искусственного сооружения, м;

$l_л$ – длина лога, м.

Уклон лога у сооружения i_c определяют на участке длиной 300 ...100 м ниже и 200 м выше сооружения. Иногда при заданном масштабе карты на этом расстоянии определить отметку лога сооружения затруднительно. В этом случае отметки можно вычислить между двумя горизонталями, расположенными выше и ниже сооружения. На рис. 3.1 это горизонтали 375 и 370 м.

3.2.2. Определение расхода воды

Расход– воды это количество воды, проходящей через створ водопропускного сооружения в единицу времени (м^3/с). Объем стока– количество воды, м^3, притекающей к данному створу за расчетный период времени.

Максимальный расход воды наблюдается или летом во время интенсивных ливней– ливневый расход, или весной во время таяния снега – расход талых вод. За расчетный расход принимается максимальный расход ливневых или талых вод.

Максимальный расход ливневых вод с водосборов до 100 км^2 рассчитывается по формуле

$$Q_л = 16.7 \times a_r \times k_i \times \alpha \times \varphi \times F, \qquad 3.2$$

где $Q_л$ – расход ливневых вод, м^3/с;

16,7 – коэффициент учитывающий размерность различных значений;

a_r – интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин (табл. 3.1);

k_i – коэффициент перехода от интенсивности ливня продолжительностью один час к расчетной (табл. 3.2);

α – коэффициент потери стока, зависящий от вида грунта на поверхности водосбора (табл. 3.3);

φ – коэффициент редукции;

F – водосборная площадь, км^2.

Территория России разделена на 10 ливневых районов приложение 2. Величину интенсивности ливня часовой продолжительности принимают в зависимости от климатического ливневого района и принятой вероятности превышения паводка ВП.

Для выбора коэффициента k_i следует определить уклон лога по формуле (3.1).

Коэффициент редукции при F до 100 км^2 определяется по формуле

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{10 \times F}}. \qquad 3.3$$

При малых площадях водосбора $F \leq$ 0,1 км^2 принимают φ=1. Если k_i=5,24, что возможно при появлении полного ливневого стока, то α=1. Тогда формула (3.2) имеет вид

$$Q_{nc} = 87.5 \times a_r \times F. \qquad 3.4$$

Максимальный расход стока талых вод определяются по формуле

$$Q_m = \frac{k_0 \times h_p \times F}{(F+1)^n} \times \delta_1 \times \delta_2, \qquad 3.5$$

где Q_m – расход стока талых вод, м^3/с;

k_0 – коэффициент дружности половодья (табл. 3.4);

h_p – расчетный слой суммарного стока принятой ВП, мм;

F – водосборная площадь, км^2;

δ_1 – коэффициент, учитывающий снижения расходов в бассейнах, на территории которых имеются озера (табл. 3.5);

δ_2 – коэффициент, учитывающий снижение расхода при залесенности и заболоченности площади бассейна (табл. 3.6);

n – показатель степени (см табл. 3.4).

Таблица 3.1.

Интенсивность ливня продолжительностью в 1 ч a_r, мм/мин, при различном превышении паводка

Номер ливневого района	ВП, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,22	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,36	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3	0,39	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	1,73
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,50	1,77
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65

Таблица 3.2.

Коэффициент перехода от интенсивности ливня продолжительностью в 1ч k_t к расчетной интенсивности

Длина	Уклон поверхности лога $l_л$							
лога $l_л$, км	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,15	4,21			Полный	сток			5,24
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			
1,00	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
2,00	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

Окончание табл. 3.2.

3,00	0,56	0,82	1,21	1,79	2,00	2,16	2,34	2,49
3,50	0,50	0,74	1,10	1,62	1,81	1,95	2,12	2,31
4,00	0,46	0,68	1,00	1,48	1,65	1,78	1,94	2,11
4,50	0,42	0,62	0,93	1,37	1,53	1,65	1,78	1,95
5,00	0,40	0,58	0,86	1,27	1,42	1,54	1,67	1,82
6,00	0,35	0,52	0,76	1,13	1,26	1,36	1,48	1,61
6,50	0,33	0,49	0,73	1,07	1,20	1,29	1,40	1,53
7,00	0,32	0,47	0,69	1,02	1,14	1,23	1,33	1,45
8,00	0,29	0,43	0,63	0,93	1,04	1,12	1,22	1,33
9,00	0,27	0,39	0,58	0,86	0,96	1,04	1,13	1,23
10,00	0,25	0,37	0,54	0,80	0,90	0,97	1,05	1,14
11,00	0,23	0,34	0,51	0,75	0,84	0,91	0,98	1,07
12,00	0,22	0,32	0,48	0,71	0,79	0,86	0,93	0,99
13,00	0,21	0,31	0,46	0,67	0,75	0,81	0,88	0,96
14,00	0,20	0,29	0,43	0,64	0,72	0,79	0,84	0,91
15,00	0,19	0,28	0,41	0,61	0,68	0,74	0,80	0,87
20,00	0,16	0,23	0,34	0,50	0,56	0,61	0,66	0,72

Таблица 3.3.

Коэффициент потери стока α в зависимости от площади и вида грунтов на поверхности водосборного бассейна

Виды	Площадь поверхности, см^2		
поверхности	0...1	1...10	1... 100
Асфальт, бетон, скала без трещин	1,00	1,00	1,00
Жирная глина, такыры	0,70...0,95	0,65...0,95	0,65…0,90
Суглинки, подзолистые, тундровые и болотные почвы	0,60...0,90	0,55...0,80	0,50...0,75
Чернозем, каштановые почвы, лес, карбонатные почвы	0,55...0,75	0,45.. 0,70	0,35…0,65
Супеси, степные почвы	0,30...0,55	0,20...0,50	0,20...0,45
Песчаные, гравелистые, рыхлые каменистые почвы	0,20	0,15	0,10

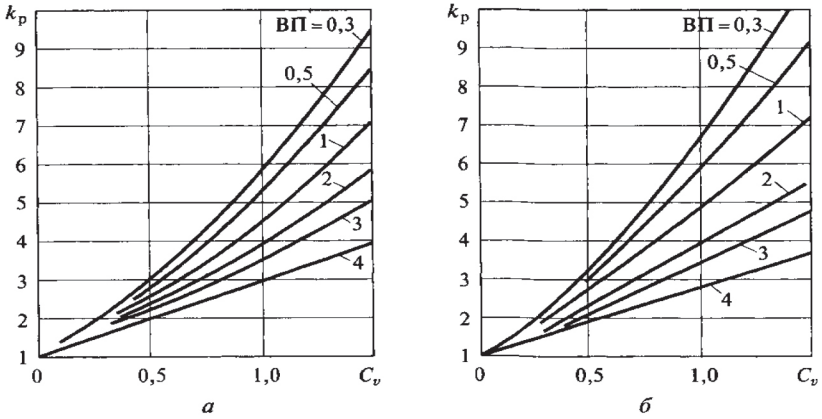


Рис. 3.2. Кривые модульных коэффициентов слоев стока k_p
а – при C_s=2C_v, б – при C_s=3C_v

Расчетный слой суммарного стока определяется по формуле

$$h_p = h \times k_p, \qquad 3.6$$

где h – средний многолетний слой стока талых вод (рис. 3.3),мм;

k_p – модульный коэффициент стока (рис. 3.2).

Значения h по карте (см. рис. 3.3) соответствуют водосборным бассейнам F> 100 км^2. Для малых бассейнов вводят поправочные коэффициенты $k_м$: 1,1 – при холмистом рельефе и глинистых грунтах; 0,9 – при равнинном рельефе и песчаных грунтах; 0,5 – при больших потерях стока (сосновые леса на песках). Таким образом, при F < 100 км^2

$$h_p = h \times k_м \times k_p. \qquad 3.7$$

Чтобы определить модульный коэффициент стока по графикам (рис. 3.2) нужно знать ВП, коэффициент вариации c_v (рис. 3.2) и коэффициент асимметрии C_s.

Полученное значение c_v умножают на поправочный коэффициент в зависимости от площади водосбора:

1,25 – при = 0... 50 км^2;
1,20 – при = 51... 100 км^2;
1,15 – при = 101... 150 км^2;

1,05 – при = 151... 200 км^2.

Коэффициент C_s принимается в зависимости от местонахождения площади водосбора:

– для равнинных водосборов C_s =2 c_v;

– для водосборов, расположенных на северо-западе и северо-востоке страны C_s =3 c_v;

– для горных районов C_s =(3…4) c_v;

Коэффициент учета залесённости и заболоченности δ_2 определяется по табл. 3.6 через вспомогательный параметр β

$$\beta = 5\frac{F_л}{F} + 10\frac{F_б}{F} + 1, \qquad 3.8$$

где $F_л$ и $F_б$ – соответственно площади, занятые лесами и болотами, км^2.

Чтобы воспользоваться табл. 3.6, нужно выделить целую и дробную части числа β.

В целях уменьшения стоимости строительства водопропускного сооружения часто величину его отверстия уменьшают. Тогда через это отверстие будет проходить не расчетный расход Q_p, а часть его Q_c, называемая сбросным расходом. Перед сооружением вода будет накапливаться в виде пруда – аккумулироваться.

На рис. 3.6 часть площади гидрографа притока, расположенная выше кривой сбросных расхода, представляет собой объем накопленной воды перед сооружением – объем пруда.

Таблица 3.4.

Коэффициент дружности половодья k_0 и показатель степени n

Природная зона или географический район	n	k_0
Зона тундры и лесная:		
Европейская часть РФ и Восточная Сибирь	0,17	0,010
Западная Сибирь	0,25	0,013
Лесостепная и степная зоны:		
Европейская часть РФ (без Кавказа)	0,25	0,020
Северный Кавказ	0,25	0,030
Западная Сибирь	0,25	0,030

Окончание табл. 3.4.

Зона засушливых степей и полупустынь:		
Западный и Центральный Казахстан	0,35	0,060
Центральный Алтай (Чуйские степи)	0,15	0,007
Горные районы:		
Урал при высоте до 500 м над уровнем моря	0,15	0,0025
Урал при высоте более 500 м	0,15	0,0018
Карпаты	0,15	0,0045
Алтай при высоте до 1000 м	0,25	0,0025
Алтай при высоте 1000 … 2000 м	0,15	0,0015
Алтай при высоте более 2000 м	0,15	0,0010
Камчатка	0,15	0,0020
Северный Сахалин	0,15	0,0014
Южный Сахалин	0,15	0,0020

Таблица 3.5.

Коэффициент δ_1, учитывающий озерность бассейна

Процент озер	Коэффициент
2… 5	0,90
5… 10	0,80
10… 15	0,75
более 15	0,70

Таблица 3.6.

Определение коэффициентам δ_2

Целая часть числа β	Десятые доли числа β				
	0	2	4	6	8
	Коэффициент δ_2				
1	1	0,94	0,88	0,84	0,80
2	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64
3	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54
4	0,52	0,50	0,48	0,47	0,46
5	0,44	0,43	0,42	0,40	0,39
6	0,38	0,37	0,36	0,34	0,33
7	0,32	0,31	0,30	0,30	0,29

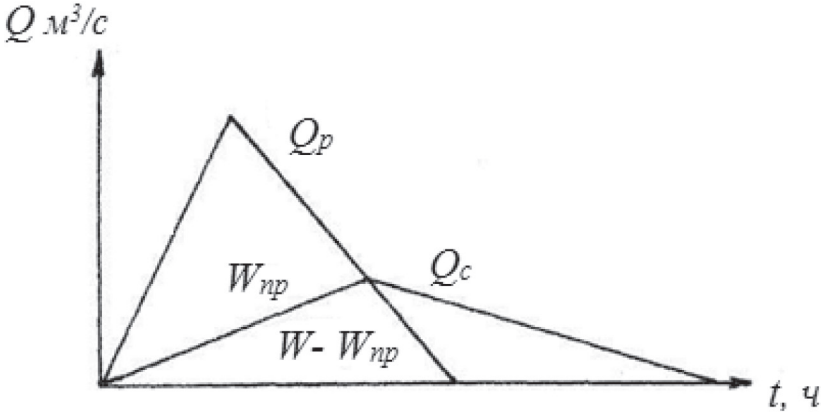


Рис. 3.3. Трансформация графика притока воды к сооружению из-за аккумуляции

Аккумуляция воды учитывается только для пропуска ливневого стока в случае, если $Q_л > Q_т$, так как пропуск паводка от таяния снега всегда растянут по времени.

Накопленная вода в виде пруда пройдет через отверстие сооружения, когда ливень уменьшится или прекратится.

Аккумуляцию стока учитывают при относительно пологих, развалистых или слабовыраженных логах периодических водотоков с продольным уклоном $i < 5‰$, если это не вызовет затопления ценных земель, населенных пунктов и т.п.

Аккумуляцию стока не учитывают при наличии вечномерзлых грунтов; при крутых, узких, ярко выраженных логах с большим уклоном $i > 5‰$, в этом случае объем воды, накопившейся перед сооружением $W_{пр}$, по сравнению с объемом всего паводка W, оказывается незначительным и практически не влияет на работу сооружения); на постоянных водотоках; при расчете средних и больших мостов; в районах с муссонными осадками (Приморье, Дальний Восток, Черноморское побережье Кавказа и т.п.).

Согласно СНиП 2.05.03–84 [9] для малых мостов и труб допускается снижение сбросных расходов не более чем в 3 раза, т.е. $3\,Q_с \le Q_л$.

Если принять, что склоны бассейна имеют однообразные уклоны и могут быть представлены в виде двух плоскостей, пересекающихся по линии лога, то объем пруда перед сооружением $W_{пр}$ в м можно записать так

$$W_{пр} = \frac{m_1 + m_2}{6 \times i_л} \times H_{пр}{}^3, \qquad 3.9$$

где m_1 и m_2 – коэффициенты заложения склонов лога у сооружения;

$H_{пр}$ – глубина воды (высота подпора) перед сооружением, м.

Согласно рис. 3.1

$$m_1 = \frac{l_1}{H_Б + H_Г} \text{ и } m_1 = \frac{l_2}{H_Б + H_E}, \qquad 3.10$$

где $H_Б$, $H_Г$, H_E – соответственно отметки точек *Б*, *Г* и *Е*;

l_1 и l_2 – расстояния между точками.

Высотой подпора воды H задаются по карте в горизонталях, исходя из возможного затопления. При выполнении расчетных работ студентами величину H в м можно вычислить

$$H = 1{,}45\frac{V^2{}_0}{g}, \qquad 3.11$$

где V_o – допустимая скорость воды в естественном русле или для принятого типа укрепления, м/с (табл. 3.7);

g – ускорение свободного падения, g=9,81 м/с^2.

Объем полного стока от ливневого паводка W в м^3

$$W = 6000\frac{F \times \alpha \times \ \times a_r}{\sqrt{k_Г}}, \qquad 3.12$$

Определяется сбросный расход Q_c в м^3/с

$$Q_c = Q_л \times (1 - \frac{W_{пр}}{07 \times W}), \qquad 3.13$$

Формула 3.12 справедлива для соотношения – от 1 до 0,33, что обычно и наблюдается.

За расчетный расход воды Q_p принимается

$$Q_p = max(Q_c; Q_m). \quad 3.14$$

Если же имеет место $Q_л \le Q_m$, то

$$Q_p = max(Q_л; Q_m) \quad 3.15$$

3.2.5. Гидравлический расчет водопропускных труб

На лесных автомобильных дорогах строят в основном трубы. При их устройстве не создаются изломы в плане и профиле дороги, не прерывается и не изменяется тип покрытия. В практике проектирования лесных дорог постоянного действия, при сроке службы более 10 лет, трубы выбирают, как правило, при расходах до 20 м^3/с.

Устройство мостов усложняет проектирование и строительство дорог в плане и профиле. Типы покрытий проезжей части дороги и мостов обычно различные. Стоимость строительства и эксплуатации мостов дороже, чем труб.

Пропускная способность труб зависит от подпора воды перед трубой, величины отверстия, количества очков (труб), типа входного оголовка. Пропускная способность труб зависит также от режима протекания:

- безнапорный, когда входное сечение не затоплено и на всем протяжении трубы поток имеет свободную поверхность;
- полунапорный, когда входное сечение затоплено, т.е. на входе труба работает полным сечением, а на остальном протяжении поток имеет свободную поверхность;
- напорный, когда входное сечение трубы затоплено и на большей своей части труба работает полным сечением.

Расчет пропускной способности труб при различных режимах протекания воды изложен в учебниках [1, 2].

На лесных дорогах применяют в основном трубы при безнапорном режиме протекания воды. Такие трубы работают в более благоприятных условиях и через них могут проплывать мелкие предметы.

Трубы строят типовые, для которых составлены таблицы гидравлических характеристик (табл. 3.8 и 3.9). Подбор одно- или многоочковой трубы выполняют по указанным таблицам, зная расчетный расход Q_p.

Для выбранной трубы выписывают размер отверстия, количество очков, расход воды, глубину воды перед трубой и скорость на выходе из трубы.

При проектировании нетиповых труб расчет их производят но формулам, приведенным в учебниках [1, 2] в разделе водопропускных сооружений.

Минимальная высота насыпи H_m над трубой, в м для безнапорных труб

$$H_T = h_m + t + H_{min}, \qquad 3.15$$

где h_m – отверстие (диаметр) трубы, м;

t – толщина стенки трубы, м;

H_{min} – минимальная высота насыпи над трубой, м (для безнапорных труб

H_{min} = 0,50 м).

Таблица 3.7.

Допускаемые скорости течения воды в естественных руслах и при различных типах укрепления

Грунт или тип укрепления	Допускаемая скорость, м/с, при средней глубине потока, м			
	0,40	1,00	2,00	3,00
1	2	3	4	5
Пыль, ил	0,15…0,20	0,20…0,30	0,25…0,40	0,30…0,45
Супесь	0,15…0,60	0,25…0,60	0,30…0,70	0,40…0,80
Песок	0,20…0,65	0,30…0,75	0,40…0,80	0,50…0,90
Глина, суглинок	0,35….1,00	0,40…1,20	0,45…1,40	0,50…1,50
Гравий	0,50…1,00	0,60…1,20,	0,70…1,35	0,75…1,50
Булыжник	2,00…3,50	2,40…3,80	2,75…4,30	3,10…4,65
Одерновка плашмя	0,90	1,20	1,30	1,40
Одерновка в стенку	1,50	1,80	2,00	2,20
Каменная наброска	3,00	3,50	4,00	4,50

Продолжение табл. 3.7.

Одиночное мощение на мху (слой не менее 5 см):				
из булыжника размером 15	2,00	2,50	3,00	3,50
см то же 20 см	2,50	3,00	3,50	4,00
то же 25 см	3,00	3,50	4,00	4,50
Одиночное мощение на щебне (слой не менее 10 см):				
из рваного камня размером				
15 см	2,50	3,00	3,50	4,00
то же 20 см	3,00	3,50	4,00	4,50
то же 25 см	3,50	4,00	4,50	5,00
Одиночное мощение с подбором лица и грубом приколе на щебне (слой не менее 10 см):				
из камней размером 20 см	3,50	4,50	5,00	5,50
то же 25 см	4,00	4,50	5,50	5,50
то же 30 см	4,00	5,00	6,00	6,00
Одиночное мощение на цементном растворе:				
из рваного камня размером				
15см	3,10	3,70	4,40	5,00
то же 20 см	3,70	4,40	5,00	5,50
то же 25 см	4,40	5,00	5,60	6,20
Двойное мощение из рваного камня на щебне (слой не менее 10 см): нижний слой –				
из камней 15 см, верхний –				
из камней 20 см	3,50	4,50	5,00	5,50
Хворостяная выстилка и хворостяные покрывала на плотном основании для временных укреплений при				
толщине выстилки 20…25 см	-	2,00	2,50	-
Фашинные тюфяки при				
толщине 50 см	2,50	3,00	3,50	-
Габионы (размерами				
не менее 0,5 х 0,5 х 1,0 м)	До 4,00	До 5,00	До 5,50	До 6,00
Бутовая кладка из камня:				
известняковых пород	3,00	3,50	4,00	4,50
крепких пород	6,50	8,00	10,0	12,00
Бутовая кладка из камня:				
известняковых пород	3,00	3,50	4,00	4,50
крепких пород	6,50	8,00	10,0	12,00

Окончание табл. 3.7.

Укрепление бетонными плитами	3,00	3,50	4,00	4,50
Бетон как одежда для креплений	6,00	7,00	8,00	9,00
Бетонные лотки с гладкой поверхностью	12	14	16	18
Деревянные лотки гладкие при надежном основании и течении вдоль волокон	8	10	12	14

Примечания:

1. Значения скоростей не следует интерполировать. При промежуточных глубинах скорости принимаются по глубинам, ближайшим к натурным.

2. Значения допускаемых скоростей течения при глубинах водотока больших 3 м (в случае отсутствия специальных исследований и расчетов) принимаются по их значениям для глубины 3 м.

Таблица 3.8.

Гидравлические характеристики типовых круглых труб (безнапорный режим)

Диаметр отверстия, м	Расход, м	Глубина воды перед трубой, м	Скорость на выходе из трубы, м	Диаметр отверстия, м	Расход, м	Глубина воды перед трубой, м/с	Скорость на выходе из трубы, м/с
Портальный оголовок							
0,75	0,20	0,41	1,40	0,75	0,60	0,79	2,00
	0,40	0,62	1,70		0,74	0,90	2,20
Раструбный оголовок с нормальным входным звеном							
	0,60	0,68	2,10	1,00	1,20	1,05	2,60
1,00	0,80	0,81	2,30		1,40	1,16	2,80
	1,00	0,93	2,40				
Раструбный оголовок с коническим входным звеном							
	0,80	0,57	1,40	1,50	4,25	1,63	3,50
	1,00	0,84	2,40		4,70	1,75	3,70
1,00	1,40	1,03	2,70		5,00	1,81	3,70
	1,65	1,14	2,90		6,00	2,08	4,10
	2,00	1,31	3,30	2,00	4,50	1,47	3,20
	2,20	1,39	3,40		5,00	1,55	3,30
	1,00	0,77	2,20		5,50	1,65	3,40
	1,50	0,95	2,50		6,00	1,73	3,50
	2,00	1,13	2,70		6,50	1,81	3,60

Окончание табл. 3.8.

1,25	2,50	1,29	3,00		7,00	1,90	3,70
	2,70	1,37	3,20		7,50	1,98	3,80
	3,00	1,46	3,30		8,00	2,06	3,90
	3,50	1,61	3,50		8,50	2,14	4,00
	3,90	1,74	3,80		9,00	2,22	4,10
	2,50	1,19	2,90		9,50	2,31	4,20
	2,80	1,27	3,00		10,00	2,38	4,30
1,50	3,00	1,32	3,00		10,50	2,46	4,30
	3,50	1,45	3,20		11,00	2,54	4,50
	3,90	1,54	3,30		12,50	2,78	4,80

Таблица 3.9.

Гидравлические характеристики типовых прямоугольных труб (безнапорный режим)

Отверстие трубы, м				Глубина воды перед трубой, м	Скорость на выходе из трубы, м/с
2,00 х 2,00	2,50 х 2,00	3,00 х 2,50	4,00 х 2,50		
Расход, м^3/с					
1,00	1,25	1,50	2,00	0,45	1,80
2,00	2,50	3,00	4,00	0,71	2,30
3,00	3,75	4,50	6,00	0,94	2,70
4,00	5,00	6,00	8,00	1,13	2,90
5,00	6,25	7,50	10,00	1,32	3,20
6,00	7,50	9,00	12,00	1,48	3,40
7,00	8,75	10,50	14,00	1,66	3,50
8,00	10,00	12,00	16,00	1,82	3,90
9,00	11,25	13,50	18,00	1,97	4,10
10,00	12,50	15,00	20,00	2,11	4,20
11,00	13,75	16,50	22,00	2,27	4,40
12,00	15,75	18,90	25,20	2,49	4,60
14,00	17,50	21,00	28,00	2,65	4,70
15,00	18,75	22,50	30,00	2,77	4,80

Примечание. В размерах отверстия трубы первое число – величина отверстия, второе число – высота трубы.

Толщина стенки звена круглых железобетонных труб при диаметре отверстия:

d = 0,75 м t =0,10...0,12 м;

d = 1,00 м t = 0,12...0,14 м;

d = 1,25 м t = 0,14...0,18 м;
d = 1,50 м t = 0,16...0,22 м;
d = 2,00 м t = 0,20...0,24 м.

Толщина ригеля (верхней плиты) прямоугольных труб при величине отверстия:

h_T = 1,00 м t =0,10 м;
h_T = 2,00 м t = 0,17...0,32 м;
h_T = 2,50 м t = 0,20...0,37 м;
h_T = 3,00 м t = 0,22...0,38 м;
h_T = 4,00 м t = 0,28...0,40 м.

Длина трубы L_m, в м

$$L_T = [B + 2 \times (H_T - h_T) \times m + 2 \times L_O] \times \frac{1}{Sin\alpha}, \qquad 3.16$$

где B – ширина земляного полотна, м;

m – коэффициент заложения откосов насыпи;

L_o – длина оголовка, м;

a – угол между осями трубы и дороги, град.

Длину трубы без оголовков принимают с учетом укладки целого числа звеньев. Минимальная длина звена круглых труб 1,00 м. При укладке могут быть использованы звенья длиной: при диаметре 0,50 и 0,75 м – до 3,00 м; при диаметре 1,00 и 1,50 м – до 2,00 м.

Длина оголовков круглых труб;

порталных L_o = 0,35...0,50 м при d = 0,50...0,75 м;

раструбных L_o =1,78…3,66 м при d = 1,00...2,00 м.

Длина оголовков прямоугольных труб;

при h_T = 2...4 м соответственно L_o = 3,83 м.

Некоторые типы оголовков водопропускных труб представлены на рис. 3.4. Большинство труб, главным образом круглых малых диаметров (0,50 и 0,75 м), имеют оголовки портального типа, представляющие собой вертикальную стенку, обсыпанную с обеих сторон от отверстия конусами, сопрягающимися с откосами насыпи (рис. 3.4, а). Их применение ограничивается возможностью размыва конусов.

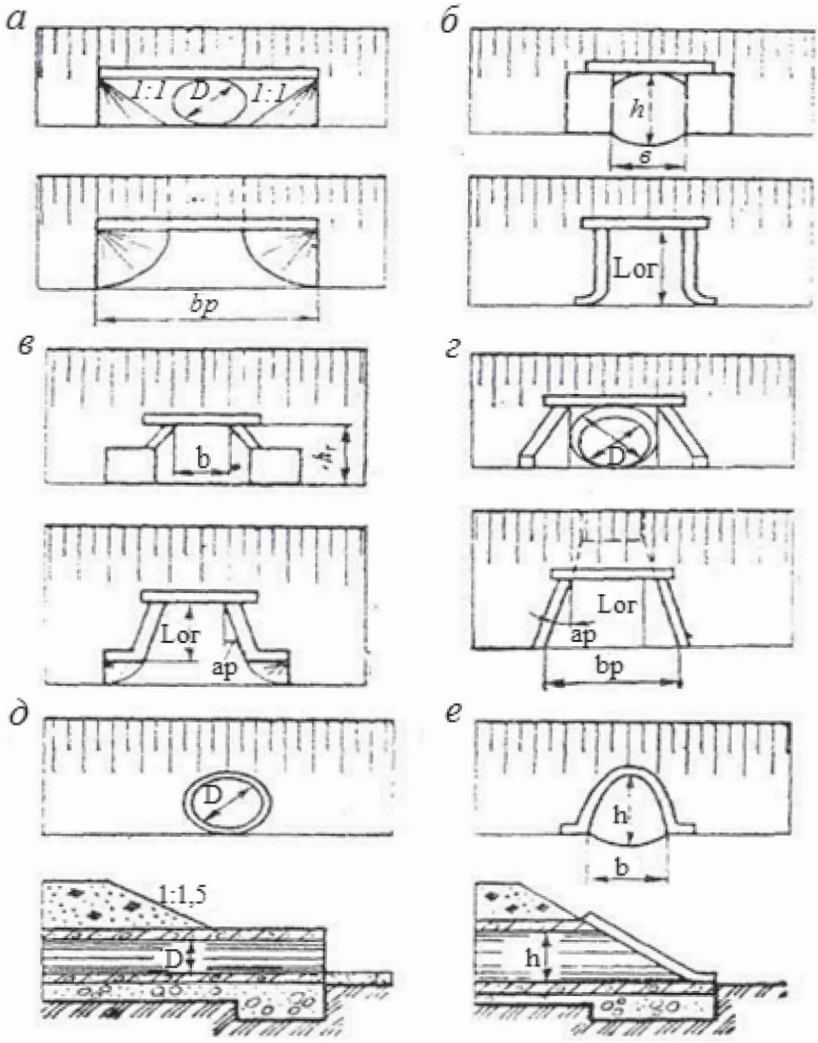


Рис. 3.4. Формы и типы оголовков водопропускных труб (*а-г* – фасад и план; *д-е* – фасад и продольный разрез): *а* – круглой с портальным оголовком; *б* – с вертикальными стенками и коридорным оголовком; *в* – прямоугольной с раструбным оголовком и обратными стенками; *г* – круглой с коническим звеном и раструбным оголовком; *д* – круглой безголовочной; *е* – овоидальной с воротниковым оголовком

Значительное распространение получили раструбные оголовки, представляющие собой обычно вертикальные стенки, срезанные параллельно откосу насыпи (рис. 3.4, б). Угол сходимости стенок варьируют от 4 до 22°. Наименьшую длину имеют оголовки с короткими высокими раструбами (рис. 3.4, в), а наибольшую – до подошвы насыпи – оголовки без обратных стенок (рис. 3.4, г).

Коридорные оголовки (рис. 3.4, б) применяли в прежние годы для размещения кривой спада в пределах оголовка и понижения глубины на входе в трубу. Это обеспечивало возможность применения для тех же гидравлических условий труб меньшей высоты. Однако последующие исследования показали ухудшение гидравлических условий труб с данным типом оголовков по сравнению с раструбными, а также значительный перерасход материалов на их сооружение. В связи с этим коридорные оголовки в настоящее время не применяют.

Некоторое распространение получили трубы с воротниковыми оголовками, представляющими собой срез круглой трубы параллельно откосу насыпи, окаймленный по контуру выступающей из насыпи части воротником.

Широкое применение обычно находят круглые трубы так называемые безоголовочные, характеризуемые вертикальным срезом трубы у подошвы насыпи (рис. 3.4, д).

3.2.3. Гидравлический расчет малых мостов

На лесных дорогах в основном строят малые мосты длиной до 25 м, средние длиной 25...100 м и редко – большие мосты длиной более 100 м. Малые мосты в основном имеют балочную конструкцию. В зависимости от грунтовых условий опоры мостов могут быть свайные, рамно-лежневые и ряжевые. Там, где можно забить сваи, предпочтение отдают свайным опорам. Материалом для малых мостов в основном служит древесина. Если древесину хорошо обработать антисептиком, то мост может служить до 50 лет.

По конструкции береговых опор мосты разделяют на мосты с заборными стенками (рис. 3.5, *а*) и мосты с конусами (рис. 3.5, *б*). Мосты могут быть однопролетными и многопролетными. Обычно пролет деревянного моста с одноярусными прогонами (балками) принимают не более 5,5 м, с двухъярусными прогонами – до 8,5 м. Нередко деревянные прогоны заменяют стальными прокатными профилями, и в этом случае пролет определяют прочностным расчетом.

Гидравлический расчет моста имеет целью определить отверстие моста *Ь,* его высоту $H_{ы}$ и длину $L_{М}$. Отверстие моста может быть рассчитано по схеме свободного истечения или по схеме затопленного водослива (рис. 6.6, *в, г*). Для выбора расчетной схемы сначала необходимо определить бытовую глубину потока $A_{б}$ при расчетном расходе и критическую глубину /$г_{кр}$, зависящую от вида, укрепления русла.

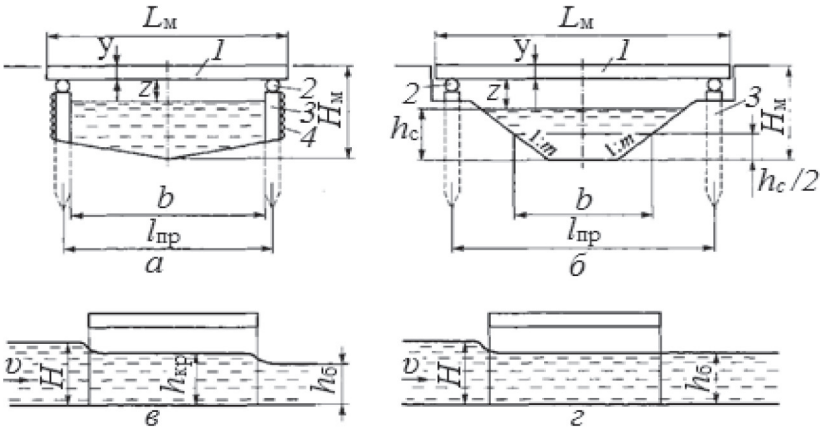


Рис. 3.5. Конструктивные и расчетные схемы малых деревянных балочных мостов: *а* – мост с заборной стенкой; *б* – мост с конусами; *в* – протекание воды под мостом по схеме свободного истечения (незатопленный водослив); *г* – то же, по схеме несвободного истечения (затопленный водослив): 1 – пролетное строение; 2 – насадка; 3 – сваи; 4 – заборная стенка; *b* – размер отверстия моста; $l_{пр}$ – пролет моста; $L_{м}$ – длина моста; $H_{м}$ – высота моста; *H* – напор воды перед мостом; $h_{кр}$ – критическая глубина; $h_{б}$ – бытовая глубина; $h_{с}$ – глубина стока; *z* – просвет между уровнем воды под мостом и низом пролетного строения; *y* – конструктивная высота пролетного строения

Бытовую глубину определяют методом подбора. Для этого задаются глубиной потока, определяют площадь с живого сечения и вычисляют скорость течения, м/с, по формуле Шези:

$$\vartheta_б = C_б\sqrt{R_б i_л} \quad 3.17$$

где – гидравлический радиус потока в бытовых условиях, м; $R_б = \varpi/p$;

p – смоченный периметр, м; $i_л$ – уклон лога в месте перехода, ‰;

$C_б$ – скоростной множитель, $\sqrt{м/с^2}$, $C_б = R_б^y/n$; n – коэффициент шероховатости (для обычных естественных земляных русел n = 0,04; извилистых и заросших – n = 0,055...0,067); y – показатель степени (при $R_б \leq 1{,}0$ м $y = 1{,}5\sqrt{n}$, а при $R_б \geq 1{,}0$ м $y = 1{,}3\sqrt{n}$).

Далее вычисляют бытовой расход по формуле

$$Q_б^1 = \varpi^1\vartheta_б = \varpi^1 C_б^1\sqrt{R_б i_л} \quad 3.18$$

Разница между $Q_б^1$ и Q_p не должна превышать 10%. В противном случае задаются другой глубиной потока.

Критическую глубину вычисляют по формуле

$$h_{кр} = \vartheta_c^2/g \quad 3.19$$

где ϑ_c – скорость течения воды в сооружении, зависящая от вида укрепления русла, м/с (табл. 3.10).

Если $h_б < 1{,}3h_{кр}$, то расчет отверстия моста ведут по схеме свободного истечения, если же $h_б \geq 1{,}3h_{кр}$, то рассчитывают по схеме затопленного водослива. Далее рассчитывают напор воды перед сооружением H и отверстие моста b:

для свободного истечения

$$H = 1{,}4\vartheta_c^2/g; \quad 3.20$$

$$b = Q_p/(1{,}33\sqrt{H^3}); \quad 3.21$$

для несвободного истечения

$$H = h_б + \vartheta_c^2/(2g\varphi^2); \quad 3.22$$

$$b = Q_p/(h_б\vartheta_c). \quad 3.23$$

Минимальную высоту моста $H_м$ определяют по формуле

$$H_м = 0{,}88H + z + y, \quad 3.24$$

где H – напор воды перед мостом, м; z – просвет между уровнем воды под мостом и низом пролетного строения (z ≥ 0,25 м); y –

конструктивная высота пролетного строения пролетного строения, y = 0,3...0,5 м и более.

Таблица 3.10.

Допускаемые скорости течения воды, м/с

Тип укрепления	Средняя глубина потока, м			
	0,2...0,5	1,0	2,0	3,0
Без укрепления:				
супесь	0,3	0,4	0,45	0,5
суглинок	0,7	0,85	0,95	1,1
Одерновка:				
плашмя	0,9	1,1	0,95	1,1
в стенку	1,5	1,8	1,3	1,4
Каменная наброска булыжника с галькой	2,0	2,4	2,8	3,1
Грунты, укрепленные битумом	2,3	2,7	3,0	3,3
Одиночное мощение на щебне	2,5	3,0	3,5	4,0
Двойное мощение	3,5	4,5	5,0	5,5
Бетон класса В20	6,0	7,0	8,0	9,0

Длину моста определяют по формулам:

при опорах с заборными стенками (см. рис. 3.5, *а)*

$$L_{\text{м}} = \sum l_{\text{пр}} + 2_q, \qquad 3.25$$

где $\Sigma l_{\text{пр}}$ – сумма пролетов моста, м; q – строительный размер (q = 0,25...0,5 м);

при береговых опорах с конусами (см. рис. 3.5, *б*)

$$L_{\text{м}} = b + \sum d + 2_m(H_{\text{м}} - 0{,}5h_c) + 2q_1, \qquad 3.26$$

где b – отверстие моста, м; – суммарная ширина промежуточных опор, м;

m – коэффициент крутизны откосов конусов; q_1 – строительный размер (q_1 = 0,5...0,7 м – для деревянных мостов; q_1 = 0,32...0,5 – для железобетонных мостов).

Укрепление русел водопропускных сооружений. Необходимость укрепления русел малых водопропускных сооружений на входных и выходных участках вызывается повышенными скоростями водных потоков. Особенно подвержены размыву грунты на выходе воды из сооружения, где скорость потока достигает 5...6 м/с.

Наиболее простой и часто применяемый способ укрепления русла – это каменная наброска из булыжника с галькой. В современных условиях для этой цели используют бетонные плитки размерами 40 х 40, 50 х 50 см.

У труб укрепляют участки русла перед входным и за выходным оголовками. Общая площадь укрепления русла для одной трубы составляет

$$F_{\text{укр}} = b_{\text{вх}} l_{\text{вх}} + b_{\text{вых}} l_{\text{вых}}, \qquad 3.27$$

где $b_{вх}$ и $l_{вх}$ – длина и ширина площади укрепления русла у входного оголовка (для труб диаметром 1...2 м.

$b_{вх}$ = 6,6...9,3 м, $l_{\text{вх}}$ = 2,0...3,5 м); $b_{\text{вых}}$ и $l_{\text{вых}}$ – то же, у выходного оголовка ($b_{вх}$ = 7... 10,5 м, $l_{\text{вх}}$ = 4...6,5 м).

У входного оголовка трубы укрепляют и откос насыпи на высоту $h_{\text{вх}}$ + *0,5* м ($h_{вх}$ – высота входного оголовка, м). У мостов в пределах подтопления укрепляют конуса и откосы насыпей, примыкающие к конусам, на длину 2...3 м и более.

3.2.4. Расчет продольного водоотвода

Боковые канавы устраивают вдоль насыпей высотой до 1 м. В выемках делают кюветы. Поперечный профиль канав и кюветов может быть трапецеидальный или треугольный. Если грунты глинистые или пылеватые, то канавы и кюветы делают трапецеидальные. Треугольные канавы устраивают, если дорога проходит по дренирующим грунтам, глубина их на гравелистых песках и гравии – 0,3 м, на песках, супесях – 0,5 м.

Глубина трапецеидальных канав в насыпях – 0,6 м, в выемках – 0,8 м. Ширина канавы по низу – 0,4 м. Крутизна откосов канав составляет 1 : 3 или 1 : 1,5. Продольный уклон канав и кюветов должен быть не менее 5‰, при меньшем уклоне они заиливаются. При уклоне 5...10‰ канавы и кюветы не укрепляют, при уклоне 10...30‰ дно и откосы укрепляют одерновкой или засевом трав, при уклоне 30...50‰ дно и откосы укрепляют мощением камнем или бетонными плитками, а при уклоне более 50‰ устраивают перепады.

Нагорные канавы служат для сбора поверхностной воды, притекающей с нагорной стороны. Их размеры устанавливаются расчетом. Водоотводные канавы устраивают для отвода воды в сторону от земляного полотна в пониженное место или испарительный бассейн. Боковые резервы для эффективного водоотвода должны иметь уклон в сторону от земляного полотна 20‰ и продольный уклон не менее 5‰.

Чтобы канавы и кюветы не переполнялись водой, ее сбрасывают в сторону не более чем через 500 м при трапецеидальном сечении канав и через 200 м при треугольном сечении. Если отвести воду в сторону от дороги невозможно, то ее пропускают через земляное полотно, сооружая водопропускные трубы или мосты.

Дренажи служат для понижения уровня грунтовых вод, сбора и отвода их и представляют собой траншею, располагаемую обычно под канавами или кюветами. На дно траншеи укладывают керамические или бетонные трубы, в стенках которых для приема воды имеются небольшие отверстия. Вместо труб могут быть использованы камни.

Дамбы предназначены для защиты дорожных сооружений от затопления и размыва во время половодья и представляют собой земляные или каменные валы. Для предотвращения размыва водой земляные дамбы со стороны водного потока укрепляют железобетонными плитами, каменным мощением или каменной наброской.

Расчет канав. Расчет заключается в определении размеров поперечного сечения канав. Расчет начинают с определения площади водосбора. Площадь водосбора разделяют на несколько участков (рис. 3.6, *а)*. Это дает возможность запроектировать размеры канавы в соответствии с расходом воды. Для каждого участка задают размеры канавы и вычисляют расход воды Q и сравнивают его с расчетным расходом Q_1. Различие допускается в пределах 10%. Если эта разница больше, то расчет повторяют, уменьшив или увеличив размеры канавы. Расчеты ведут по формуле Шези

$$Q = \varpi c\sqrt{Ri}. \qquad 3.28$$

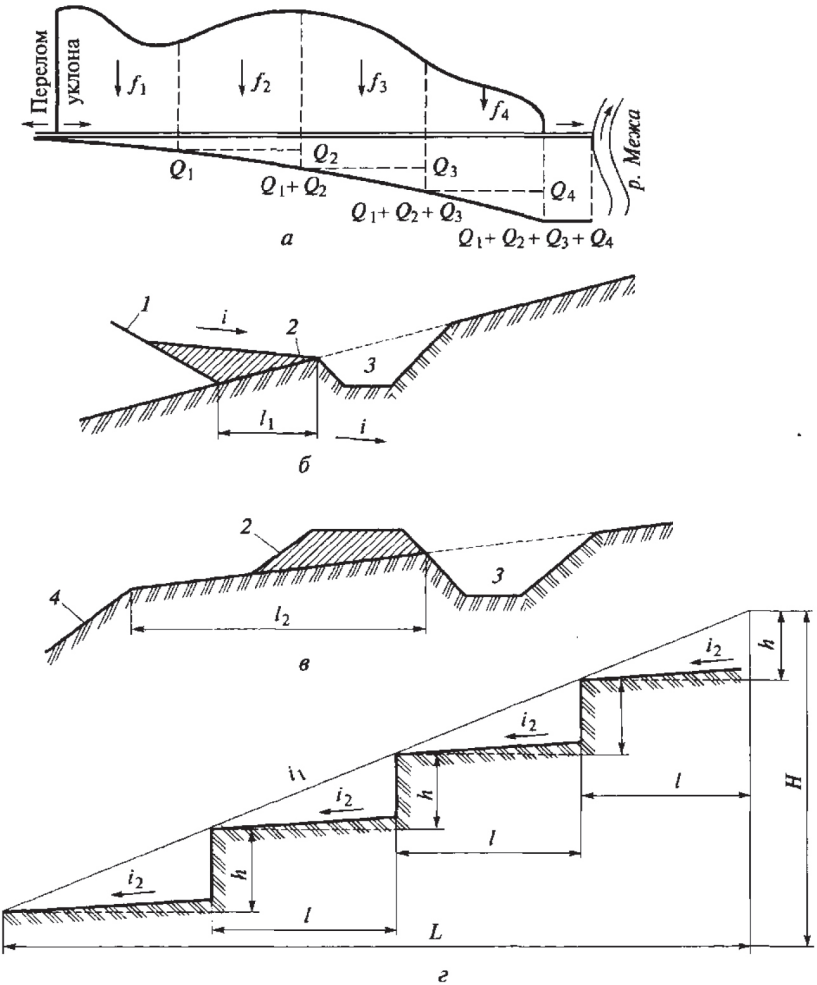


Рис. 3.6. Расчетные схемы для проектирования нагорных канав и перепадов: *а* – определение расчетных расходов для участков нагорной канавы; *б* – размещение боковой канавы насыпи, выполняющей и роль нагорной канавы; *в* – нагорная канава выемки; *г* – ступенчатый продольный профиль канавы; Q_1, Q_2, Q_3,Q_4 – расчетные расходы воды по участкам нагорной канавы; 1 – откос насыпи; 2 – банкет; 3 – нагорная канава; 4 – откос выемки; i – уклон поверхности банкета, i = 20‰; l_i – расстояние от подошвы насыпи до бровки канавы, $l_1 > 2$ м; l_2 – расстояние от подошвы насыпи до бровки выемки, $l_2 \geq 5$ м

Площадь живого сечения трапецеидальной канавы

$$\varpi = bh_1 + mh_1^2, \qquad 3.29$$

где b – ширина канавы по дну, м; h_1 – глубина воды в канаве, равная $h_1 = h - h_з$, здесь $h_з = 0{,}1$ м – запас по глубине, чтобы не допустить переполнение канавы; m – коэффициент крутизны откоса канавы.

Гидравлический радиус $R = \varpi/p$, где p – смоченный периметр, м,

$$p = b + 2\sqrt{h_1^2 + (mh_1)^2}. \qquad 3.30$$

Продольный уклон канавы $i = (H_н - H_к)/L$, где $H_н$ *и* $H_к$ – начальная и конечная отметки участка канавы, м; L – длина участка, м.

Перепады устраивают при продольном уклоне канав и кюветов более 50‰. Дну канав придают ступенчатый профиль (рис. 3.6, *г*).

Устраивают ступени (перепады) из железобетонных элементов, кряжей, отрезков горбылей, плетней, камней. При высоте перепада более 0,2 м участок ступени после перепада на длину 1...1,2 м укрепляют щебнем, бетонными плитками, мощением камнем.

Расчет канавы с перепадами состоит в определении числа перепадов (ступеней) n и длины ступени l. Расчет ведут по формулам

$$n = L(i_1 - i_2)/h;\ l = L/n; \qquad 3.31$$

где L – длина канавы с перепадами, м; i_1, – продольный уклон канавы, доли единицы; i_2 – уклон ступени перепада, $i_2 = 0{,}02...0{,}025$; h – высота ступени, м; l – длина ступени, м.

Расчет дренажа. Для понижения уровня грунтовых вод при устройстве различных площадок и строительстве лесовозных дорог целесообразно применять дренажи. При устройстве площадок обычно устраивают закрытые дренажи, а при строительстве дорог – открытые (рис. 3.7, *а)*. Дренажные канавы рекомендуется прокладывать на расстоянии не ближе 2 м от подошвы насыпи. При устройстве несовершенного дренажа (глубина залегания водоупора больше, чем глубина канавы) дренаж закладывают с обеих сторон дороги. Устройство дренажа вызовет понижение уровня грунтовых вод (УГВ) в виде кривой депрессии (рис. 3.7, *б)*. Кривая депрессии представляет собой параболу второй степени

$$y = H\sqrt{x/R}, \qquad 3.32$$

где H – понижение УГВ у канавы, м; R – радиус действия дрены, м, $R = H/\mathrm{tg}a$, где a – угол депрессии, т.е. угол наклона хорды, стягивающей концы кривой депрессии. Зная расстояние между дренами L и принимая $x = 0{,}5L$, получим

$$s = H(1 - \sqrt{L/(2R)}), \qquad 3.33$$

где s – значение понижения УГВ на оси дороги, м.

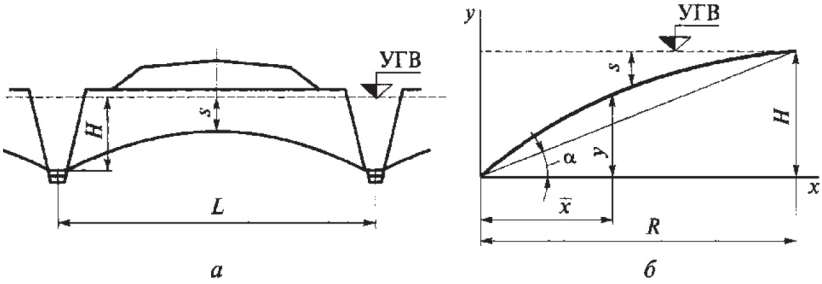


Рис. 3.7. Схема для расчета дренажа:
а – схема расчета глубины осушительной канавы; *б* – кривая депрессии; H – понижение УГВ у канавы (дрены); L – расстояние между дренами; s – понижение УГВ на оси дороги; x, y – координаты кривой депрессии; a – угол кривой депрессии; R – радиус действия дрены

Таблица 3.11.

Значения тангенсов углов депрессии и коэффициента фильтрации грунтов

Вид грунта	Тангенс угла депрессии a	Коэффициент фильтрации $к$
Торф	10…70	10^{-3}... 10^{-4}
Глина	50... 100	10^{-7}
Суглинок	25…50	10^{-5}…10^{-7}
Супесь	10…25	10^{-4}…10^{-5}

Задавая необходимое значение s, получим

$$(\frac{s}{H})^2 - 2\left(\frac{Ltga}{2s}\right)\frac{s}{H} + 1 = 0 \qquad 3.34$$

Решая полученное уравнение, можно определить необходимую глубину канавы.

При проектировании закрытого дренажа диаметр трубы находят из равенства количества притекающей воды и расхода трубы

$$khi_{\text{в.сл}}l = 24d^{8/3}\sqrt{i_{\text{др}}}, \qquad 3.35$$

где $к$ – коэффициент фильтрации грунта, определяемый по табл. 3.11;

h – глубина воды в слое, м; $i_{в.сл}$ – уклон водоносного слоя, доли единицы;

l –длина дрены, м; d – диаметр трубы, м; $l_{др}$ – уклон дрены, отн. ед.

Значение необходимого уклона $i_{др}$ определяют, задаваясь скоростью течения воды в трубе, по формуле

$$i_{др} = \frac{\vartheta^2_{доп}}{30{,}4^2 d^{\frac{4}{3}}} = \vartheta^2_{доп}/(924d^{4/3}) \qquad 3.36$$

Ориентировочные значения тангенса угла депрессии и коэффициента фильтрации можно принять по табл. 3.11.

3.2.5. Расположение искусственных сооружений в плане и продольном профиле дороги

Водопропускные трубы можно располагать на любых сочетаниях плана и продольного профиля, предусмотренных нормами проектирования дороги.

Мостовой переход следует намечать на прямом участке реки в наиболее узкой части поймы, не имеющей озер и староречий, нормально к основной массе воды во время паводка.

Мосты надо располагать на прямых участках дороги и продольных уклонах не более 30‰. В стесненных условиях допускается располагать деревянные однопролетные мосты на кривых и уклонах, принятых для дороги.

При нанесении проектной линии в местах размещения труб рабочая отметка должна быть не менее H_m.

Глава IV

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ

4.1. Общие принципы проектирования продольного профиля

Продольные профили дороги вычерчивают на миллиметровой бумаге шириной 297 мм.

Для сравнения и выбора лучшего варианта дороги вычерчивают сокращенные продольные профили на всю длину трасс. Горизонтальный масштаб профиля принимают равным масштабу карты, а вертикальный – 1 : 1000. В сокращенных продольных профилях вертикальные кривые не проектируют и объем под профильных данных сокращен по сравнению с нормальным профилем: даются только проектные уклоны и отметки, отметки земли по оси дороги, план трассы и километры.

Нормальный продольный профиль вычерчивают в масштабе: горизонтальный 1 : 5000 и вертикальный 1 : 500. Образец продольного профиля лесовозной автодороги приведен на рис. 4.12.

При проектировании продольных профилей необходимо руководствоваться техническими условиями, внесенными в табл. 1.4.

Построение профиля начинают с разбивки сетки и вычерчивания профиля поверхности земли по оси дороги. С этой целью расстояния по трассе между горизонталями и характерными точ-

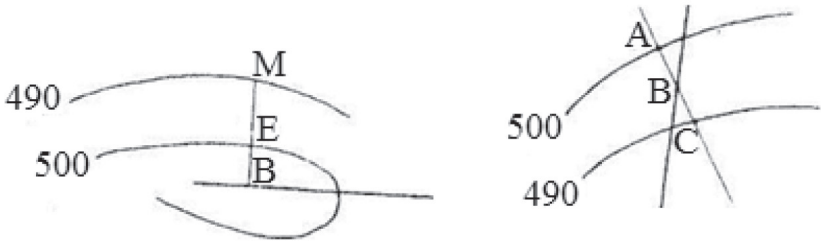
ками переносят на профиль. Одновременно с этим в соответствующую графу записывают отметки земли по оси дороги. Отметки земли в местах пересечения трассы с горизонталями соответствуют отметкам горизонталей. Отметки поверхности земли в точках, не лежащих на горизонталях, определяют методом интерполяции или экстраполяции (рис. 4.1б). В первом случае отметку земли в точке В определяют по формуле

$$H_B = H_C + \frac{BC}{AC} \times (H_A - H_C). \qquad 4.1$$

При определении высоты точки поверхности земли, находящейся в пределах замкнутой или полузамкнутой горизонтали (рис. 4.1а), применяют метод экстраполяции. В этом случае отметку земли в точке В определяют по формуле

$$H_B = H_E + \frac{BE}{ME} \times (H_E - H_M), \qquad 4.2$$

где H_A, H_B, H_C, H_E, H_M – отметки в точках A, B, C, E, M, м.



а б

Рис. 4.1. Схемы определения отметок земли по оси дороги

Расстояния между точками, в которых определены отметки земли но оси дороги, отмечают в графе «Расстояние».

В местах пересечения рек должны быть предусмотрены деревянные или железобетонные мосты. При пересечении пониженных мест или периодических водотоков необходимо предусмотреть

размещение сборных водопропускных труб железобетонных или из гофрированного металла [4].

Величина насыпи в местах проектирования водопропускных труб рассчитывается с учетом наружного диаметра труб. Проектирование горизонтальных участков в выемках не рекомендуется. Кюветы в выемках, а также боковые канавы и резервы в насыпях должны иметь продольный уклон не менее 5‰.

Задаваясь проектными уклонами, величины которых в большинстве случаев (за исключением мест расположения искусственных сооружений) близки к уклонам поверхности земли по оси дороги, и подбирая длины участков между смежными переломами проектной линии, находят такое ее положение в пространстве, при котором полученные рабочие отметки будут близки к рекомендуемым.

Необходимо помнить, что проектные уклоны в промилях должны быть целыми числами, дробные уклоны не допускаются.

При совпадении участков руководящих уклонов с горизонтальной круговой кривой величину смягчения продольного уклона приближенно можно определить по формуле

$$\Delta i = \frac{820}{R}, \qquad 4.3$$

где Δi – смягчения продольного уклона, ‰;

R – радиус круговой кривой, м.

Предварительно проектную линию наносят в виде ломаной, состоящей из отрезков прямых – проектируют методом тангенсов.

В зависимости от рельефа местности и гидрогеологических условий проектную линию проводят, руководствуясь следующими положениями:

– в равнинной местности на участках свободной проектировки, когда уклоны местности меньше руководящего уклона – по обертывающей линии, в основном в невысоких насыпях;

– в пересеченной местности проектная линия прокладывается по секущей с примерным балансом земли для смежных участков насыпей и выемок. Следует избегать проектирования мокрых

выемок (пересечения выемкой поверхности фунтовых вод) ввиду возможности оплыва откосов и необходимости применения дорогостоящих дренажных работ.

Прокладывать проектную линию на чертеже продольного профиля нужно сообразно с отметками контрольных точек: начальной и конечной точек трассы, пересечения автомобильных и железных дорог в одном уровне, отметок проезжих частей используемых мостов и т.п.

Рекомендуемая высота насыпи в благоприятных условиях (I тип местности по степени увлажнения, грунты дренирующие) может быть принята 0,50…1,00 м. В остальных случаях (недренирующие грунты, II или III тип местности но степени увлажнения) высоту насыпи определяют расчетом.

Рекомендуемую высоту насыпи определяют в зависимости от минимального возвышения поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод – $H_{ПВ}$ и над поверхностью земли – $H_{П}$ рис. 4.2.

Значения $H_{ПВ}$ и $H_{П}$ приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1.

Минимальное возвышение покрытия

Грунт земляного полотна	Минимальное возвышение поверхности покрытия, м	
	II зона	III зона
Песок мелкий, супесь крупная	1,10 / 0,90	0,90 / 0,70
Песок пылеватый, супесь мелкая пылеватая	1,50 / 1,20	1,20 / 1,00
Супесь тяжелая, суглинок тяжелый, глины	2,20 / 1,60	1,80 / 1,40
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий и тяжелый пылеватый	2,40 / 1,80	2,10 / 1,50

Примечание. Числитель – возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод или длительно (более 30 суток) стоящих поверхностных вод; знаменатель – то же над поверхностью земли на участках с необеспеченным поверхностным стоком или над уровнем кратковременно (менее 30 суток) стоящих поверхностных вод.

Из рис. 4.2 видно, что высота насыпи в первом случае

$$H_1 = H_{ПВ} - H_Г - a \times i_0 - h, \qquad 4.4$$

и во втором

$$H_2 = H_П - a \times i_0 - h \qquad 4.5$$

где a – ширина обочины, м;

i_0 – уклон обочины, доли единицы;

h – толщина обочины у бровки (0,050...0,10), м.

Рекомендуемое возвышение бровки земляного полотна

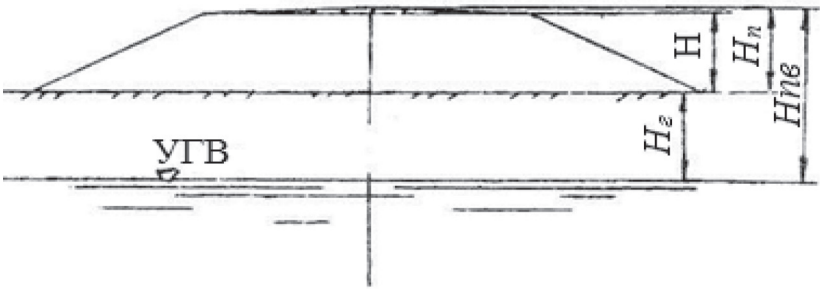


Рис. 4.2. Схема определения высоты насыпи

На открытых местах в снегозаносимых участках бровка земляного полотна должна возвышаться над уровнем снегового покрова не менее 0,60 м для магистралей I – в категории и 0,50 м для остальных дорог.

Однако сначала проектную линию наносят "вчерне" в виде ломаной линии, сообразуясь с рельефом местности и техническими условиями. При этом следят, чтобы последующее изменение рабочих отметок за счет вертикальных кривых не привело к нарушению норм возвышения бровки земляного полотна, т.е. на переломах выпуклых вертикальных кривых нужно создавать запас в сторону увеличения, а вогнутых – в сторону уменьшения рабочих отметок.

При нанесении проектной линии по секущей необходимо определять точки перехода из выемки в насыпь или наоборот – место положения нулевых рабочих отметок (рис. 4.3) и определять ме-

ста выхода на поверхность земли проектной линии с расчетным продольным уклоном (рис. 4.4).

Пикетажное положение нулевой отметки при переходе проектной линии из выемки в насыпь или наоборот определяется по формулам

до левой рабочей отметки

$$X_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \times l, \qquad 4.6$$

до правой рабочей отметки

$$X_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \times l, \qquad 4.7$$

где h_1 и h_2 – ближайшие рабочие отметки слева и справа от нулевой отметки, м;

l – расстояние между отметками h_1 и h_2, м.

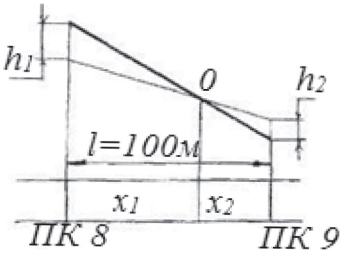


Рис. 4.3. Схема к определению положения места выхода нулевой рабочей

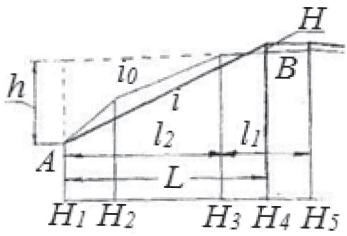


Рис. 4.4. Схема к определению отметки проектной линии с расчетным продольным уклоном

Расстояние до места выхода на поверхность земли проектной линии с расчетным продольным уклоном до рекомендуемой рабочей отметки Н определяется следующим образом. Определяют продольный уклон i_0 поверхности земли на участке, где проектная линия выходит на поверхность (рис. 4.4)

$$i_0 = \frac{H_3 - H}{l_1}. \qquad 4.8$$

Затем вычисляют превышение h на продолжении этого уклона в точке А

$$h = H_3 - l_2 \times i - H_1. \qquad 4.9$$

Длина участка L с расчетным уклоном i составит

$$L = \frac{h + H_4}{i - i_0}. \qquad 4.10$$

В формулах 4.8–4.10

H_1, H_3, H_4 – отметки земли, м;

H – рекомендуемая рабочая отметка, м;

h – превышение, м;

i – продольный уклон проектной линии, доли единицы;

i_0 – продольный уклон земли на участке выхода проектной линии на поверхность, доли единицы;

L, l_1, l_2 – ясно из рис. 4.4.

Переломы проектной линии сопрягают вертикальными кривыми, если алгебраическая разность уклонов равна или превышает предельные значения для данной категории дорога (табл. 1.4).

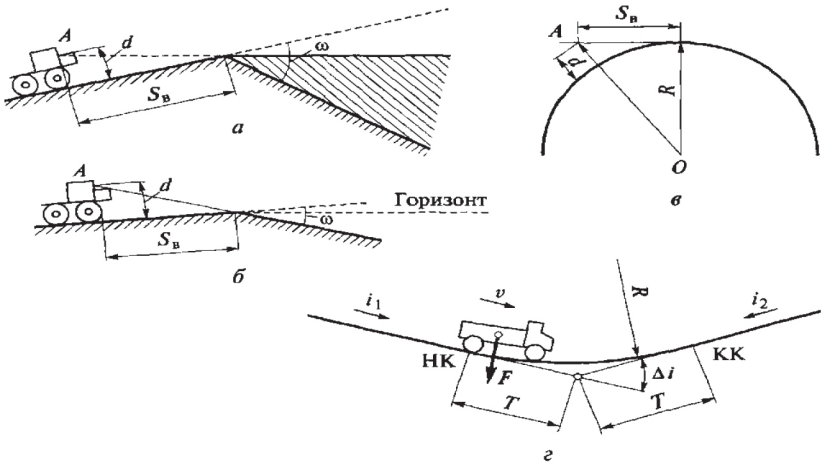


Рис. 4.5. Вертикальные кривые:
а – видимость на переломе профиля не обеспечена; *б* – видимость на переломе профиля обеспечена; *в* – схема к определению радиуса выпуклой кривой, *г* – вогнутая кривая; *А* – положение глаз водителя; *d* – высота глаз водителя над поверхностью дороги; *Sв* – расстояние видимости по требованиям СНиПа; Δ*i* – угол, образованный алгебраической разницей уклонов; i_1 и i_2 – сопрягаемые уклоны; *T* – тангенс вертикальной кривой; *R* – радиус вертикальной кривой

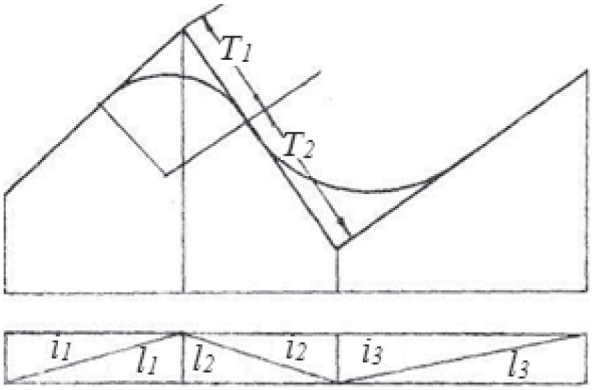


Рис. 4.6. Размещение вертикальных кривых в продольном профиле дороги

Радиус вертикальной кривой назначают с таким расчетом, чтобы длина кривой была не менее 10 м, а минимальное расстояние между смежными переломами проектной линии, необходимое для размещения вертикальных кривых, отвечало бы условию (рис. 4.5)

$$l \geq T_1 + T_2 = R_1 \frac{|i_1 - i_2|}{2000} + R_2 \frac{|i_2 - i_3|}{2000}, \qquad 4.11$$

где l длина элемента продольного профиля, м;

R_1, R_2 – радиусы вертикальных кривых, м;

T_1, T_2 – дорожные тангенсы кривых, м;

i_1, i_2, i_3 – продольные уклоны элементов продольного профиля, сопрягаемых кривыми, ‰.

В формуле (4.11) значения i_1, i_2, i_3, записывают с учетом знака: уклоны на подъемах считают со знаком «+», а на спусках – со знаком «–».

4.2. Аналитический расчет вертикальных кривых

Предварительно проектную линию наносят в виде прямолинейных отрезков. Затем вписывают вертикальные кривые.

Для сопряжения переломов проектной линии используют квадратную параболу с началом координат в вершине кривой, уравнение которой

$$h = \frac{l^2}{2R}. \qquad 4.12$$

Буквенные обозначения ясны из рис. 4.7.

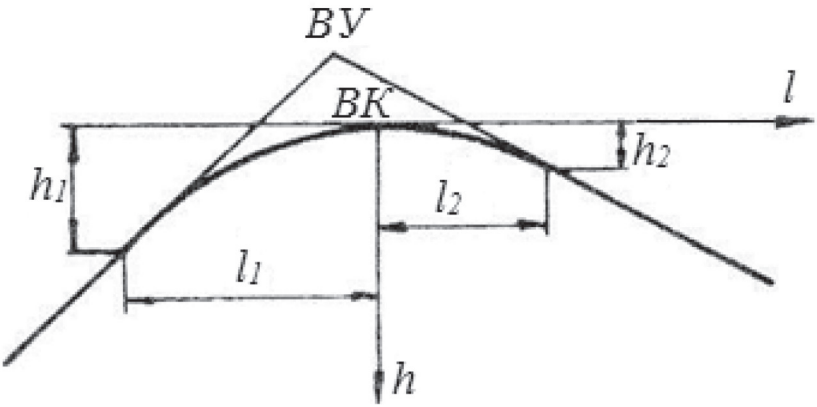


Рис. 4.7. Расчетная схема вертикальной кривой

Элементы вертикальной кривой можно взять из таблицы [12] или определить по формулам.

Длина левой и правой частей кривой (горизонтальные проекции)

$$l_1 = R\frac{i_1}{1000};\ l_2 = R\frac{i_2}{1000};$$
$$h_1 = \frac{l_1^2}{2R};\ h_2 = \frac{l_2^2}{2R}; \qquad 4.13$$
$$K = l_1 + l_2 = R\frac{|i_1 - i_2|}{1000} = R\frac{\Delta i}{1000}.$$

Тангенс кривой

$$T = \frac{K}{2} = R\frac{\Delta i}{2000}. \qquad 4.14$$

Параболу вписывают в переломы сопрягаемых элементов продольного профиля так, чтобы ее ось была строго вертикальна, а участки параболы влево и вправо от ВУ были равными по длине.

Вершина кривой ВК совпадает по вертикали с точкой перелома ВУ, когда сопрягаемые переломы i_1 и i_2 равны по абсолютной величине, но противоположны по знаку. В случае неравенства уклонов i_1 и i_2 по абсолютной величине ВК сдвигается по отношению к КК в сторону с меньшим уклоном.

Проектирование вертикальной кривой производят в следующей последовательности.

1. Назначают радиусы вертикальных кривых и проверяют возможность их вписывания.

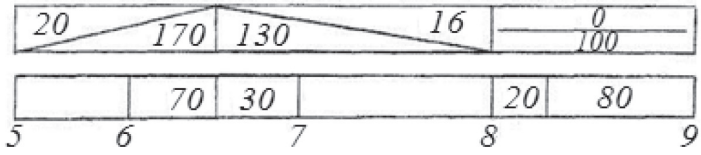
2. Рассчитывают по формулам или определяют по таблицам параметры l_1, l_2, h_1, h_2.

3. Определяют пикетажное значение вершины кривой ВК (рис. 4.8), начала и конца вертикальной кривой.

4. Определяют проектные отметки для основных точек кривой, всех пикетов и плюсов, попавших в пределы кривой.

5. Оформляют вертикальную кривую на чертеже продольного профиля.

Рассмотрим проектирование вертикальных кривых на примере. В результате предварительного проектирования проектной линии дороги I – в категории получены следующие данные:



Проверяем необходимость вписывания вертикальных кривых

на ПК 6 + 70,00 $\Delta i_1 = |(-20) - 16| = 36$ ‰ > 15 ‰

на ПК 8 + 00,00 $\Delta i_2 = |16 + 0| = 16$ ‰ > 15 ‰

Следовательно, вертикальные кривые (выпуклую и вогнутую) необходимо проектировать.

Назначаем радиусы вертикальных кривых согласно нормам проектирования. Радиус выпуклой кривой R_1= 5000 м и вогнутой R_2= 2000 м. Устанавливаем возможность их размещения

$$K_1 = \frac{5000 \times 36}{1000} = 180м > 10\ м;\ K_2 = \frac{2000 \times 16}{1000} = 32м > 10\ м;$$

$$\frac{K_1}{2} + \frac{K_2}{2} = \frac{180}{2} + \frac{32}{2} = 106м < 130\ м.$$

Таким образом, вертикальные кривые с радиусами R_1= 5000м и R_2= 2000 м можно вписать.

Определяем элементы вертикальных кривых.

Выпуклая кривая (схема 1, рис. 4.8)

$$l_1 = \frac{5000 \times 20}{1000} = 100м;\ l_2 = \frac{5000 \times 16}{1000} = 80м;$$

$$h_1 = \frac{100^2}{2 \times 5000} = 1{,}00м;\ h_2 = \frac{80^2}{2 \times 5000} = 0{,}64м;$$

$$K_1 = \frac{5000 \times 36}{1000} = 180м.$$

Определяем пикетажные значения основных точек кривой согласно схеме 1 на рис. 4.8

ПК ВК=ПК 6 +70 – $\frac{100 + 80}{2}$ + 100=ПК 6 + 80,00;

ПК НК=ПК ВК – l_1 =ПК 6 + 80,00 – ПК 1 + 00,00=ПК 5 + 80,00;

ПК КК=ПК ВК – l_2 =ПК 6 + 80,00 + ПК 0 + 80,00=ПК 7 + 60,00.

Находим проектные отметки основных точек кривой и пикетов и плюсов, попавших в пределы кривой (см. рис. 4.8)

НК ПК 5 + 80,00: 127,40 + l × i=127,40 + 80 × 0,02=129,00 м;

ВК ПК 6 + 80,00: 129,00 + h_1=129,00 + 1,00=130,00 м;

КК ПК 7 + 60,00: 130,00 – h_1=129,00 + 0,64=129,36 м.

ПК 6 отстоит от ВК влево на 80 м (ниже ВК)

$$h_{ПК6} = \frac{l^2}{2R} = \frac{80^2}{2 \times 5000} = 0{,}64м.$$

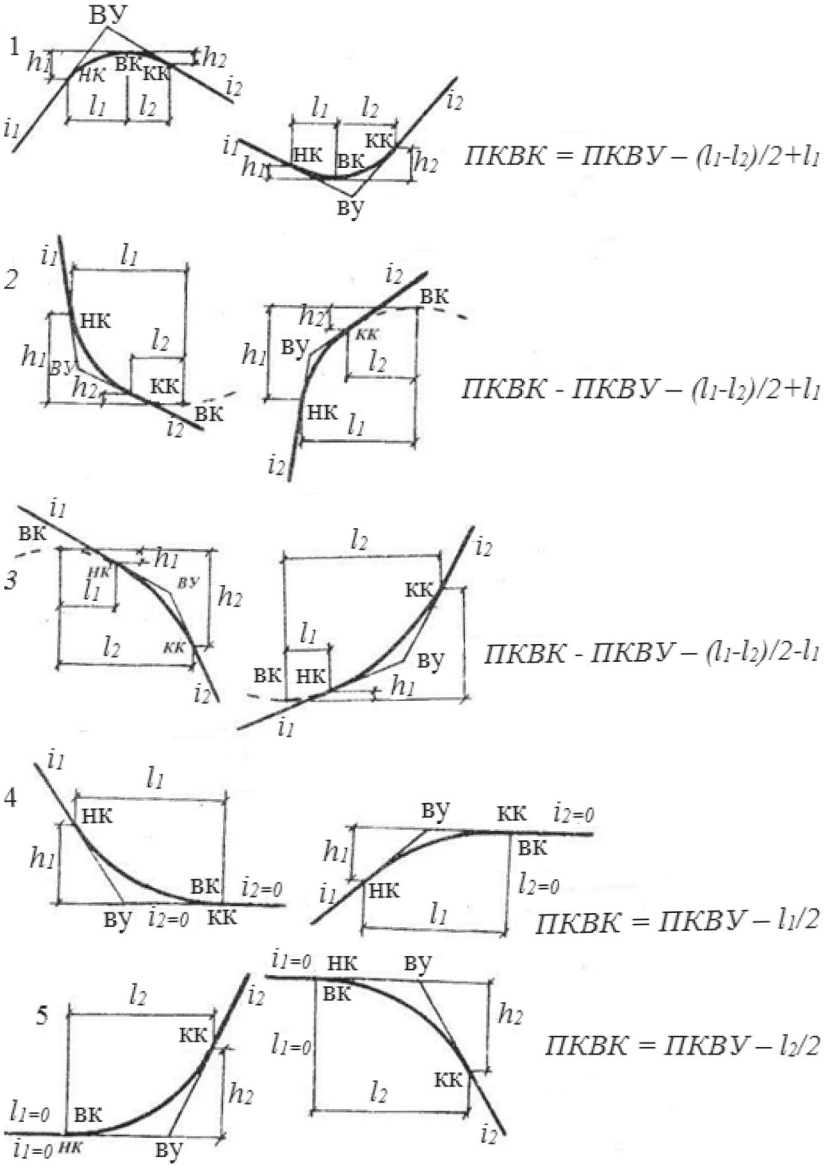


Рис. 4.8. Определение пикетажного значения основных точек вертикальных кривых

Отметка Н на ПК 6

$$H_{ПК6} = H_{ВК} - h_{ПК6} = 130{,}00 - 0{,}64 = 129{,}36м.$$

ПК 6 + 70,00 отстоит от ВК влево на 10 (ниже ВК)

$$h_{ПК6+70} = \frac{l^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \times 5000} = 0{,}01м;$$

$$H_{ПК6+70} = H_{ВК} - h_{ПК6+70} = 130{,}00 - 0{,}01 = 129{,}99м.$$

ПК 7 отстоит от ВК вправо на 20 м (ниже ВК)

$$h_{ПК7} = \frac{l^2}{2R} = \frac{20^2}{2 \times 5000} = 0{,}04м;$$

$$H_{ПК7} = H_{ВК} - h_{ПК7} = 130{,}00 - 0{,}04 = 129{,}96м.$$

Выпуклую вертикальную кривую по лекалу вписывают в проектную линию, рассчитывают рабочие отметки и надписывают над проектной линией (т.к. это земляное полотно в насыпи). Недостающие отметки земли определяют интерполяцией и в скобках проставляют в графе «Отметки земли» (рис. 4.8).

Вогнутая кривая (схема 4 рис. 4.8)

$$l_1 = \frac{2000 \times 16}{1000} = 32м;\ l_2 = 0;$$

$$h_2 = \frac{32^2}{2 \times 2000} = 0{,}26;\ h_2 = 0.$$

Определяем пикетные значения основных точек кривой согласно схеме 4 на рис. 4.8

ПК ВК=ПК 8 + 00,00 $+\frac{32}{2}$ =ПК 8 + 16,00;

ПК НК=ПК ВК – l_1 =ПК 8 + 16,00 – ПК 0 + 32,00=ПК 7 + 84,00;

ПК КК=ПК ВК=ПК 8 + 16,00,

т.к. конец кривой совпадает с вершиной кривой.

Находим проектные отметки основных точек кривой и пикетов и плюсов, попавших в пределы кривой (см. рис. 4.9.)

ВК ПК 8 + 16,00 и КК ПК 8 + 16,00;

128,72 м – отметка определена раньше при предварительном проектировании проектной линии.

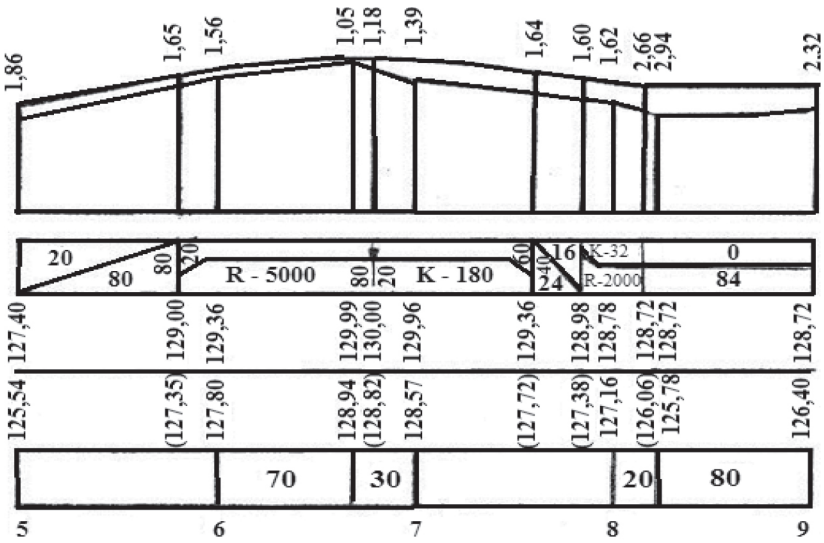


Рис. 4.9. Пример определения отметок точек проектной линии дороги

НК ПК 7 + 84,00: 128,72 + h_1= 128,72 + 0,26 = 128,98 м.

ПК 8 + 00,00 отстоит от ВК влево на 16 м (выше ВК).

$$h_{ПК8} = \frac{l^2}{2R} = \frac{16^2}{2 \times 2000} = 0{,}06 м;$$

$H_{ПК\,8}$=$H_{ПК}$ + $h_{ПК\,8}$=128,72 + 0,06=128,78 м.

ПК 8 + 20,00: 128,72 + h_1= 128,72 + 0,26 = 128,98 м.

Вогнутая вертикальная кривая оформляется на чертеже продольного профиля аналогично тому, как и выпуклая кривая (рис. 4.9).

Таким образом, окончательно проектная линия изображается в виде чередующихся прямых и кривых участков согласно ГОСТ 21.511–83.

4.3. Проектирование вертикальных кривых методом тангенсов

Метод тангенсов используют при проектировании продольного профиля дороги в равнинной местности.

Проектная линия проектируется в виде прямолинейных отрезков. Элементы вертикальных кривых определяют по таблицам или по формулам

$$K = \frac{R \cdot \left| i_1 - i_2 \right|}{1000}; \; T = \frac{K}{2}; \; Б = \frac{T^2}{2R}, \qquad 4.15$$

где K – длина кривой, м;

T – тангенс, м;

$Б$ – биссектриса, м;

i_1, i_2 – профильные смежные уклоны, ‰;

R – радиус вертикальной кривой, м.

Ордината «Y» (поправка проектной отметки) любой промежуточной точки на расстоянии «X» от начала вертикальной кривой (НВК) или от ее конца (КВК) равна

$$Y = \frac{X^2}{2R}. \qquad 4.16$$

Разбивку вертикальной кривой, зная длину кривой К и тангенс Т, начинают с определения пикетажного положения начала и конца кривой. Вертикальную кривую изображают в виде квадратной скобки, направленной выпуклостью вверх или вниз в соответствии с видом вертикальной кривой. Вертикальную кривую располагают выше проектной линии на 3...6 см. Справа от скобки пишут значения радиуса, тангенса и биссектрисы кривой, на концах скобки– плюсы от предыдущего пикета.

При нанесении проектной линии первоначально ее отметки вычисляют и выписывают на профиле без учета вертикальных кривых. Поправки определяют по таблицам [12] или по формуле (4.16) и учитывают в проектных и рабочих отметках. На продольном профиле выписывают два из значения – первоначальное, помещенное в скобках, и рядом исправленное с учетом вертикальной кривой.

Пример. Запроектировать вертикальную кривую на участке продольного профиля дороги I – в категории (рис. 4.10).

Проверяем условие вписывания вертикальной кривой

$$\Delta i_1 = |+22 - (-24)| = 46‰ > 15 ‰.$$

Следовательно, необходимо проектировать выпуклую вертикальную кривую радиусом R=5000 м.

$$K = \frac{5000 \times |+22 - (24)|}{1000} = 230м;\ T = \frac{230}{2} = 115м;$$

$$Б = \frac{115^2}{2 \times 5000} = 1{,}32м.$$

Пикетажное положение вершины вертикального угла (ВВУ) находится в точке пересечения прямых с уклонами 22‰ и 24‰, т.е. ПК ВВУ 21 + 40,00.

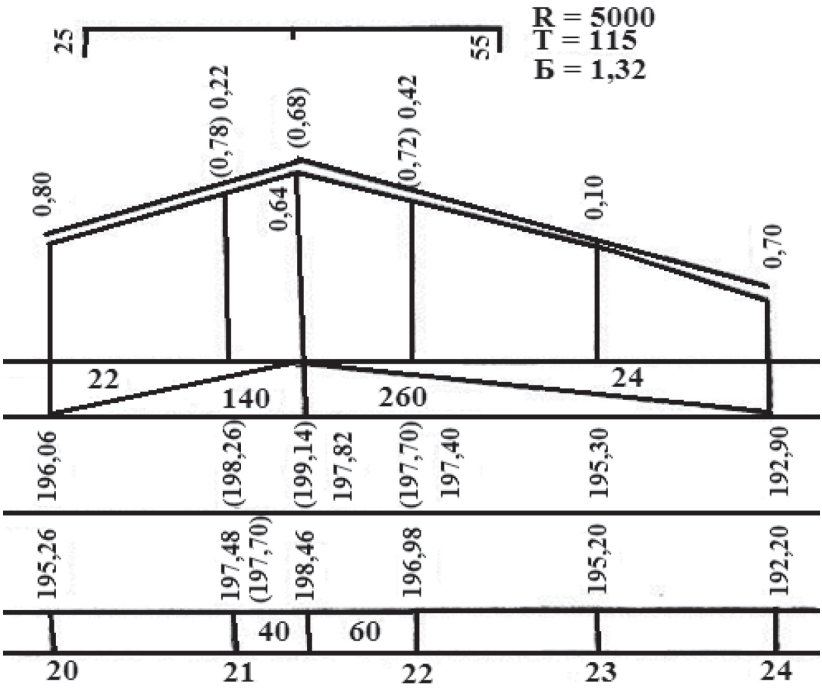


Рис. 4.10. Проектирование вертикальной кривой

Пикетажное положение начала и конца вертикальной кривой
НВК 2140 – 115 = 2025 м; ПК 20 + 25,00;
НВК 2140 + 115=2255 м; ПК 22 + 55,00.

Вычисляем ординаты Y

X=75м	Y =0,56 м (на ПК 21 + 00,00);
X=T=155м	Y=Б=1,32 м (на ПК 21 + 40,00);
X=55м	Y = 0,30 м (на ПК 22 + 00,00).

Выполнив необходимые расчеты, оформляют продольный профиль дороги, используя условные обозначения, представленные на рис. 4.11.

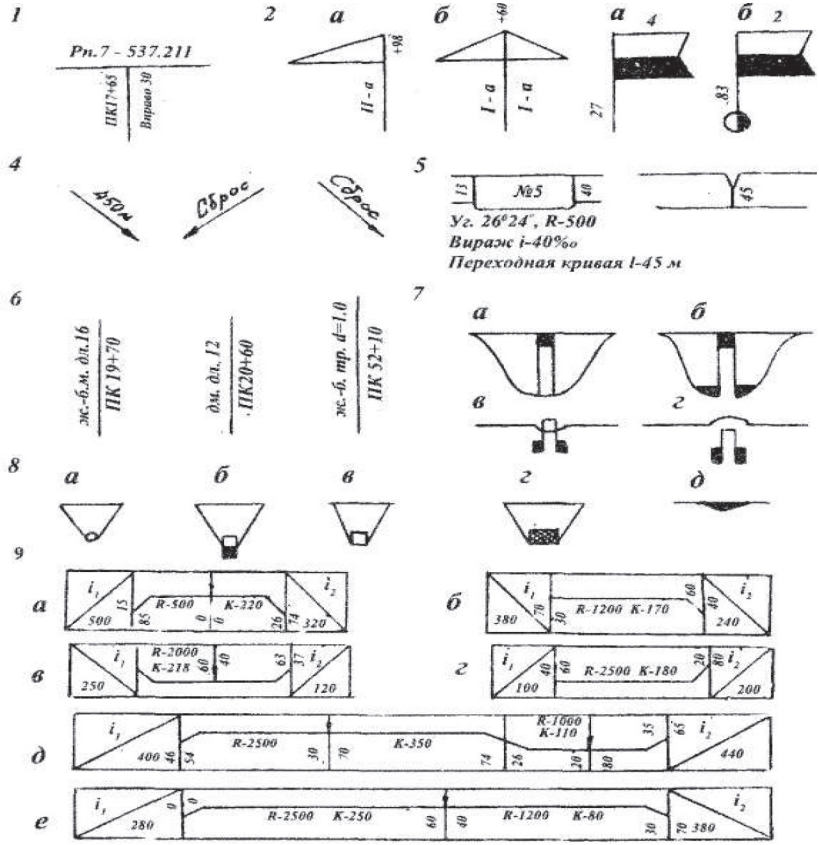


Рис. 4.11. Условные обозначения на продольных профилях дорог:
1 – репер 7, отметка 537,21, расположен в 30 м вправо от ПК 17 + 65,00;
2 – автомобильные съезды и переезды: а – съезд по типовому проекту П-а влево в 98 м от предыдущего пикета; б – переезд по типовому проекту I-а в 60 м от пикета.

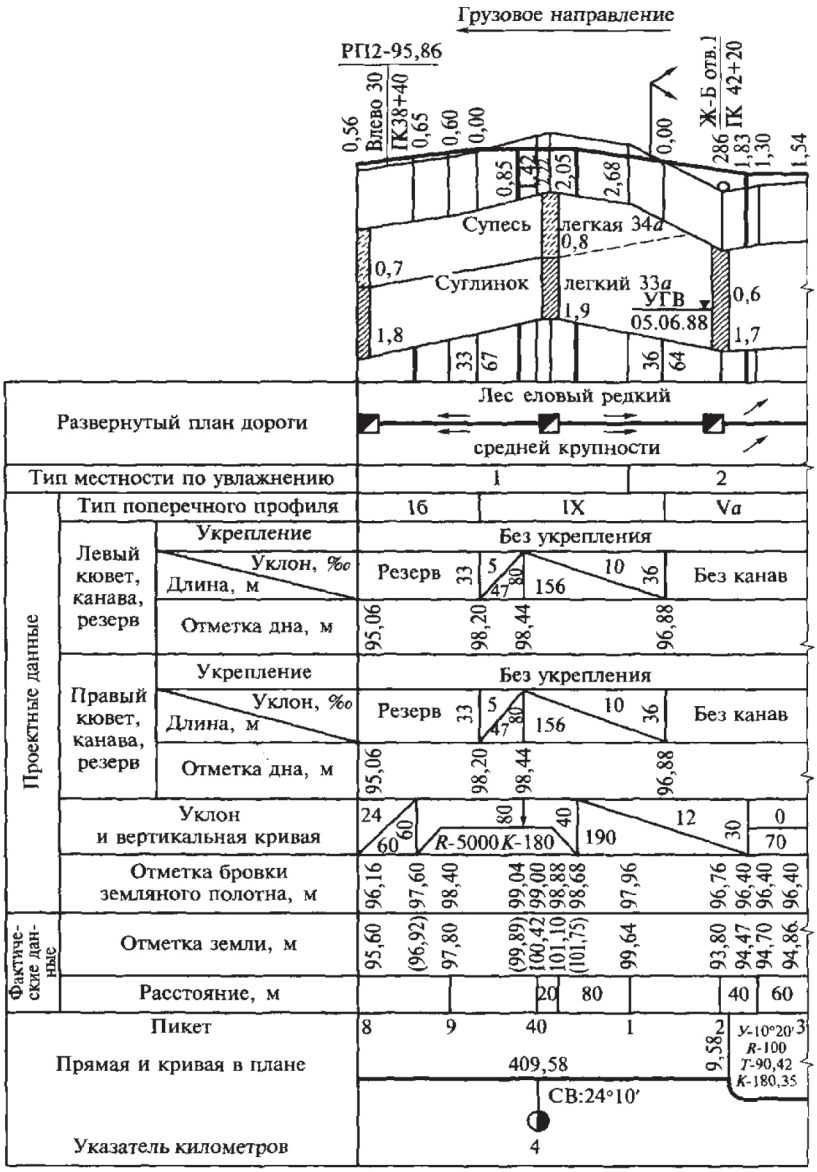


Рис. 4.12. Пример продольного профиля участка лесовозной автомобильной дороги

Глава V

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

5.1. Элементы поперечного профиля земляного полотна

Основные элементы и размеры поперечного профиля дороги показаны на рис. 5.1.

Земляное полотно – дорожное сооружение, которое является основанием для размещения конструктивных слоев дорожной одежды и других элементов дороги;

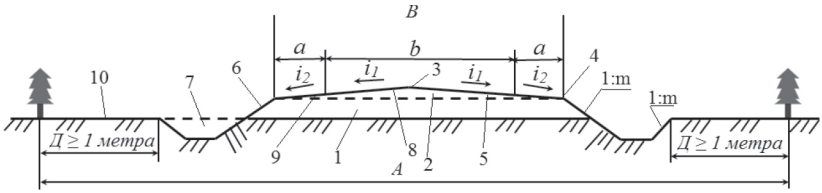


Рис. 5.1. Полный поперечный профиль дороги:
1 – земляное полотно; 2 – сливная призма; 3 – ось дороги; 4 – бровка земляного полотна; 5 – кромка проезжей части; 6 – откос земляного полотна; 7 – кювет; 8 – дорожная одежда; 9 – обочина; 10 – обрез; В – ширина земляного полотна; b – ширина проезжей части; а – ширина обочины; Д – ширина обреза; А – ширина полосы отвода; i_1, i_2 – поперечные уклоны проезжей части и обочин

сливная призма – верхняя выпуклая часть земляного полотна и линия, соединяющая его бровки. Сливная призма служит для отвода воды с его поверхности;

ось дороги – условная линия, проходящая по середине земляного полотна;

бровка земляного полотна – линия пересечения плоскости откоса и поверхности земляного полотна в месте их сопряжения. К бровке относятся проектные отметки земляного полотна;

кромка проезжей части – линия, отделяющая проезжую часть от обочины;

откос земляного полотна – боковая наклонная поверхность, ограничивающая земляное полотно;

боковая канава (кювет) – канава, проходящая вдоль земляного полотна для сбора и отвода поверхностных вод, стекающих с проезжей части и окружающей местности с поперечным сечением трапецеидального, треугольного или лоткового профиля;

проезжая часть – основной конструктивный элемент дороги, предназначенный для движения транспортных средств;

обочины – боковые полосы земляного полотна с обеих его сторон, примыкающие к проезжей части. Они предохраняют края проезжей части от разрушения – служат упором для дорожной одежды, а также предназначены для вынужденной остановки автомобиля, для размещения средств сигнализации и безопасности движения, для временного складирования материалов;

обрезы – полосы между крайними линиями водоотводящих сооружений и границами полосы отвода. Служат для устройства объездных путей, длительного складирования дорожно-строительных материалов;

полоса отвода – полоса земли, на которой размещаются дорога и все ее сооружения, способствует просушке лесных дорог и является противопожарными разрывами.

5.2. Конструкция земляного полотна

Главной задачей при проектировании земляного полотна является определение рабочих отметок. Для определения минимальной высоты насыпи необходимо знать водно-тепловой режим.

Водно-тепловым режимом земляного полотна дороги называют закономерные изменения температуры и влажности грунта в различных точках земляного полотна рис. 5.1., *а*.

От влажности грунта зависит прочность и устойчивость земляного полотна. Основными источниками увлажнения земляного полотна являются атмосферные осадки *А*, поверхностные стоки воды *Г*, капиллярная вода *Б*, пленочная и парообразная вода *В*.

Вода из всех четырех источников концентрируется в зоне земляного полотна *Д*.

Количество воды в грунте можно представить в виде уравнения водного баланса

$$А + Б + В + Г – (M + N + P), \qquad 5.1$$

где *M* – сток воды по откосам и водоотводным сооружениям; *N* – испарение влаги; *P* – просачивание воды в глубинные слои земляного полотна и грунт основания.

Важнейшими климатическими факторами, влияющими на водно-тепловой режим, являются осадки, испарение, амплитуда и быстрота колебаний температуры воздуха и грунта, продолжительность морозного периода, направление.

На рис. 5.1., *б* приведена схема круглогодичного цикла изменения водно-теплового режима земляного полотна из суглинка во II дорожно-климатической зоне, показано изменение температуры грунта *t*, модуля упругости грунта *E* и глубины промерзания и оттаивания грунта. Осенью в связи с дождями, уменьшением испарения и подъемом грунтовых вод количество воды в порах грунтов увеличивается и соответственно снижается сопротивляемость земляного полотна нагрузкам от автопоездов. В первой половине зимы при постепенном промерзании земляного полотна вода от уровня грунтовых вод постепенно поднимается по капиллярам к уровню промерзания, а затем замерзает, увеличивая количество влаги в земляном полотне.

Кроме того, количество влаги увеличивается за счет перемещения к границе промерзания водяного пара, а также за счет увлажнения земляного полотна из кюветов, канав и резервов в осенний период. В результате зимнего влагонакопления вода, замерзая в отдельных порах, образует кристаллы льда, которые постепенно увеличиваются в объеме, образуя ледяные прослойки и вызывая поднятие грунтового основания, т.е. пучение. Во вторую половину зимы происходит увеличение мерзлого слоя грунта под дорожной одеждой и накопление воды в теле земляного полотна, в связи с чем относительная влажность грунта продолжает увеличиваться. Грунт глубоко промерзает под проезжей частью, чему способствует большая теплопроводность дорожных одежд и расчистка проезжей части от снега. На обочинах, под кюветами и резервами, покрытыми снежным покровом, грунт промерзает меньше. Весной верхняя часть промерзшего грунта под проезжей частью оттаивает быстрее. Вода, образовавшаяся в результате таяния ледяных прослоек, оказывается в «корыте», образованном неоттаявшим грунтом, и грунт под проезжей частью теряет свою несущую способность. Этот период и представляет собой распутицу.

По климатическим условиям, влияющим на водно-тепловой режим, территория России разделена на пять дорожно-климатических зон:

I – вечная мерзлота; II – избыточное увлажнение; III – значительное увлажнение в отдельные годы; IV – недостаточное увлажнение и V – засушливая. Карта климатических зон приведена в приложении 1.

Большая часть лесов произрастает во II зоне, частично в I и III зонах. По степени увлажнения и характеру стока в пределах каждой дорожно-климатической зоны различают три типа местности:

1-*й тип* – сухие места: поверхностный сток обеспечен, грунтовые воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщи грунтов.

2-*й тип* – сырые места: поверхностный сток не обеспечен, но грунтовые воды не оказывают существенного влияния на увлажнение верхней толщи грунтов, почвы с признаком поверхностного заболачивания. Весной и осенью на поверхности появляется застой воды.

3-*й тип* – мокрые места: сток не обеспечен, грунтовые воды существенно влияют на увлажнение верхней толщи грунтов, могут быть длительно стоящие (более 20 суток) поверхностные воды; почвы торфяные, оглеенные с признаками заболачивания.

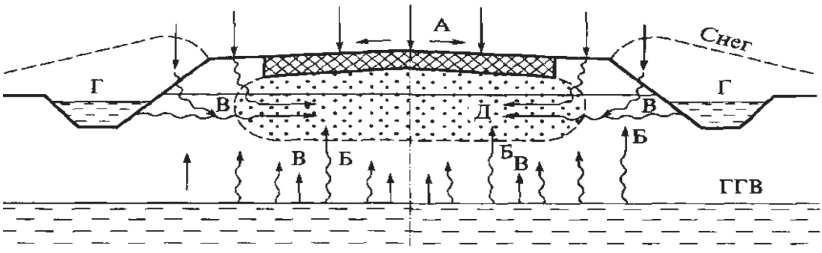
Грунтовые воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщи грунтов, если уровень грунтовых вод в предморозный период залегает ниже глубины промерзания.

Земляное полотно относится к числу основных элементов дороги. Конструкция полотна, подбор грунтов и расположение их слоев, методы возведения должны обеспечивать в период срока его службы прочность, устойчивость и стабильность земляного полотна при многократных проходах расчетных нагрузок и воздействии природных факторов независимо от погодных условий и времени года.

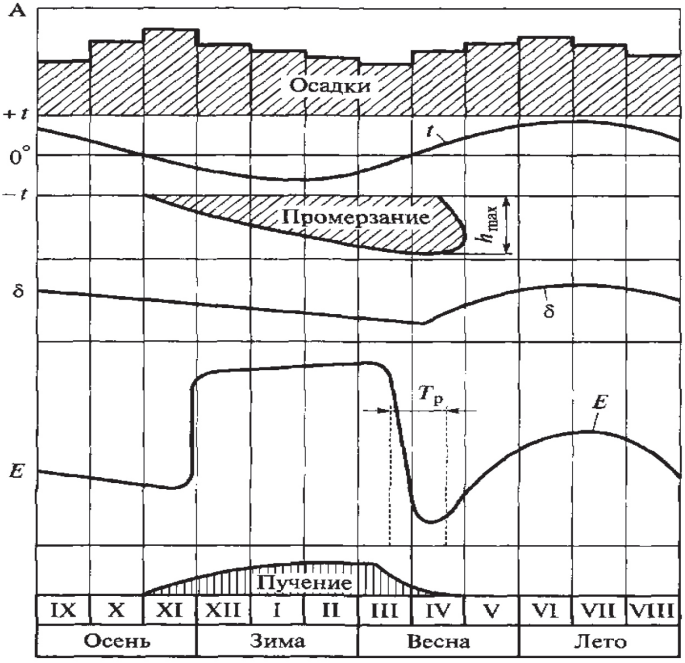
Земляное полотно будет прочным и устойчивым если соблюдены проектные размеры полотна; отвод поверхностных вод, а также влаги из-под проезжей части; необходимое возвышение бровки над уровнем поверхностных и грунтовых вод; возведение полотна из устойчивых грунтов с тщательным их послойным уплотнением; укрепление откосов насыпей и выемок для предохранения их от сползания, размыва и раздувания ветром.

Геометрическая форма земляного полотна и его конструкция должны отвечать условиям безопасности движения, не заносимости снегом и эстетическим требованиям.

Земляное полотно автомобильных дорог проектируют в соответствии с рекомендациями СНиП 2.05.02–85 [12], СНиП 2.05.07–91 [3], СНиП 11– 60–75 [14], Инструкцией ВСН 01–82 [4], инструкцией ВСН 7–82 [5].



а



б

Рис. 5.1. Водно-тепловой режим земляного полотна:
а – источники увлажнения: *А* – атмосферные осадки; *Б* – капиллярная вода; *В* – пленочная и парообразная вода; *Г* – поверхностный сток воды (вода в канавах); *Д* – зона накопления влаги в результате миграции; *б* – характерные изменения водно-теплового режима земляного полотна в течение года: *А* – осадки; *t* – температура грунта; δ – плотность грунта; *Е* – модуль упругости; T_p – период распутицы; h_{max} – максимальная глубина промерзания; I–XII – месяцы

На конструкцию земляного полотна влияют категория дороги, тип дорожной одежды, дорожно-климатическая зона, тип местности по условиям увлажнения, свойства грунтов, используемых в земляном полотне, инженерно-геологических условий различных участков дороги (характер и условия залегания грунтов, наличие подземных и поверхностных вод и т.д.), комплекс природных особенностей района строительства, условия производства работ (наличие техники, технологии производства работ и т.д.), а также опыт эксплуатации дорог в данном районе.

Земляное полотно проектируют в комплексе с дорожной одеждой.

Земляное полотно может быть нескольких типов: в насыпях, в выемках, полунасыпях-полувыемках, в нулевых отметках, на болотах.

Для природных районов с несложными геологическими условиями разработаны типовые поперечные профили (см. рис. 5.2, 5.3). Применение типовых поперечных профилей значительно облегчает конструирование земляного полотна, т.к. требует в основном конкретизации геометрических размеров и индивидуальной привязки к определенному пикету трассы.

Насыпи рекомендуется возводить из грунтов и отходов промышленности, мало меняющих устойчивость и прочность под воздействием природно-климатических факторов.

Сливной призме земляного полотна придаются поперечные уклоны: при устройстве дорожной одежды с серповидным профилем 20...30‰; с корытным или полукорытным – равным уклону проезжей части.

Крутизна, откосов земляного полотна и поперечные размеры боковых канав для II и III дорожно-климатической зоны принимаются по табл. 5.1.

При возведении насыпей с продольным перемещением грунта устраивают боковые канавы, а с поперечным перемещением грунта – резервы. Боковые канавы и резервы могут быть одно- и двухсторонние. При уклоне местности до 1 : 25 боковые канавы проектируют двухсторонние, а при уклонах более 1 : 25 – только односторонние с верховой стороны земляного полотна.

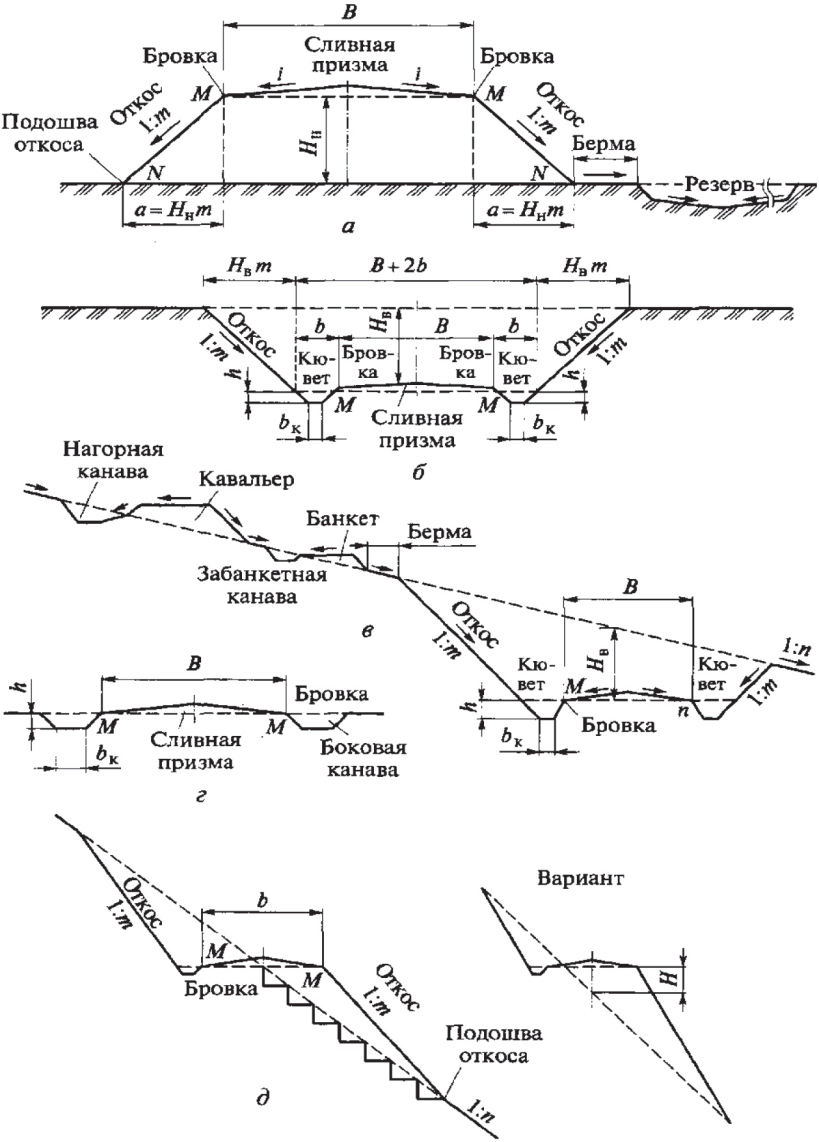


Рис. 5.2. Поперечные профили земляного полотна:
а – насыпь; *б* – выемка; *в* – выемка на косогоре; *г* – нулевое место;
д – полунасыпь-полувыемка

При поперечном уклоне местности до 1 : 10 резервы устраивают с двух сторон насыпи, а при больших уклонах – только односторонние с нагорной стороны. Резервы должны иметь правильную трапецеидальную форму и обеспечивать отвод воды в сторону от полотна дороги. Это достигается планировкой резервов с уклонами в продольном и поперечном направлениях. Крутизна внутренних откосов резервов принимается такой же, как и насыпей, а наружных – допускается 1 : 1...1 : 1,5.

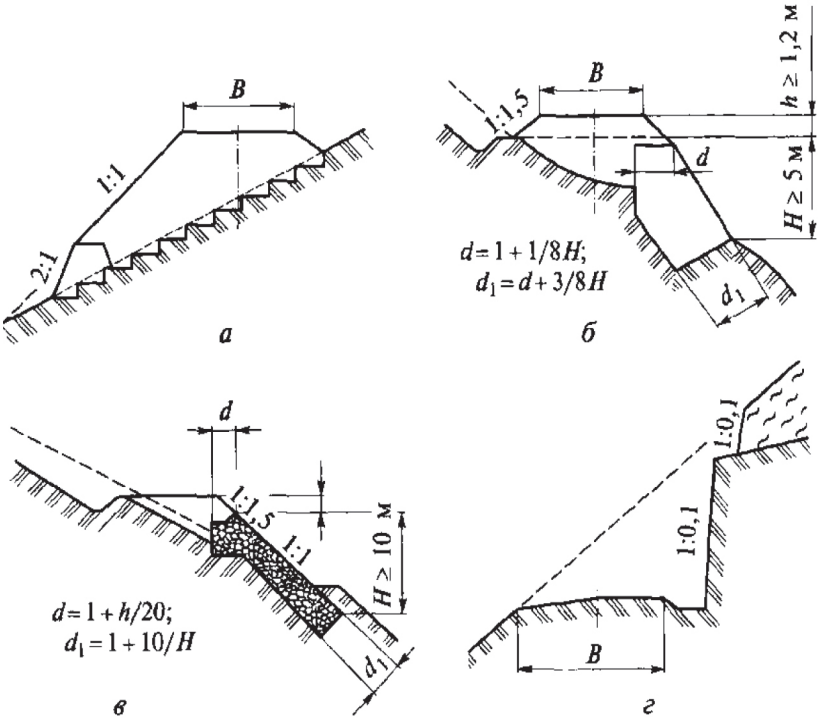


Рис. 5.3. Поперечные профили земляного плотна на крутом косогоре:
а – насыпь с упорным каменным банкетом; *б – насыпь с подпорной стенкой*; в – *полувыемка-полунасыпь с укреплением откоса каменной наброской; г – выемка в полке; d – ширина подпорной стенки (каменной наброски); d – ширина подошвы подпорной стенки (каменной наброски); h – высота насыпи над подпорной стенкой (каменной наброской); H – высота подпорной стенки (каменной наброски)*

Глубина резервов назначается не более 1,5 м и не менее 0,3 м. При этом дно резервов должно быть расположено выше уровня фунтовых вод. Дну резервов придается поперечный уклон 20‰, при ширине по дну менее 10 м в сторону от насыпи, а при ширине более 10 м – к середине дна резерва.

При опасности подмыва насыпей поверхностными водами между насыпью и резервом оставляется берма не менее 2 м.

Таблица 5.1.

Параметры откосов канав и земляного полотна во II и III дорожно-климатических зонах

Вид грунта	Боковая канава			Откосы	
	Поперечный профиль	Глубина, м	Ширина по дну, м	Земляного полотна	Наружных боковых канав
Гравелистый песок, гравий: насыпь	Треугольный	0,30	–	1:3	1:1,5 – 1:2 1:1,5
выемка	Треугольный	0,30	–	1:3	
Песок, супесь и пылеватый песок: насыпь	Треугольный	0,50	–	1:1,5 – 1:3 1:3	1:1,5 – 1:3 1:1,5
выемка	Треугольный	0,50	–		
Суглинки, глины: насыпь	Трапецеидальный	0,60	0,40	1:1,5 – 1:3 1: 1,5	1: 1,5
выемка	Трапецеидальный	0,80	0,40		1: 1,5

Примечание: откосы насыпей 1: 3 применяют при устройстве боковых канав, а также при поперечном перемещении грунта бульдозерами и автогрейдерами.

Дну продольных водоотводных канав, кюветов и резервов при отсутствии бермы придается продольный уклон в сторону ближайшего искусственного сооружения или ложбины не менее 5‰, а в исключительных случаях– не менее 3‰.

При наличии бермы уклон дна канав и резервов принимается не менее 3‰ .

Наибольший продольный уклон дна канав определяется в зависимости от расхода воды, степени размываемости грунта и типа укрепления.

Размеры резерва определяют по балансу земляных масс насыпи и резерва.

Например, для одностороннего резерва с односкатным дном при заданной глубине

ширина поверху

$$b_1 = \frac{F}{h_p} + m \times h_p; \qquad 5.2$$

ширина понизу

$$b_2 = \frac{F}{h_p} - m \times h_p, \qquad 5.3$$

где F – площадь сечения насыпи в м^2, без учета поправки на уплотнение, м^2;

h_p – средняя глубина резерва, м;

m – коэффициент заложения земляного полотна (резерва).

Для двухсторонних резервов

Площадь насыпи

$$F = B \times H_H + m \times H_H{}^2 = 2F_1, \qquad 5.4$$

где B – ширина земляного полотна, м;

H_H – высота насыпи земляного полотна, м;

m – коэффициент заложения земляного полотна.

Площадь резерва

$$F_1 = b_2 \times h_P + m \times h_P{}^2 = \frac{F}{2}, \qquad 5.5$$

где F_1 – площадь резерва, м^2;

b_2 – ширина резерва по низу, м;

h_p – глубина резерва, м;

m – коэффициент заложения резерва.

Глубина резерва не должна превышать 1,5 м, т.е. $H_H \geq h_p \leq 1{,}50$. При строительстве земляного полотна в равнинной местности рекомендуется принимать $h_p \leq 1{,}5$ м ввиду трудности отвода воды из глубоких резервов.

Из выражения (5.4) имеем

$$b_2 \times h_p = \frac{F}{2} - m \times h_p{}^2, \qquad 5.6$$

откуда

$$b_2 = \frac{\frac{F}{2} - m \times h_p{}^2}{h_p} = \frac{F - 2m \times h_p{}^2}{2h_p}. \qquad 5.7$$

Ширина резерва по верху

$$b_1 = \frac{F}{h_p} + m \times h_p. \qquad 5.8$$

Ширина полосы отвода равна

$$A = 2Д + 2b_2 + B', \qquad 5.9$$

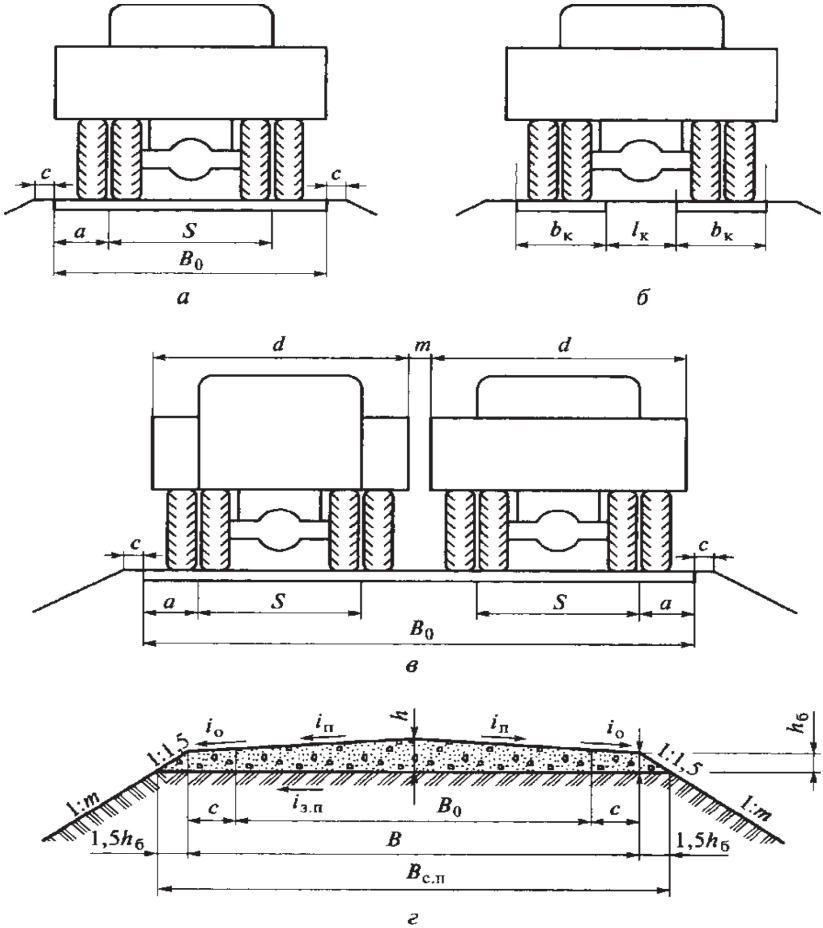
где $Д$ – ширина обреза, расстояние от наружной кромки резерва до границы полосы отвода, определяется условиями производства работ, $Д \geq 1$ м;

B' – ширина основания земляного полотна, м,

$$B' = B + 2 \times (m + H_H). \qquad 5.10$$

При поперечном уклоне местности 1:5–1:3 под подошвой насыпи на косогоре устраивают уступы шириной 1–4 м и высотой не менее 0,5 м. Уступам придают уклон в сторону кювета 10–20‰.

При устройстве выемок с поперечным перемещением грунта, если его не используют для заполнения пониженных участков рельефа вблизи от дороги, проектируют кавальеры, которым придают правильные геометрические очертания. При поперечном уклоне местности круче 1: 5 кавальеры отсыпают с низовой стороны, в остальных случаях допускается отсыпка с обеих сторон. Кавальеры с нагорной стороны проектируют сплошными по всей длине выемки. Кавальеры с низовой стороны назначаются с разрывами в пониженных местах шириной 1м через 50...100 м. Расстояние от бровки выемки до подошвы кавальера (берма) должно быть не менее 5 м. Берма с нагорной стороны планируется с уклоном не менее 20‰, в сторону выемки. Высота кавальеров назначается не более 3 м, крутизна откосов 1 : 1,5; поверхности кавальеров придается уклон не менее 20‰ в сторону от выемки. При расположении кавальеров с нагорной стороны выше кавальеров предусматривается нагорная канава.



5.4. Расчетные схемы для определения ширины земляного полотна: *а* – с однополосной проезжей частью; *б* – дорога с колейным покрытием; *в* – с двухполосной проезжей частью; *г* – при серповидном профиле дорожной одежды: *с* – ширина обочины; *а* – расстояние от оси колеса до кромки проезжей части; *S* – ширина колеи автомобиля; *Во* – ширина проезжей части; $Б_к$ – ширина колеи; $l_к$ – межколейное пространство; *d* – ширина автомобиля; *m* – расстояние между встречными автомобилями; *h* – толщина дорожной одежды по оси дороги; $i_п$ – поперечный уклон проезжей части; i_0 – уклон обочины; $i_{з.п.}$ – уклон земляного полотна; $A_б$ – толщина дорожной одежды на бровке; *m* – коэффициент заложения откоса; *В* – ширина земляного полотна; $Д._п$ – ширина земляного полотна при серповидном профиле

При продольном перемещении грунта из выемки кавальеры отсутствуют. В этом случае, если с нагорной стороны ожидается значительный сток воды, по объему превышающий пропускную способность боковых канав, отрывают забанкетную канаву глубиной и шириной по дну не менее 0,5 м. Грунт из канавы отсыпают в банкет. Высота банкета не превышает 0,6 м, поверхность его планируется в сторону забанкетной канавы с уклоном 20‰. Между бровкой выемки и подошвой банкета оставляется берма шириной не менее 1 м.

В сложных инженерно-геологических условиях (очень большие рабочие отметки, косогоры круче 1 : 3, участки с наличием и возможным развитием оползней, оврагов, снежные лавины и т.п., болота и др.) разрабатывают индивидуальные проекты поперечных профилей земляного полотна (см. рис. 5.4).

Поперечные профили земляного полотна вычерчивают в масштабе 1 : 50 или 1 : 100 в сечениях трассы, указанных преподавателем. Поперечный уклон местности снимается с карты, а рабочая отметка – с продольного профиля дороги.

Глава VI

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫВОЗКИ ЛЕСА

6.1. Определение рейсовой нагрузки на автопоезд

Изучение закономерностей движения автопоездов проводят с целью установления оптимальных параметров конструкции земляного полотна и дорожной одежды, определения массы поезда, скоростей движения и времени хода автопоезда, потребности в подвижном составе, потребности в ГСМ и т.д.

Первоначально определяется полная масса автопоезда $Q_{гр}$ в тоннах для грузового направления движения. Она рассчитывается исходя из преодоления автопоездом руководящего подъема, т

$$Q_{гр1} = \frac{F_{к2}}{q \times (f + i_р)}, \qquad 6.1$$

где $F_{к2}$ – касательная сила тяги авто-да на 2-й передаче, кН (табл. 6.1, 6.2);

f – коэффициент сопротивления движению автопоезда, принимаем в зависимости от типа покрытия (табл. 6.3);

q – ускорение свободного падения, q = 9,81 м/с^2;

$i_р$ – руководящий подъем в долях единицы;

– из условия трогания автопоезда с места, т

$$Q_{гр2} = \frac{F_{к1}}{q \times (\alpha \times f + i_n + 0.1j)}, \qquad 6.2$$

где $F_{к1}$ – касательная сила тяги авто-да на 1-й передаче, кН (см. табл. 6.1, 6.2);

α – коэффициент, учитывающий увеличение величины основного сопротивления при трогании автопоезда с места, α = 1,50;

$i_п$ – уклон погрузочных площадок, $i_п$=0,005;

j – начальное ускорение автопоезда при трогании с места, j=0,13…0,15 м/с^2;

– из условия не превышения паспортной грузоподъемности автопоезда, т

$$Q_{гр\,3} = P_а + P_{пр} + G, \qquad 6.3$$

где $P_а$, $P_{пр}$ – собственная масса автотягача и роспуска, т (см. табл. 6.1, 6.2);

G – грузоподъемность автопоезда, т (см. табл. 6.1, 6.2).

Расчетная полная масса автопоезда $Q_{бр(гр)}$ выбирается по соотношению

$$Q_{бр\,(гр)} = \min\{Q_{бр1}, Q_{бр2}, Q_{бр3}\}. \qquad 6.4$$

Полная масса автопоезда в порожнем направлении движения равна его собственной массе, т:

$$Q_{бр\,(нгр)} = P_а + P_{пр}. \qquad 6.5$$

Величина рейсовой нагрузки автопоезда в м^3 определяется по формуле

$$Q_р = \frac{Q_{бр\ (гр)} - Q_{бр\ (нгр)}}{\gamma}, \qquad 6.6$$

где γ – объемная масса древесины, γ = 0,80 т/м^3.

Таблица 6.1.

Технико-экономические характеристики автопоездов для вывозки хлыстов

Номер п/п	Показатели	ЗИЛ- 131+ ТМЗ- 802	УрАЛ- 4320+ ГКБ- 9851	МАЗ- 64255 (МАЗ- 9008)+ ГКБ- 9383	МАЗ- 5434+ ГКБ- 9383	КамАЗ- 4310+ ГКБ- 9382	КрАЗ- 260Л+ ГКБ- 9383	КрАЗ- 6437+ ГКБ- 9871	TATRA T 815- 24 AR
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Максимальная мощность двигателя, к Вт	136,00	176,00	243,00	176,60	191,00	243,00	243,00	
2	Полная масса автопоезда с грузом, т	19,60	26,90	42,00	34,00	28,60	47,00	47,00	48,65

Окончание табл. 6.1.

3	Грузо-подъемность автопоезда, т	10,50	15,00	25,00	20,90	16,00	29,00	30,50	32,00
4	Колесная формула автомобиля	6 x 6	6 x 6	4 x 4	4 x 4	6 x 4	6 x 6	6 x 6	6 x 6
5	Лобовая площадь, м^2: с грузом без груза	7,00 5,80	9,60 7,00	10,50 7,00	10,00 7,00	9,60 7,00	11,00 7,00	12,00 7,00	12,00 7,00
6	Число колес на тягаче и роспуске (без учета запасного колеса)	6 + 8	6 + 8	10 + 8	6 + 8	6 + 8	6 + 8	10 + 8	10 + 8
7	Касательная сила тяги на 1 передаче, к Н	116,20	127,50	132,00	130,00	127,50	142,00	132,00	180,00
8	Касательная сила тяги на 2 передаче, к Н	64,00	70,60	72,00	72,40	70,60	76,00	72,00	110,00
9	Норма расхода топлива на 100 км пути, л	41,00	45,00	65,00	45,00	45,00	56,00	54,00	62,00
10	Норма на полное восстановление на каждые 1000 км пробега от балансовой стоимости: автомобиля прицепа	0,00481 0,00481	0,0039 0,0039	0,0039 0,0039	0,0039 0,0039	0,0039 0,0039	0,00481 0,00481	0,0039 0,0039	0,0039 0,0039
11	Норма пробега шин, км	28000,00	28000,00	40000,00	40000,00	40000,00	28000*/40000	40000,00	40000,00
12	Балансовая стоимость автомобиля, тыс. руб	509,00	764,00	1200,00	1000,00	784,00	1218,00	1800,00	3000,00
13	Балансовая стоимость прицепа, тыс. руб.	255,00	255,00	390,00	406,00	261,00	406,00	406,00	406,00
14	Стоимость I шины, тыс. руб.	5,70 / 3,30**	5,70 / 3,30**	3,30	3,30	5,70	7,50 / 3,30**	3,30	3,30

Примечание:

* – в числителе – норма пробега шин на автомобиле; – в знаменателе – норма пробега шин на прицепе;

** – в числителе – стоимость одной шины на автомобиле; – в знаменателе стоимость одной шины на прицепе.

Таблица 6.2.

Технико-экономические характеристики автопоездов для вывозки сортиментов

Показатели	ТМ-45	ТМ-78	ТМ-79	ТМ-82		ТМ-80	
				с двухосным прицепом	с трехосным прицепом	с двухосным прицепом	с трехосным прицепом
1	2	3	4	5	6	7	8
Базовый тягач	КамАЗ-53212	Урал-4320	МАЗ-6303	МЗКТ-69238-312		TATRA T815-24 AR	
Колесная формула	6 х 4	6 х 6	6 х 4	8	х 8	6	х 6
Мощность двигателя, к Вт	176	176	243		346		346
Рекомендуемый прицеп	СЗАП-8357	СЗАП-8357	ТМ-7905 шасси МАЗ-83781	ТМ-7905 шасси МАЗ-83781	ТМ-83 шасси МАЗ-83782	ТМ-7905 шасси МАЗ-83781	ТМ-7905 шасси МАЗ-83782
Грузоподъемность автопоезда, м^3:							
- с гидроманипулятором ПЛ- 70- 02	22,00	22,00	37,00	43,50	53,00	36,00	45,00
- без гидроманипулятора	25,00	25,00	40,00	46,00	56,00	38,00	48,00
Полная масса автопоезда, т	31,90	32,00	46,60	59,00	69,00	48,50	58,50
Грузоподъемность прицепа, м^3	12,20	12,20	17,90	17,90	30,40	17,90	30,40
Полная масса прицепа, т	14,00	14,00	20,00	20,00	30,00	20,00	30,00
Распределение полной массы автопоезда по осям, т:							
- передняя ось (тележка) автомобиля	4,29	5,30	6,50	14,00		7,30	
- задняя тележка автомобиля	13,93	15,23	20,00	22,00		21,20	
- передняя ось прицепа	6,85	5,75	10,00	10,00		10,00	
- задняя ось (тележка) прицепа	6,85	5,75	10,00	10,00	20,00	10,00	20,00
Длина перевозимого сортимента, м:							
- на автомобиле с гидроманипулятором	2,00…5,00	4,00…6,50	4,00…6,50	4,00…	6,50	4,00…	6,50
- без гидроманипулятора	2,00…6,50	4,00…6,00	4,00…8,00	2х4,00…	8,00	2х4,00…	8,00
- на прицепе	2,00…6,50	4,00…6,50	4,00…8,00	4,00…8,00	4,00…10,00	4,00…8,00	4,00…10,00

Окончание табл. 6.2.

Лобовая площадь, м^2: - с грузом - без груза	11,00 7,00	11,00 7,00	13,30 8,80	13,30 8,80		13,30 8,80	
Число колес на тягаче	10	6	10	8	8	10	10
Число колес на прицепе	8	8	8	8	12	8	12
Норма расхода топлива на 100 км пробега, л	44,00	49,00	54,00	70,00	75,00	58,00	65,00
Норма на полное восстановление на каждые 1000 км пробега от балансовой стоимости: - автомобиля - прицепа	0,0039 0,0039	0,00481 0,00481	0,0039 0,0039	0,00481 0,00481		0,0039 0,0039	
Тяговое усилие по двигателю, к Н: - на I передаче - на II передаче	105,00 66,00	127,00 70,00	150,00 90,40	180,00 120,00		170,00 110,00	
Норма пробега шин, тыс. км: - автомобиля - прицепа	40,00 40,00	28,00 40,00	40,00 40,00	28,00 40,00		40,00 40,00	
Балансовая стоимость автомобиля, тыс. руб: - с гидроманипулятором - без гидроманипулятора	724,00 624,00	880,00 780,00	1093,00 993,00	1600,00 1500,00		3100,00 3000,00	
Балансовая стоимость прицепа, тыс. руб	268,00	268,00	390,00	390,00	450,00	390,00	450,00
Стоимость шин, тыс. руб	18 x 3,3	6 x 5,7 + 8 x 3,3	18 x 3,3	8 x 7,5 + 8 x 3,3	8 x 7,5 + 12 x 3,3	18 x 3,3	22 x 3,3

Таблица 6.3.

Значения коэффициента сопротивления движению автопоездов для различных дорожных покрытий

Номер п/п	Тип покрытия	Значения коэффициента
1	2	3
1	Битумно-минеральные смеси, железобетонные плиты	0,020… 0,025
2	Гравийные и щебеночные	0,030… 0,040
3	Грунты, обработанные вяжущими	0,025… 0,030
4	Естественно-грунтовые	0,040… 0,060
5	Снежно-уплотненные	0,020… 0,035
6	Ледяное покрытие при колесном прицепном составе	0,020… 0,025

6.2. Определение расстояния между кониками автомобиля и роспуска

Автопоезд должен быть загружен таким образом, чтобы тягач или роспуск не были перегружены. Для этого определяют рассто-

яние между кониками автопоезда *l* (длину дышла роспуска) в м, используя формулу (7) и расчетную схему для определения расстояния, которая представлена на рис. 6.1.

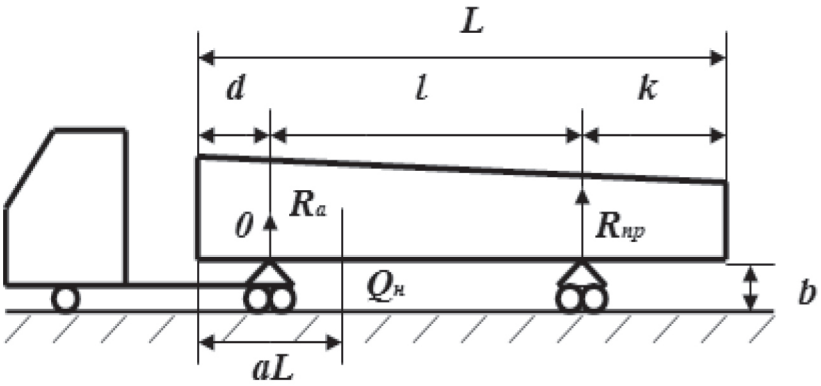


Рис. 6.1. Расчетная схема определения расстояния:
L – длина деревьев, хлыстов или сортиментов; *l* – расстояние между кониками, м; *d* – величина свеса пакета за коник автомобиля (*d* = 1,0…1,2 м.); *k* – величина свеса пакета за коник, м.; *aL* – расстояние от комлей пакета до его центра тяжести, м.; *a* – коэффициент положения центра тяжести пакета, (*a* = 0,33 для хлыстов; *a* = 0,37 для деревьев; *a* = 0,5 для сортиментов); $Q_н$ – грузоподъемность автопоезда (рейсовая нагрузка, т.); $R_а$ – реакция автомобиля (грузоподъемность автомобиля, т.); $R_{пр}$ – реакция коника (грузоподъемность роспуска, т.); *b* – свес вершин за коник роспуска ≥ 0,6 м.

$$l = \frac{Q_н \cdot (aL - d)}{R_{пр}}, \qquad 6.7$$

$$Q_н = Q_{бр(гр)} - Q_{бр(нгр)}, \qquad 6.8$$

При вывозке хлыстов или деревьев свес вершин за коник роспуска должен быть таким, чтобы просвет вершин хлыстов или деревьев и дорогой на горизонтальном участке был не менее 0,6 м. Поэтому используя формулу (8) определяем длину заднего свеса пакета.

$$k = L - d - l, \qquad 6.9$$

Если значение *k* превышает 6….8 м., следует предусмотреть обрезку вершин хлыстов или деревьев.

Необходимо иметь в виду, что при вывозке древесины по лесовозным дорогам максимальная ширина лесовозного автопоезда по конику может составлять 3,2…3,8 м, а максимальная высота 4 м, ограничений по длине автопоезда нет. В таблице 6.4 приведены зависимости расстояния между кониками автомобиля и роспуска при различных длинах хлыстов, для наиболее часто используемых автопоездов на вывозке леса.

Таблица 6.4.

Состав автопоезда	Расстояние между кониками автомобиля и роспуска при длине хлыстов, м					
	15	18	21	24	27	30
ЗИЛ-131 +ТМЗ-802	6,3	7,8	9,3	10,8	12,2	13,7
МАЗ-509 + ГКБ-9383-010	5,9	7,3	8,8	10,2	11,7	13,2
КрАЗ-255Л + ГКБ-9383-010	6,0	7,6	9,1	10,6	12,1	13,6

В таблице 6.5 приведены эксплуатационные характеристики наиболее часто использующихся прицепов роспусков на вывозке леса.

Таблица 6.5.

Показатель	ГКБ-9383		ГКБ-9362	ГКБ-9851
	011	010		
Масса перевозимого груза, кг	11 500	15 000	16 000	8 500
Полная масса роспуска, кг	15 650	19150	20150	11 500
Длина перевозимого груза, м	24	27	18...24	17... 23
длина со складывающимся дышлом, мм.	10400	11 820	12 250	11 300
ширина, мм.	2612		2612	2 500
высота по стойкам, мм.	2 900		3015	3 012
погрузочная высота, мм.	1670		1750	1728
Максимальная скорость, км/ч.	60		75	65

6.3. Расчет скоростей и времени движения автопоезда в грузовом и порожнем направлениях

Расчет скоростей и времени движения автопоезда производим методом равновесных скоростей. Расчет ведется отдельно для гру-

зового и порожнего направлений движения в следующей последовательности:

– определяется величина предельного безвредного спуска в долях единицы

$$i_б \leq f. \qquad 6.10$$

– определяется величина вредного спуска $i_в > f$.

Расчеты выполняют отдельно для случаев $i_б \leq f$ и $i_в > f$.

Определение скоростей и времени движения для спусков $i > i_б$, горизонтальных площадок и подъемов.

Для участков продольного профиля с $i > i_б$ вычисляется значение полного сопротивления движению W в кН

$$W = Q_{\text{бр (гр/нгр)}} \times q \times (f \pm i + f_{кр}) + W_в, \qquad 6.11$$

$$f_{кр} = \frac{A}{R}, \qquad 6.12$$

$$W_в = \frac{q \times w \times k \times V^2}{13 \times 1000}, \qquad 6.13$$

где $f_{кр}$ – сопротивление движения автопоезда от кривой, кН;

A – параметр для расчета удельного сопротивления от круговой кривой, A = 0,80…1,00;

R – радиус круговой кривой, м;

$W_в$ – сопротивление воздушной среды, кН;

w – площадь лобовой поверхности автопоезда, м² (см. табл. 6.1, 6.2);

k – коэффициент обтекаемости, для лесовозных автопоездов k = 0,28...0,30;

V – скорость движения автопоезда, км/ч.

При радиусах кривых более 250 м $f_{кр}$ можно пренебречь.

Сопротивление воздушной среды $W_в$ учитываем при скоростях движения $V \geq 20$ км/ч и определяем при 3…4 значениях V. Расчеты выполняются отдельно для грузового и порожнего направлений.

Следует иметь в виду, что полная масса автопоезда и площадь его лобовой поверхности различны для грузового и порожнего направлений. Расчеты ведутся в форме табл. 6.6 и 6.7

Таблица 6.6.

Расчет скоростей движения в грузовом направлении

Номер п/п	Уклон ± i, ‰	$Q_{бр(гр)} \times q \times (f \pm i + f_{кр})$, кН	V, км/ч	$W_в$, кН	W, кН
1	2	3	4	5	6
1	i_1	… … …	V_1 V_2 V_3	$W_{в1}$ $W_{в2}$ $W_{в3}$	W_1 W_2 W_3
2	i_2	… … …	V_1 V_2 V_3	$W_{в1}$ $W_{в2}$ $W_{в3}$	W_1 W_2 W_3
n	i_n	… … …	V_1 V_2 V_3	$W_{в1}$ $W_{в2}$ $W_{в3}$	W_1 W_2 W_3

Таблица 6.7.

Расчет скоростей движения в порожнем направлении

Номер п/п	Уклон ±i, ‰	$Q_{бр(нгр)} \times q \times (f \pm i + f_{кр})$, кН	V, км/ч	$W_в$, кН	W, кН
1	2	3	4	5	6
1	i_1	… … …	V_1 V_2 V_3	$W_{в1}$ $W_{в2}$ $W_{в3}$	W_1 W_2 W_3
2	i_2	… … …	V_1 V_2 V_3	$W_{в1}$ $W_{в2}$ $W_{в3}$	W_1 W_2 W_3
n	i_n	… … …	V_1 V_2 V_3	$W_{в1}$ $W_{в2}$ $W_{в3}$	W_1 W_2 W_3

По координатам, записанным в колонках 4–6 таблиц, строят кривые полного сопротивления движения автопоезда на графике его тяговой характеристики (рис. 6.1). На каждой кривой указывается уклон, для которого рассчитано сопротивление.

В нижней части графика вычерчивается кривая удельного времени движения $Q = \frac{60}{V}$ мин/км. При определении скорости и времени движения автопоезда для каждого из участков пути строится кривая $W=f(i,V)$. Из точки пересечения кривых $W=f(i,V)$ и $F_к=f(V)$ опускается перпендикуляр на ось абсцисс. Точка пересечения перпенди-

куляра с этой осью будет соответствовать равновесной скорости. Проецируя эту точку на кривую $Q = \frac{60}{V}$ и далее на ось ординат $Q_к$, найдем время пробега 1 км пути в минутах $Q_к.F_к$, W кН

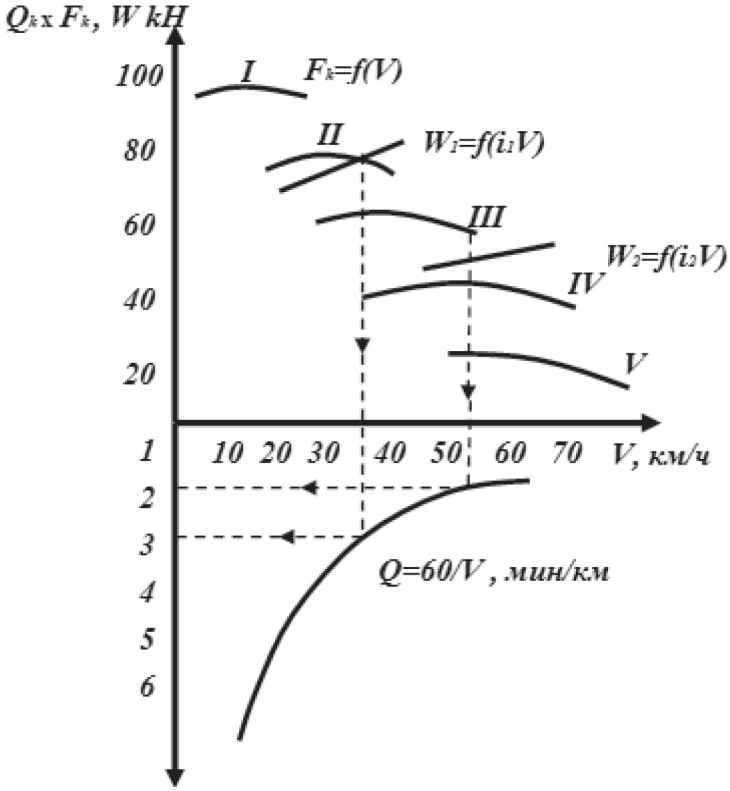


Рис. 6.1. График определения скоростей и времени движения автопоезда в грузовом и порожнем направлениях

– ограничение скоростей движения на крутых спусках $i_в > f$

Безопасность дорожного движения требует ограничить скорость автопоездов на крутых спусках. Условием для определения допускаемой скорости движения $V_{доп}$ на спусках крутизной $i > i_б$ является расстояние видимости поверхности дороги, м

$$S_в \geq S_п + S_т + S_р, \qquad 6.14$$

где $S_п$ – путь, пройденный за время подготовки к торможению, м;

$S_т$ – тормозной путь, м;

$S_р$ – резервное расстояние, $S_р$=10...15 м.

$$S_п = \frac{V \times t_п}{3{,}60}; \qquad 6.15$$

$$S_т = \frac{k_т \times V_н^2}{254 \times (b + f - i)}, \qquad 6.16$$

где $t_п$ – время подготовки к торможению, $t_п$=2с;

$k_т$ – коэффициент эксплуатационного состояния тормозов, $k_т$=1,40;

b – коэффициент тормозной силы;

$$b = \tau \times \frac{P_m}{Q_{бр(гр/нгр)}}, \qquad 6.17$$

где τ – коэффициент сцепления колес с дорогой

(τ =0,10...0,20 – для неблагоприятных условий);

P_m – масса автопоезда, приходящаяся на тормозные оси, т.

В последнее время роспуски обязательно оборудуют тормозным приводом. При этом все оси автопоезда становятся тормозными и имеет место

$$P_m = Q_{бр} \text{ и } b = \tau. \qquad 6.18$$

Тормозной путь определяется для каждого участка продольного профиля с уклоном больше безвредного при 3…4 значениях скоростей движения автопоездов.

Расчеты ведутся в форме табл. 6.6 и 6.7 для грузового и порожнего направлений движения.

Таблица 6.8.

Определение допускаемых скоростей движения на крутых спусках для грузового направления движения

Номер п/п	Уклон спуска i, ‰	Скорость V, км/ч	Тормозной путь $S_т$, м
1	2	3	4
1	i_1	V_1 V_2 V_3	$S_{т1}$ $S_{т2}$ $S_{т3}$

Таблица 6.9.

Определение допускаемых скоростей движения на крутых спусках для порожнего направления движения

Номер п/п	Уклон спуска i, ‰	Скорость V, км/ч	Тормозной путь $S_т$, м
1	2	3	4
1	i_1	V_1 V_2 V_3	$S_{т1}$ $S_{т2}$ $S_{т3}$

Используя данные табл. 6.8 и 6.9 вычерчивают график ограничения скоростей движения в грузовом и порожнем направлениях рис. 6.2.

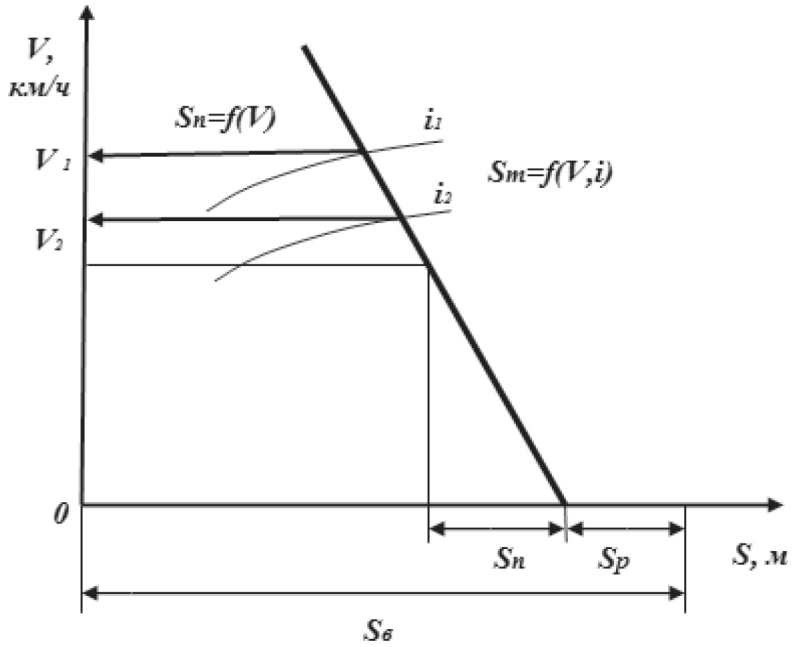


Рис. 6.2. График ограничения скоростей движения в грузовом и порожнем направлениях

Величину допускаемых скоростей $V_{доп}$ определяют графически. По оси абсцисс откладывают расстояние видимости $S_в$, согласно нормам технического проектирования, и резервное расстояние $S_р$,

как показано на рисунке. Затем строят прямую для пути подготовки к торможению $S_п = f(V)$, начало которой в точке 0′. Далее для каждого спуска i по координатам колонок 3 и 4 табл. строят кривые тормозного пути $S_т = f(V,i)$. На каждой кривой, параболе, записывают уклон, для которого она была построена. Ордината точки пересечения линий $S_п = f(V)$ и кривых $S_т = f(V,i)$ соответствует допускаемой скорости движения автопоезда на спуске с данным уклоном i.

Откладывая полученные скорости движения на оси абсцисс рис. 6.2 и проецируя их на ось ординат через кривую удельного времени движения $Q = \frac{60}{V}$, определяют время пробега 1 км в минутах.

Время пробега автопоезда в минутах, по элементу продольного профиля с уклоном $i_к$ находим по формуле

$$t_к = Q_к \times l_к, \qquad 6.19$$

где $Q_к$ – время пробега автопоездом 1 км на участке с уклоном $i_к$, мин/км;

$l_к$ – протяженность элемента продольного профиля с уклоном $i_к$, км.

Общее время движения в минутах по дороге находим суммированием времени пробега по элементам продольного профиля

$$T_0 = \sum Q_к \times l_к, \qquad 6.20$$

где $к$ – номер элемента продольного профиля.

Расчеты ведутся в форме табл. 6.10 и 6.11.

Таблица 6.10.

Расчет времени хода автопоезда по участку дороги в грузовом направлении

Номер п/п	Уклон участка ± i, ‰	Длина участка l, м	$Q_к$, мин/км	Время хода $t_к$, мин
1	2	3	4	5

Таблица 6.11.

Расчет времени хода автопоезда по участку дороги в порожнем направлении

Номер п/п	Уклон участка ± i, ‰	Длина участка l, м	$Q_к$, мин/км	Время хода $t_к$, мин
1	2	3	4	5

Сложив значения $t_к$ в колонке 5 табл. 6.10 и 6.11, получаем общее время движения в грузовом $T_{гр}$ и порожнем $T_{пор}$ направлениях движения.

После этого определяется средняя скорость движения автопоезда в грузовом и порожнем направлениях по формулам

$$V_{гр} = \frac{60 \times L}{T_{гр}}; \qquad 6.21$$

$$V_{пор} = \frac{60 \times L}{T_{пор}}, \qquad 6.22$$

где $V_{гр}$, $V_{пор}$ – средняя скорость движения в грузовом и порожнем направлениях движения, км/ч;

L – длина дороги по продольному профилю, км.

6.4. Определение сменной производительности автопоезда и потребностей в подвижном составе

Для определения потребности в подвижном составе необходимо определить производительность автопоезда по формуле, м^3

$$П = \frac{(T - t_{пз}) \times Q_p \times k \times k_в}{\frac{120 \times l_{ср}}{V_{ср}} + t_{пр}}, \qquad 6.23$$

где T – продолжительность смены, мин;

$t_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, мин;

$Q_р$ – полезная нагрузка на транспортное средство, м^3;

k – коэффициент использования грузоподъемности, k = 0,85...1,00;

$k_в$ – коэффициент использования рабочего времени смены, $k_в$ = 0,85...0,90;

$l_{ср}$ – среднее расстояние вывозки, км,

$$l_{ср} = \frac{\sum (q_i \times l_i)}{\sum q_i}, \qquad 6.24$$

где q_i – годовой грузооборот с i-го погрузочного пункта, тыс. м^3;

l_i – расстояние вывозки с i-го погрузочного пункта, км;

$V_{ср}$ – среднетехническая скорость автопоезда за рейс, км/ч (в процессе расчетов используем табл. 6.8–6.9),

$$V_{ср} = \frac{2V_{гр} \times V_{пор}}{V_{гр} + V_{пор}}, \quad 6.25$$

$t_{пр}$ – время простоев за один рейс, мин.

$$t_{пр} = t_{пог} + t_{раз} + t_{р}, \quad 6.26$$

где $t_{р}$ – продолжительность простоя в пути при разъездах (на однополостных дорогах, $t_{р}$ = 3,00... 5,00 мин);

$t_{пог}$, $t_{раз}$ – продолжительность погрузки и разгрузки, мин.

Продолжительность погрузки автопоезда

$$t_{пог} = t_0 + t_1 \times Q_{Н}, \quad 6.27$$

где t_0 – время на установку автопоезда и ожидания погрузки (при погрузке челюстным погрузчиком, козловым или кабельным кранами равно 10 мин, при погрузке манипулятором, установленным на автопоезде, равно 5 мин);

t_1 – время на погрузку 1 м^3 (при погрузке челюстным погрузчиком или манипулятором, установленным на автопоезде, t_1 = 1,20 мин, козловым или кабельным кранами t_1 = 0,50 мин).

Продолжительность разгрузки автопоезда

$$t_{раз} = t_{0.1} + t_{1.1}, \quad 6.28$$

где $t_{0.1}$ – время на установку автопоезда под разгрузку и ожидание разгрузки, $t_{0.1}$ = 5 мин;

$t_{1.1}$ – время разгрузки автопоезда кабельными или козловыми кранами,

$t_{1.1}$ = 10 мин.

Подготовительно-заключительное время равно

– 20 мин – для автомобилей с карбюраторным и инжекторным двигателем;

– 30 мин – для автомобилей с дизельным двигателем.

Рабочий парк линейных тягачей необходимый для выполнения производительной программы, шт

$$N = \frac{Q_{год} \times K_н}{П \times A \times Z}, \quad 6.29$$

где $Q_{год}$ – годовой объем вывозки, м^3;

$K_н$ – коэффициент неравномерности работы дороги, $K_н$= 1,20;

A – количество дней работы дороги, дней;

Z – число смен работы.

Инвентарный парк автомобилей, шт

$$N_{инв} = \frac{N}{K_т} + K_р \times N, \quad 6.30$$

где $K_т$ – коэффициент технической готовности автомобилей, равный при работе:

– в 1 смену$K_т$ = 0,86;

– в 2 смены $K_т$ =0,80;

– в 3 смены $K_т$ =0,75;

$K_р$ – коэффициент, учитывающий резервные автомобили, $K_р$= 0,17.

Численность прицепного состава, шт

$$N_{пр} = N_{инв} \times K_{пр}, \quad 6.31$$

где $K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий тип автопоезда

– «автомобиль + роспуск» $K_{пр}$=1;

– «автомобиль + полуприцеп + роспуск» при перецепке на погрузочном пункте $K_{пр}$=2;

– «автомобиль + полуприцеп + роспуск» при перецепке на погрузочном и разгрузочном пункте $K_{пр}$=3.

Таблица 6.12.

Скорость движения лесовозных автопоездов

Марка тягача	Тип покрытия					
	Усовершенствованное			Переходные		
	Максимальный подъем, ‰					
	0-40	41-60	61-90	0-40	41-60	61-90
1	2	3	4	5	6	7
КрАЗ-260 Л КрАЗ-6437	40	34	31	35	31	28
МЗКТ-69238 ТАТРА Т-815	43	39	35	39	35	32

Окончание табл. 6.12.

МАЗ-64225 МАЗ-6303	46	44	42	38	36	32
МАЗ-5434	44	40	36	40	36	33
КамАЗ-43118 КамАЗ-53212	46	40	36	42	38	34
Урал-4320	41	36	32	36	32	30
ЗИЛ-131	41	36	32	36	32	30

Примечание

1. К усовершенствованным типам покрытия отнесены цементобетонные, асфальтобетонные с поверхностной обработкой и сплошные ледяные; к переходным – колейные из железобетонных плит, щебеночные, гравийные, грунтощебеночные из оптимальных естественных смесей и снежные.

2. На магистралях с однополостным движением скорости движения принимают с понижающим коэффициентами:

– для усовершенствованных и переходных покрытий – 0,90;

– для грунтогравийных и деревогрунтовых – 0,80; на ветках – 0,70. Скорость движения на усах – 12 км/ ч.

6.5. Организация работы водителей на вывозке леса

В лесозаготовительном предприятии основным подразделением, выполняющим лесотранспортные работы, является лесотранспортный цех. Работа водителей лесовозных автопоездов работа автопоездов может быть организованна по различным формам:

I. Индивидуальная форма – за каждым водителем закрепляется один автопоезд. Вывозка леса осуществляется в одну смену в сутки.

II. Вывозка экипажами – за двумя или тремя водителями закрепляется один автопоезд. Вывозка леса производится в две или три смены в сутки. Все водители работают по одному путевому листу

Одну смену в неделю все водители занимаются профилактическим ремонтам автопоезда.

III. Бригадный подряд – создаются укрепленные подрядные бригады 15…30 человек, работающие по единому наряду. За бригадой закрепляются 5…10 автопоездов, 1…2 погрузчика, и дру-

гие машины, необходимые для выполнения расчетного объема вывозки леса.

Могут быть и другие предложенные формы организации работы водителей.

Вывозка леса может проектироваться по одно или двухступенчатой схеме автопоездами однокомплектными, многокомплектными или сменным прицепным составом.

6.6. График движения лесовозных автопоездов

Основой организации движения лесовозных автопоездов является график движения, объединяющий работу дороги, погрузочных пунктов и нижнего лесного склада.

Сменный объем вывозки леса в м^3 с каждого погрузочного пункта

$$Q_c = \frac{Q_n}{A \times Z}, \qquad 6.32$$

где $Q_п$ – объем вывозки леса погрузочного пункта, м^3.

Количество погрузочных механизмов (погрузочных площадок) работающих одновременно в погрузочных пунктах

$$M = \frac{Q_c}{П_n}, \qquad 6.33$$

где $П_п$ – сменная производительность погрузочного механизма (сменная производительность челюстного погрузчика $П_п$=180… 250 м^3/см).

Общее количество рейсов в смену, необходимое для вывозки сменного объема леса

$$m = \frac{Q_c}{Q_n}, \qquad 6.34$$

где $Q_н$ – полезная нагрузка на транспортное средство, м^3.

Продолжительность одного рейса в минутах

$$t = T_{пор} + T_{гр} + t_{пог} + t_{раз} + t_р, \qquad 6.35$$

где $T_{пор}$ и $T_{гр}$ – время хода автопоезда в порожнем и грузовом направлении, мин;

$t_{пог}$, $t_{раз}$ – продолжительность погрузки и разгрузки, мин;

$t_р$ – продолжительность простоя в пути при разъездах (на однополостных дорогах, $t_р$ =3,00...5,00 мин).

Количество рейсов, выполненных одним автопоездом, шт

$$n = \frac{T - t_{пз}}{t}. \qquad 6.36$$

Интервал подачи автопоездов, мин

$$t_и = \frac{T - t_{пз}}{m}. \qquad 6.37$$

Количество автопоездов на линии, шт

$$N = \frac{m}{n}. \qquad 6.38$$

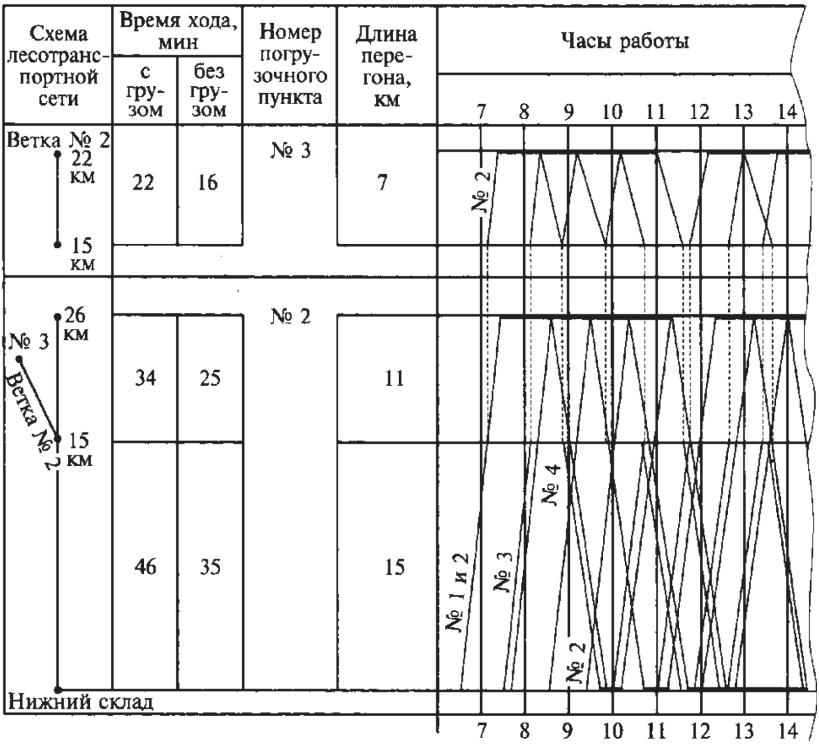


Рис. 6.3. Фрагмент графика движения автопоездов: № 1–4 – номера поездов

Приведенный расчет выполняется для каждого погрузочного пункта.

График движения вычерчивается в осях, время в часах – ось абсцисс, и путь от нижнего склада до погрузочных пунктов в километрах – ось ординат.

Каждому автопоезду присваивается порядковый номер. При построении графика движения необходимо отправлять автопоезда в лес ритмично – через интервал подачи, чтобы избежать простоев автопоездов в ожидании погрузки, с выделением перерывов на обед.

Для водителей автопоездов обеденный перерыв может быть предусмотрен на нижнем складе или погрузочном пункте. Фрагмент графика движения автопоездов представлен на рис. 6.3.

6.7. Определение потребности в горючих и смазочных материалах и авторезине

Годовая потребность в топливе в тоннах для лесовозных автопоездов определяется по формуле

$$E = [(q_1 + q_2 \times Q_{пр}) \times \frac{L_0}{100} + q \times \frac{R}{100}] \times j \times k_1 \times k_2 \times k_3, \qquad 6.39$$

где q_1 – норма расхода топлива на 100 км пробега, л;

q_2 – норма расхода топлива на каждый 100 т. км грузовой работы, л (для карбюраторных двигателей – 2,5 л и для дизельных двигателей – 1,5 л);

$Q_{пр}$ – масса прицепного состава без груза, т;

R – грузовая работа дороги, т км/ год;

j – плотность топлива, т/м^3 (бензин – 0,740…0,755 т/м^3 при 15^0 С);

L_0 – общий пробег автопоездов за день, км;

k_1, k_2, k_3 – коэффициенты учитывающие дополнительный расход топлива; на гаражные нужды k_1=1,01, при вывозки древесины по усам k_2=1,05… 1,08, при вывозке деревьев k_3 =1,11… 1,25.

Общий пробег автопоездов за день, км

$$L_0 = (2l_{ср} + l_н)\frac{Q_г}{Q_н}, \qquad 6.40$$

где $l_{ср}$ – среднее расстояние вывозки леса, км;

$l_н$ – (нулевой) пробег за один рейс на нижнем складе и погрузочном пункте, км;

$Q_г$ – годовой объем вывозки, м^3;

$Q_р$ – рейсовая нагрузка на автопоезд, м^3.

Грузовая работа дороги, т км/год

$$R = 0.5 \times L_0 \times Q_p. \qquad 6.41$$

Расход смазочных материалов принимаем в процентах, % от расхода топлива:

моторное масло	2,4/ 3,2
трансмиссионное масло	0,3/ 0,4
пластичные смазки	0,2/ 0,3

В числителе значение для карбюраторных двигателей, в знаменателе для дизельных.

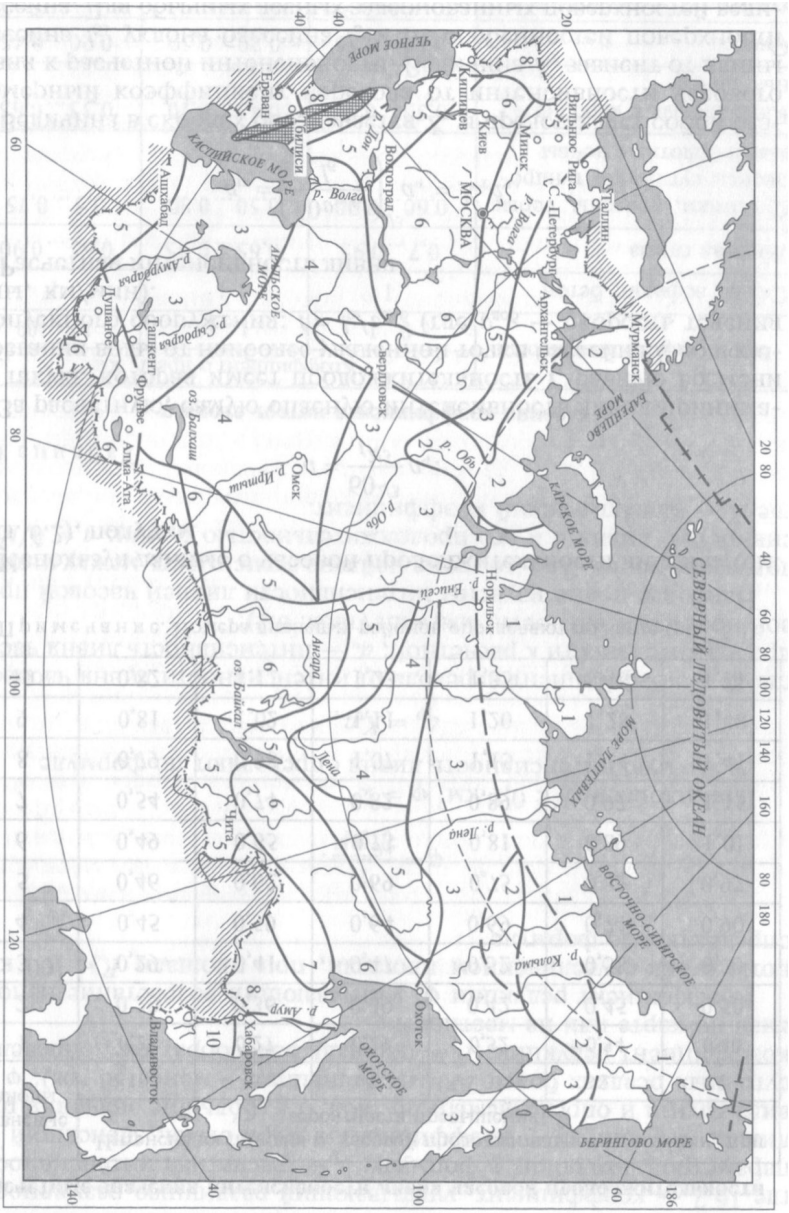
Потребность в авторезине, комплектах шин, определяется по каждому типу шин

$$n_ш = \frac{L \times n}{m}, \qquad 6.42$$

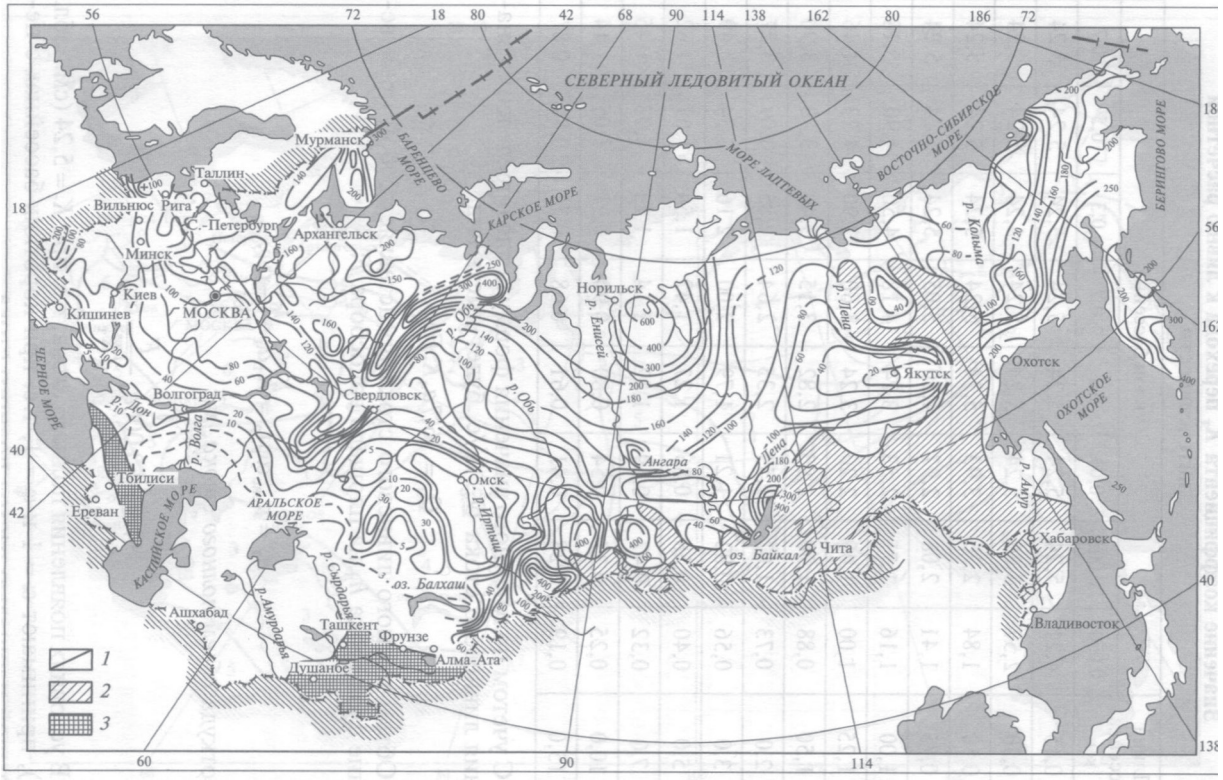
где L – общий пробег автомобилей с однотипными шинами, км (для лесовозных автопоездов $L = L_0$);

n – количество шин на колесах автомобиля (автопоезда), шт;

m – норма пробега шины, км (для автопоездов m=59000).



Приложение 1. Карта ливневых районов Российской Федерации и стран ближнего зарубежья (номера районов — см. табл. 6.2)



Приложение 2. Карта дорожно-климатических зон

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сухопутный транспорт леса. Под ред. В.И. Алябьева. М., Лесная промышленность, 1990. 416 с.
2. Вырко П.П. Сухопутный транспорт леса. Минску Высшая школа, 1987. 440 с.
3. СНиП 2.05.07-91. Промышленный транспорт.
4. Инструкция по проектированию лесозаготовительных предприятий, ВСН 01-82. Минлесбумпром СССР. Гипролестранс. Л.: Гипролестранс, 1984. 188 с.
5. Инструкция по проектированию лесохозяйственных автомобильных дорог, ВСН 7-82. Гослесхоз СССР. Союзгипролесхоз. М.: Союзгипролесхоз, 1982. 148 с.
6. Справочник но климату СССР. Вып Л. 8. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. 359 с.
7. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика.
8. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик.
9. СНиП 2.05.03-84, Мосты и трубы. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений, ВНИИ транспортного строительства. М.: Транспорт, 1992. 408 с.
10. Митин Н.А. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах. М.: Недра, 1978. 480 с.
11. Антонов Н.М. и др. Проектирование и разбивка вертикальных кривых на автомобильных дорогах. М.: Транспорт, 1968. 200 с.
12. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги.
13. СНиП 11-60-75. Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов.
15. ГОСТ Р 21.1207-7. Система проектной документации для строительства. Условные графические обозначения на чертежах автомобильных дорог.

16. ГОСТ Р 21.1701-7. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог,
17. ГОСТ 21.511-3. Система проектной документации для строительства. Автомобильные дороги. Земляное полотно и дорожные одежды. Рабочие чертежи.
18. ГОСТ 21.204-3. Система проектной документации для строительства. Условные графические обозначения и изображения элементов генеральных планов и сооружений транспорта.

Научное издание

Никитин Владимир Валентинович
Борисов Вячеслав Алексеевич
Акинин Дмитрий Вячеславович
Сорокин Михаил Александрович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ И ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ

Под редакцией А.А. Камусина

Допущено в качестве учебного пособия для подготовки бакалавров и магистров 35.03.02, 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» по профилю «Лесоинженерное дело»

В авторской редакции
Оригинал-макет и верстка авторов

Доступ к сборнику – свободный.
Режим доступа: http://nkras.ru/arhiv/2018/borisov.pdf
Сборник содержится в едином файле PDF.

Дата выхода в свет 16.04.2018.
Свободная цена. Заказ 1604/2018.

По вопросам приобретения
и издания литературы обращаться по адресу:
Издательство «Научно-инновационный центр»
ул. 9 Мая, 5/192, г. Красноярск, 660127 Россия
тел. +7 (923) 358-10-20
Электронная почта: monography@nkras.ru
Дополнительная информация на сайте: www.nkras.ru

Допущено
в качестве учебного пособия
для подготовки бакалавров
и магистров 35.03.02,
35.04.02 «Технология
лесозаготовительных и
деревоперерабатывающих
производств»
по профилю
«Лесоинженерное дело»