625.7
Д79

Г. Д. ДУБЕЛИР, Б. Г. КОРНЕЕВ,
М. Н. КУДРЯВЦЕВ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАРКОМХОЗА РСФСР • 1938

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

Г. Д. ДУБЕЛИР, Б. Г КОРНЕЕВ,
М. Н. КУДРЯВЦЕВ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Под редакцией
проф. Г. Д. ДУБЕЛИРА

Утверждено Отделом учебных заведений Гушосдора НКВД
в качестве учебника для дорожных факультетов
автомобильно-дорожных институтов

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАРКОМХОЗА РСФСР
Москва 1938 Ленинград

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

625
Д—79

Книга „Основы проектирования автомобильных дорог" содержит сведения: о классификации дорог, о тяге на дорогах, о поперечном и продольном профиле и плане дорог и устройстве дорог на закруглениях.

Книга предназначена для студентов автомобильно-дорожных институтов в качестве учебника при прохождении первой части курса „Изыскания и проектирование дорог".

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник предназначен для студентов автомобильно-дорожных институтов при прохождении „Основ проектирования автомобильных дорог", т. е. первой части курса „Изыскания и проектирование дорог". Учебник отвечает разделам курса, проходимым на 5-м и отчасти на 9-м семестрах. Вслед за этой книгой составители предполагают издать учебники по остальным разделам курса, т. е. „Земляное полотно" и „Изыскания".

При составлении данного учебника были использованы новые „Технические условия на сооружения автомобильных дорог и мостов", изданные Гушосдором НКВД СССР в феврале 1938 г. Вместе с тем, в соответствующих местах книги учтены и условия проектирования автогужевых дорог, обслуживающих местное движение, для которых в настоящее время не имеется утвержденных технических условий.

Учебник предназначен для самостоятельной работы студентов над материалом лекций и для подготовки к экзаменам. При этом предполагается, что точный объем лекций и требуемых от студента на экзамене знаний, будет установлен, в каждом отдельном случае, руководителем кафедры.

В виде приложения к учебнику выпускается сборник материалов по проектированию дорог, который может быть использован студентами при выполнении курсовых и дипломных проектов, а также инженерами при проектировании автомобильных дорог.

В этот сборник включены таблицы для расчетов, а также некоторые дополнения к материалу, изложенному в учебнике.

Учебник и сборник составлены работниками кафедр изысканий и проектирования дорог Ленинградского и Сибирского автомобильно-дорожных институтов.

Проф. Г. Д. Дубелиром написаны главы I и II, а также подготовлены вчерне все остальные главы.

Доц. Б. Г Корнеевым дополнены и переработаны: глава IV „Расположение дороги в плане", гл. V „Видимость", гл. VIII „Детали устройства дороги на закруглениях" (виражи, переходные кривые, серпантины).

Доц. М. Н. Кудрявцевым дополнены и переработаны: гл. III „Поперечный профиль дороги", гл. VI „Продольный профиль" и гл. VII „Вертикальные кривые".

НБ УДУНТ (ДИТ)

Окончательная редакция всей книги выполнена Г. Д. Дубелиром.

Таблицы переходных кривых разработаны ассистентом кафедры инж. О. С. Блиновым. Оригиналы чертежей выполнены старшим лаборантом Ю. К. Лабутц.

Замечания и пожелания об исправлении и дополнении курса авторы просят направлять по адресу: Ленинград, Московское шоссе, 74, ЛАДИ, Дорожный кабинет.

Проф. Г. Д. Дубелир

Июль 1938 г.

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

ГЛАВА I

КЛАССИФИКАЦИЯ ДОРОГ. ЭКСПЛОАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

1. Современная дорожная сеть в СССР и в капиталистических странах

Автомобильные дороги составляют часть единой транспортной сети, обслуживающей оборону, хозяйство и культурные потребности народов СССР.

Дорожное хозяйство царской России было очень отсталым. В то время, как в Западной Европе и в США к 1914 г., в результате появления автомобильного транспорта, развилась новая техника дорожного строительства, в России в основном были грунтовые дороги. При общем протяжении сети около 3 000 000 км, дорог с каменной одеждой было 23 000 км, причем тип покрытия этих дорог (булыжная мостовая и оелое шоссе) был непригоден для автомобильного движения.

Основной транспорт зерна к железным дорогам, для дальнейшей отправки за границу и в большие города, а также дров и пр., производился преимущественно зимой, по санному пути, и частично осенью, по бездорожью.

Непроездность дорожной сети заставила, во время войны 1914—1917 гг., развернуть лихорадочнсе строительство мостов и дорог, не только в прифронтовой полосе, но и в глубоком тылу. Строились деревянные мосты и грунтовые дороги.

В годы гражданской войны значительная часть дорог и, в особенности, мостов была разрушена. Начиная с 1922—1923 гг. советское правительство приступило к восстановлению наиболее непроезжих участков. К началу первой пятилетки протяжение дорог с каменной одеждой достигло 31 000 км. Начало планомерного дорожного строительства совпало с ростом продукции автозаводов. В первую пятилетку была освоена техника строительства грунтовых дорог машинами. В 1927—1932 гг. началось строительство черных дорог современного типа; появился асфальтобетон на городских улицах.

Вторая пятилетка была началом реконструкции дорожной сети СССР. Было выполнено большое строительство гравийных и грунтовых дорог в БССР, УССР, в Сибири, Таджикской ССР

НБ УЛУГТ (АПТ)

и в других частях Советского Союза. Была произведена реконструкция дорог Московского и других узлов, перестроено Южнобережное Крымское шоссе; построена автомагистраль Сочи—Мацеста с грандиозными архитектурно оформленными сооружениями. В конце второй пятилетки (1936 г.) было приступлено к строительству автомагистрали Москва — Минск. В общем, за вторую пятилетку было построено дорог больше, чем за все время существования царской России, и к концу 1937 г. Советский Союз имел 87 000 км дорог с каменной одеждой.

Несмотря, однако, на достигнутые успехи, наши дороги и в отношении строительства, и в отношении эксплоатации отстали от быстрого движения всего советского хозяйства.

Строительство дорог было в значительной степени задержано врагами народа, сорвавшими надлежащее использование дорожных машин и растягивавшими строительство на ряд лет.

Задачей третьей пятилетки является коренная реконструкция дорожного хозяйства и ликвидация последствий вредительства в строительстве и содержании дорог. В частности, задачей третьей пятилетки является:

1. Укрепление обороноспособности СССР постройкой дорог и мостов, имеющих стратегическое и мобилизационное значение.

2. Приведение основной сети дорог магистрального и местного значения в состояние, соответствующее росту автомобильного транспорта. К 1939 г. парк автомобилей будет близок к 1 млн. машин, а к началу четвертой пятилетки Советский Союз будет иметь около 3 млн. машин и выйдет на первое место в Европе. Использование такого парка требует хороших дорог, чтобы получить от автомобильного транспорта все, что он может дать— скорость, нагрузку, производительность и, вместе с тем, увеличить срок службы автомобилей, сократить расход горючего, металла и резины.

Для этого необходимо достигнуть в дорожном деле подлинного освоения высот мировой дорожной техники.

В капиталистических странах Западной Европы имеется выстроенная, примерно за 150 лет, густая сеть каменных дорог, протяжением свыше 1 млн. км. В США строительство дорог капитального типа получило развитие преимущественно за последние 30 лет и достигло длины свыше 300 000 км (не считая гравийных и улучшенных грунтовых дорог, которых в США имеется около 800 000 км). Дорожная сеть передовых капиталистических стран не только велика в количественном отношении, но и высока в качественном. В целом можно считать на данный момент разрешенной техническую проблему постройки и содержания дорог, в частности цементобетонных и черных, способных противостоять разрушительному действию автомобилей и в то же время обеспечивающих автомобилям большие скорости, спокойный ход и надежную работу в течение длительного промежутка времени.

НБ УДУТ (ДІІТ)

Особенно следует отметить эксплоатационные качества и культурное состояние дорог: ровная поверхность, отсутствие грязи и пыли, обсадка деревьями, иногда фруктовыми, обстановка сигналами и указателями, освещение фонарями. Мощная промышленность дает большой ассортимент машин для работ по постройке и содержанию дорог и разнообразие дорожностроительных материалов высокого качества. Передовые капиталистические страны обладают производственными возможностями и опытом в строительстве и эксплоатации дорог. Однако, все противоречия, присущие капиталистическому строю, сказываются полностью и в дорожном хозяйстве. Анархия производства сказалась с особенной силой во время последнего кризиса. Имеется возможность производить какие угодно машины, но их не делают, потому что в них нет надобности, за сокращением дорожностроительных программ.

Особенно характерно положение дорожного хозяйства в фашистских странах. Дорожное строительство подчинено в основном не целям развития производительных сил, а целям подготовки войны (германские автострады, строительство итальянцами дорог в Абиссинии). Это строительство в значительной степени осуществляется принудительным ручным трудом, а не машинами. Уровень содержания дорог за годы кризиса сильно упал и ремонт на многих участках не покрывает даже естественного износа (в частности в Германии), отчего на дорогах появились невиданные ранее выбоины и колеи. Основной чертой капиталистического дорожного хозяйства является однако то, что оно не представляет собой сознательного и планомерного средства повышения жизненного уровня трудящихся, а движется интересами капиталистов, извлекающих прибыли. Поставка машин, материалов, строительные подряды, все это составляет предмет жестокой конкуренции, со всеми присущими последствиями и злоупотреблениями. Усовершенствования в машинах запатентованы, а способы приготовления дорожностроительных материалов засекречены. Если дорожная сеть густа и качественно высока в Англии и Франции, то этого отнюдь нельзя сказать про колонии—Индию и Индокитай. Если учесть мелкое землевладение, стихийное размещение промышленности, искусственные таможенные перегородки между карликовыми государствами Европы, то можно легко видеть, что достигнутый автомобильным транспортом и дорожной техникой уровень производительных сил перерос рамки капиталистических общественных отношений.

Принципиально отличная природа советского транспорта от транспорта капиталистического дает ему величайшие преимущества. Плановая система хозяйства дает возможность учитывать эффективность дорожного строительства с точки зрения развития производительных сил и народного хозяйства в целом, а также с точки зрения удовлетворения культурных потребностей советского народа. Поэтому, в Советском Союзе возможна постройка таких дорог, как дорога на Памир, Амуро-Якутская

НБ УДУТ (ДІІТ)

магистраль, как курортная автострада Сочи—Мацеста. Базой для дорожного строительства является развертывание советских заводов дорожного машиностроения, автомобилестроения, развертывание цементной и битумной промышленности, создание квалифицированных и энерговооруженных кадров строителей машинодорожных и мостостроительных отрядов. Несомненно, что на пути осуществления грандиозного дорожного строительства СССР имеется и не мало трудностей. В условиях капиталистического окружения, учитывая усиленную подготовку войны фашистскими государствами, СССР должен значительную часть ресурсов дорожного строительства направлять на постройку дорог стратегического значения. Промышленность дорожного машиностроения и дорожных материалов только организуется. Многочисленные новые кадры рабочих, техников и инженеров еще не везде полностью освоили приемы работ машинами, обращение с новыми материалами и т. д. Не везде достаточно внимания уделено уходу за дорогами и приданию им культурного вида.

2. Деление дорог в СССР

В настоящее время дороги в СССР делятся на следующие четыре группы по заведыванию и финансированию:

1. Дороги общесоюзного значения.
2. Дороги республиканские, краевые и областные.
3. Дороги местного значения: а) районные дороги; б) внутрихозяйственные дороги на территории промышленных комбинатов, совхозов, колхозов и т. д.
4. Городские улицы.

3. Дороги общесоюзного значения

Строительство и управление дорогами общесоюзного значения находится в ведении Главного управления шоссейных дорог (Гушосдора) НКВД СССР, а содержание и ремонт их возложено на управления и отделы шоссейных дорог (Ушосдоры и Ошосдоры) НКВД союзных и автономных республик, УНКВД краев и областей.

Дороги общесоюзного значения делятся на три класса:

Автомагистрали I класса предназначены:

1) для дальних пассажирских сообщений, со скоростями 80—120 км/час;

2) для дальних перевозок грузов со скоростями 80 км/час;

3) для массовых перевозок стратегического и мобилизационного значения.

Магистрали имеют, по большей части, значительное протяжение по несколько сот километров. Такие автомагистрали, как например, Москва—Харьков, Москва—Ленинград, Москва—Минск и др. являются звеньями единой общесоюзной сети автомобильных дорог.

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

Устройство магистралей должно учитывать тенденции развития автомобилестроения в ближайшие пятилетки. Скорость автомобилей возрастает из года в год (рис. 1). В настоящее время легковые автомашины, при хорошем состоянии дороги, могут развить скорость до 120 км/час, при средней технической скорости до 80—100 км/час. Скорости грузовых машин также растут; перевозка грузов на дальние расстояния на автомобилях в 2—3 раза быстрее перевозки по железным дорогам.

Автомобиль стал средством советского и международного туризма (рис. 2). Одновременно растет и нагрузка на автомобили и их вес. Еще в 1934 г. при расчете мостов принимался наиболь-

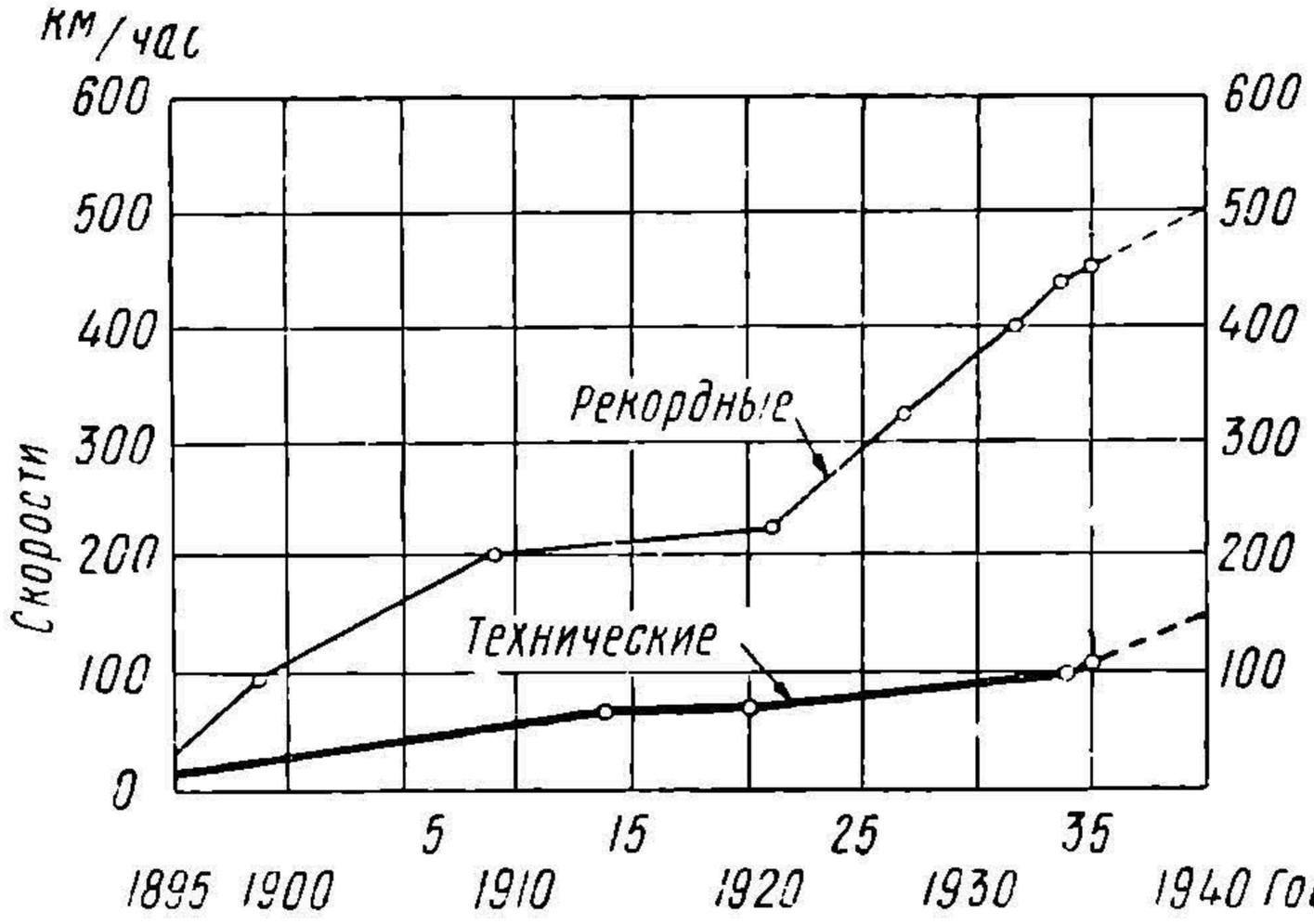


Рис. 1. Рост скорости автомобилей за 40 лет.

ший вес автомобилей в 10 т (нагрузка 5 т). В настоящее время некоторые дороги приходится рассчитывать на вес 17 т; появились грузовые машины весом в 25 т и более.

Поэтому автомагистрали должны, учитывая это развитие техники автотранспорта, строиться как капитальные сооружения высокого качества, большой прочности и устойчивости, обеспечивающие безопасность и удобство для усиленного автогрузового и легкового движения, с большими скоростями и нагрузками на ось.

Автомагистрали должны иметь достаточную. ширину и быть проходимы для тяжелых машин во всякую погоду. Пересечения магистралей с железными дорогами и с автомобильными дорогами I и II класса делаются в разных уровнях. Гужевое движение на автомагистрали I класса, по условиям безопасности, недопустимо; для него делается отдельный путь.

Автомагистрали являются дорогами высокой техники. Начало их постройки (1936 г.) является новым этапом дорожного строительства в СССР, и ставит перед советскими инженерами и техниками-дорожниками грандиозные задачи.

НБ УДУИТ (ДИТ)

Общесоюзные дороги II класса предназначены, в основном, для автомобильных сообщений, а именно:

1. для пассажирских сообщений между крупными административными, промышленными и культурными центрами, со скоростями легковых машин 80—100 км/час и автобусов дальнего сообщения 60—80 км/час;

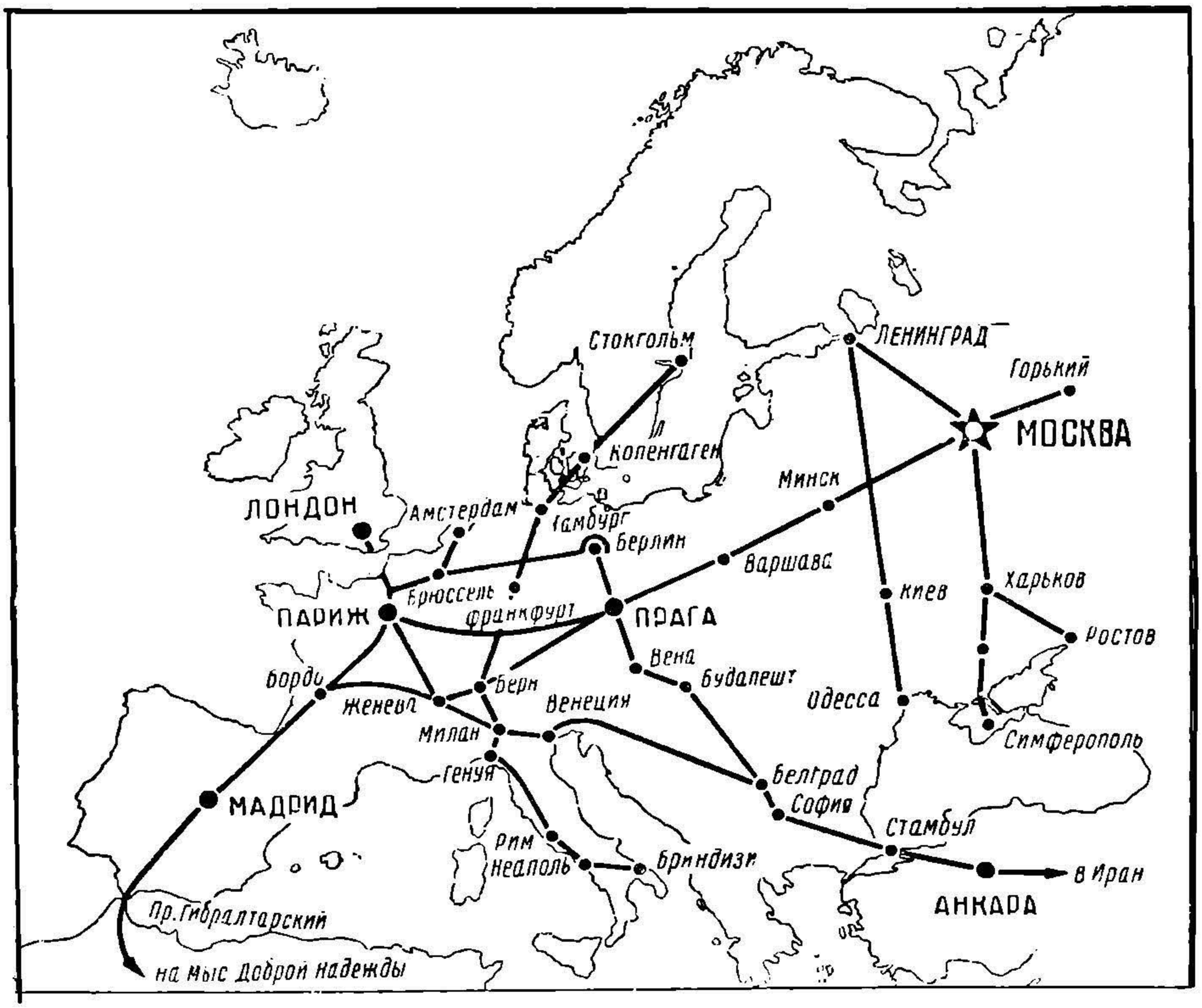


Рис. 2. Схема автомагистралей Европы.

2. для грузовых перевозок между крупными центрами добывающей и обрабатывающей промышленности, между ближайшими станциями железных дорог и пристанями;

3. для стратегических и мобилизационных перевозок.

К дорогам II класса относятся также некоторые курортные дороги Крыма и Кавказа и др., имеющие первостепенное значение, а также участки дорог на подъездах к Москве, Ленинграду, Киеву, Харькову, Тбилиси и т. д.

Некоторые участки этого рода предназначены обслуживать интенсивное движение автомобилей. Гужевое движение на дорогах II класса должно быть выделено на отдельные полосы. Только там, где этого сделать нельзя, или на время коротких периодов распутиц, гужевое движение может допускаться. Пере-

НТБ УДИТ (ДИТ)

сечения с железными дорогами, а также с другими автомобильными магистралями I и II классов, должны быть в разных уровнях. Дороги II класса должны строиться почти заново. Участки старых шоссе на направлениях I и II класса должны подвергаться серьезной реконструкции, так как в свое время (в XIX веке) были выстроены для гужевого транспорта и по своей ширине, устройству закруглений, прочности одежды и мостов, на большей части своего протяжения не годятся для современных автомобильных сообщений.

Общесоюзные дороги III класса, предназначенные для менее напряженных автомобильных сообщений, строятся по облегченным техническим требованиям (сравнительно с дорогами I и II класса). Они должны удовлетворять возможности прохода автомобилей со скоростями 40—60 км/час.

Отнесение дорог общесоюзного значения ко II и III техническим классам производится Народным комиссаром внутренних дел СССР.

4. Дороги республиканского и областного значения

Согласно системе управления дорожным хозяйством, предусмотренной новой Конституцией союзных республик, дороги республиканского и областного значения находятся в ведении Главных дорожных управлений (Главдорупров) при СНК союзных республик, дорожных управлений при СНК АССР и дорожных отделов при областных (краевых) исполнительных комитетах.

К этой группе относятся:

1. Дороги, соединяющие краевые центры с важнейшими промышленными пунктами и краевые центры с соседними областями (рис. 3). В сеть краевых дорог частью входят ранее существовавшие тракты дальних сообщений между городами (как например, Свердловск—Тюмень, Свердловск—Шадринск—Курган), частью связи с новыми промышленными центрами (Свердловск—Челябинск, Златоуст—Магнитогорск).

2. Дороги, соединяющие краевые центры с районными центрами, обслуживающие почту, автобусные сообщения, административные и культурные связи.

3. Подъездные пути к железнодорожным станциям и пристаням. При гужевом транспорте длина подъездных путей составляла от 5 до 20 км (рис. 4). Автомобильный транспорт раздвигает рамки подвоза до 50—150 км и более (рис. 4 и 5). По этим подъездным путям идет основная масса сельскохозяйственных, строительных и промышленных грузов (сырье, топливо, продукция местной промышленности, доставка продукции промышленности на места).

Эти дороги необходимо приспособить к тяжелому и напряженному движению и, вместе с тем, обеспечить дешевизну перевозки грузов. Трасса их должна быть выпрямлена, мосты

НБ УДИТ (ДІІТ)

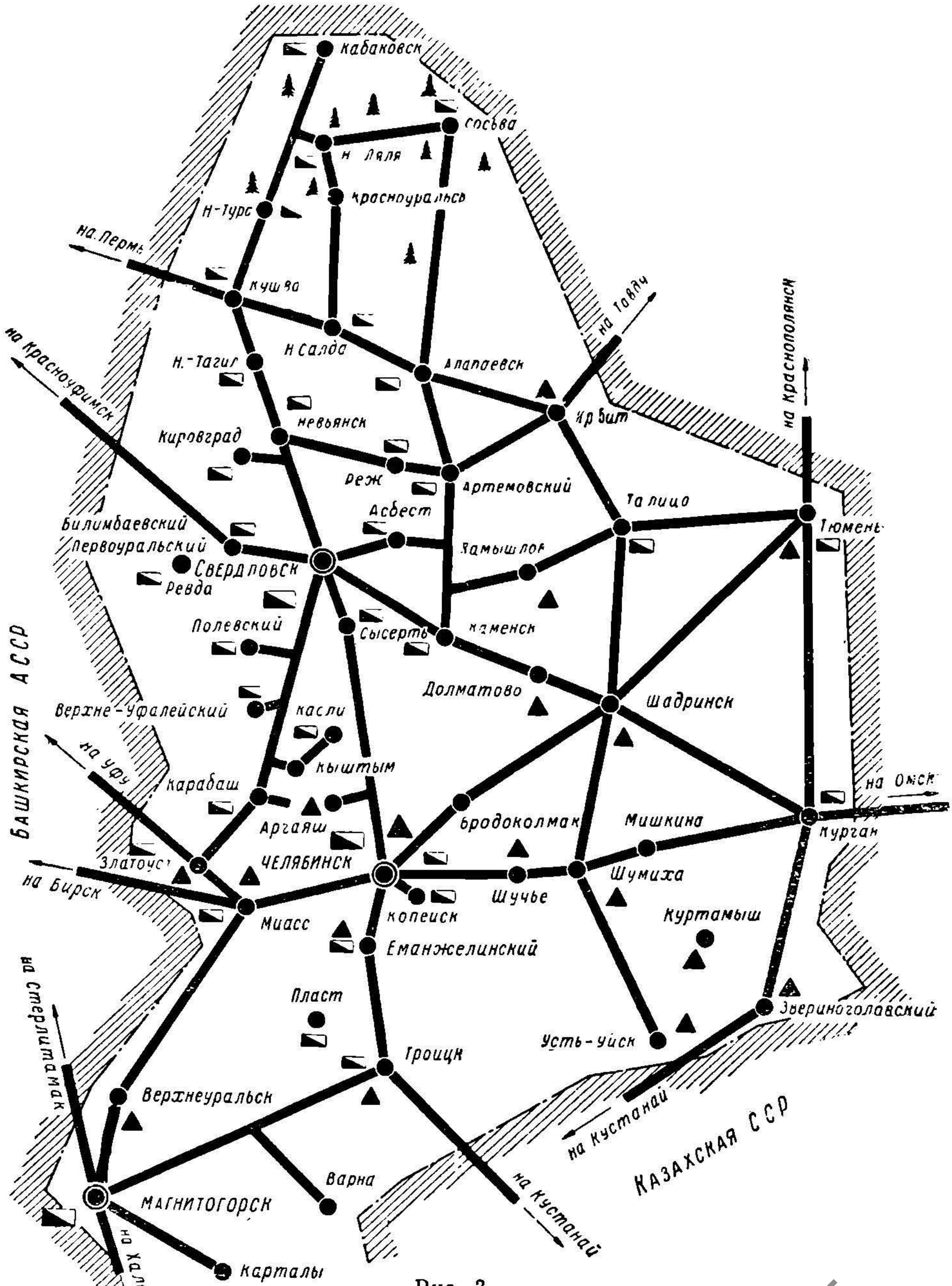


Рис. 3.

Схема дорожной сети Свердловской, Челябинской и Омской областей. Условными знаками показано размещение производительных сил.

Промышленность показана прямоугольниками, сельское хозяйство треугольниками, населенные пункты кружками.

НБ УГЛУНТ (ДІТ)

Рис. 4. Подъездные пути к автомагистрали Москва—Горький.

Автомагистраль идет параллельно железной дороге. Часть подъездных путей соединяет автомагистраль с железнодорожными станциями, часть отходит от автомагистрали на расстояние 50—100 км; обслуживает местную промышленность и сельское хозяйство. Дорога областного значения соединяет Иваново, Шую и Владимир.

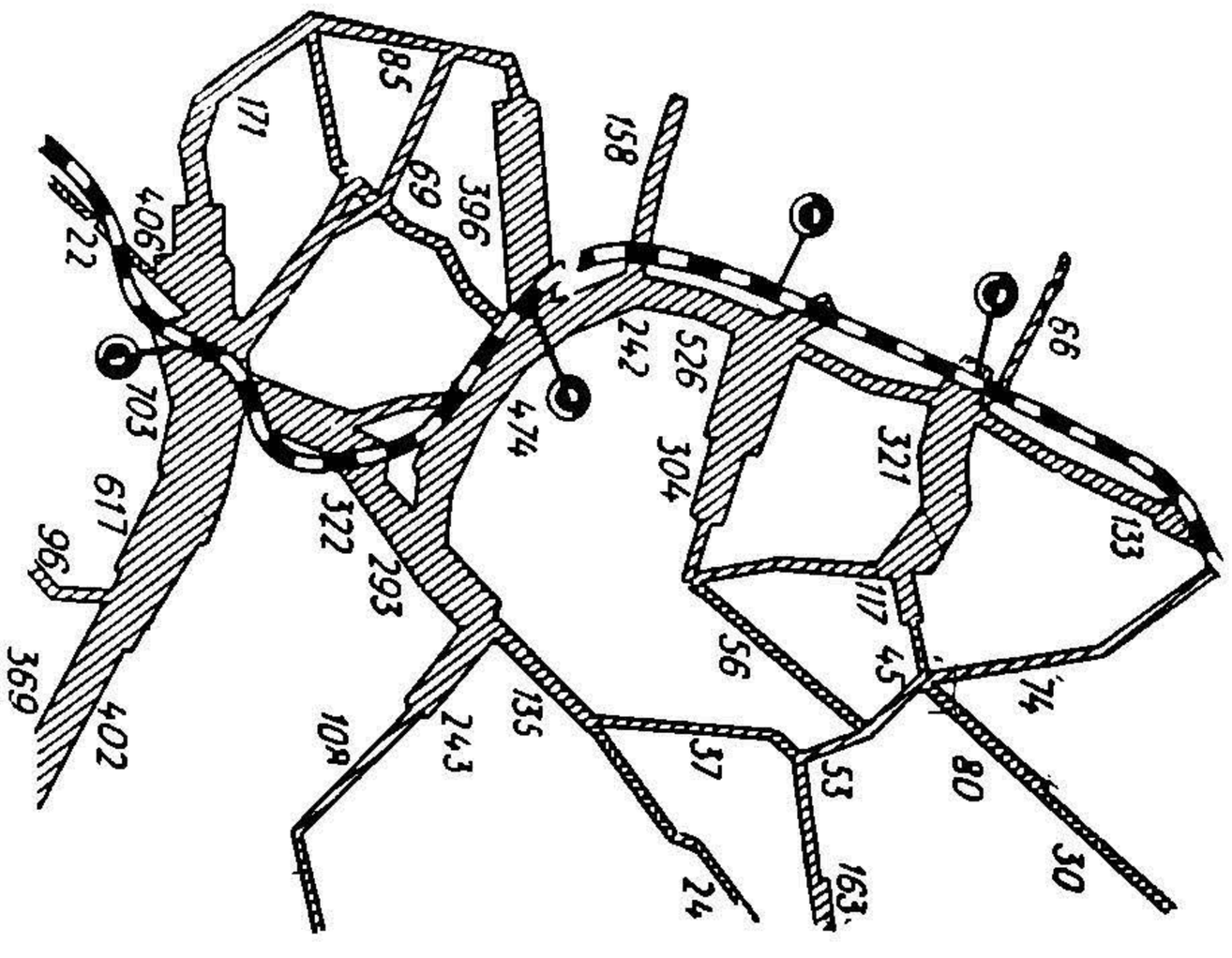


Рис. 5. Схема грузопотоков в районе железной дороги.

Главная масса идет по подъездным путям к станциям, нормально к железнодорожным линиям; часть идет вдоль железной дороги. Цифры обозначают число тонн грузов в сутки.

и дорожная одежда должны отвечать тяжелой нагрузке, ширина должна соответствовать пропускной способности.

4. Курортные дороги республиканского значения. СССР обладает высокоценными курортными районами, представляющими неисчерпаемые богатства для отдыха и лечения трудящихся; некоторые из этих мест, однако, малодоступны, вследствие отсутствия удобных автомобильных сообщений.

Курортные дороги должны быть приведены в культурный вид — покрыты беспыльной одеждой, обсажены деревьями. Мосты в пределах курортов должны быть архи-

НТБ УрГУПС (ДИТ)

тектурно оформлены. В пунктах с красивой панорамой гор, моря, реки, должны быть поставлены скамейки и беседки и отведены места для стоянки машин.

5. Дороги пионерного значения, прокладываемые для освоения новых районов, в том числе дороги в трудно доступных горных районах Кавказа, Восточной Сибири, Таджикистана и т. п. В таких районах, слабо обслуженных железнодорожными и водными путями, автогужевые дороги получают значение основных транспортных связей. Такова например, магистраль, соединяющая обширную территорию Якутской АССР с железной дорогой. Эта дорога является средством освоения золотоносных площадей, лесов и новых земель, пригодных для интенсивного животноводства. Такова Аваро-Кахетинская дорога, переваливающая через Кавказский хребет и обеспечивающая подвоз из Кахетии в трудно доступные горные районы Дагестана.

Учитывая большие трудности прокладки дорог пионерного типа в тайге, через болота, по обрывам неустойчивых горных склонов, с переходами через горные реки, следует стремиться к тому, чтобы первое время дать сквозной безопасный проход автомобилей со скоростью 30—40 км/час, а затем постепенно улучшать эти дороги, пользуясь первым путем для самой постройки.

5. Дороги местного значения

К группе дорог, обслуживающих местное движение, относятся:

1. районные дороги,

2. внутрихозяйственные и промышленные, сельскохозяйственные и лесные дороги.

1. Районные дороги находятся в ведении дорожных отделов райисполкомов. Оставшиеся от прошлого районные дороги представляют стихийно сложившуюся бессистемную сеть (рис. 6). В некоторых пунктах имеется избыток дорог, идущих почти рядом. В других местах, наоборот, нехватает таких звеньев, которые необходимы для освоения территории и давали бы возможность удобного сообщения по кратчайшему направлению между основными центрами. Перестройка районной сети имеет целью выделение основных направлений для связи с районным центром сельсоветов, заводов, крупнейших колхозов с железнодорожными станциями и между собой, при минимальном протяжении первой очереди дорожной сети.

Основной задачей улучшения этих дорог является обеспечение проходимости автомобилей и удешевление гужевых перевозок, хотя бы по наиболее важным для хозяйства направлениям. Для этого, в первую очередь, необходима постройка мостов и переправ, улучшение трудно проезжих участков, пролегающих по болотам, низменным и топким местам, сыпучим пескам, тяжелым глинам, по обрывам гор и оврагов и т. п. Работы эти

НВ УДИТ (ДІІТ)

осуществляются преимущественно в порядке трудучастия населения.

Приведение сети районных дорог в проезжее для автомобилей состояние необходимо для развертывания местной промышленности, для интенсификации сельского хозяйства, для культурных и административных связей.

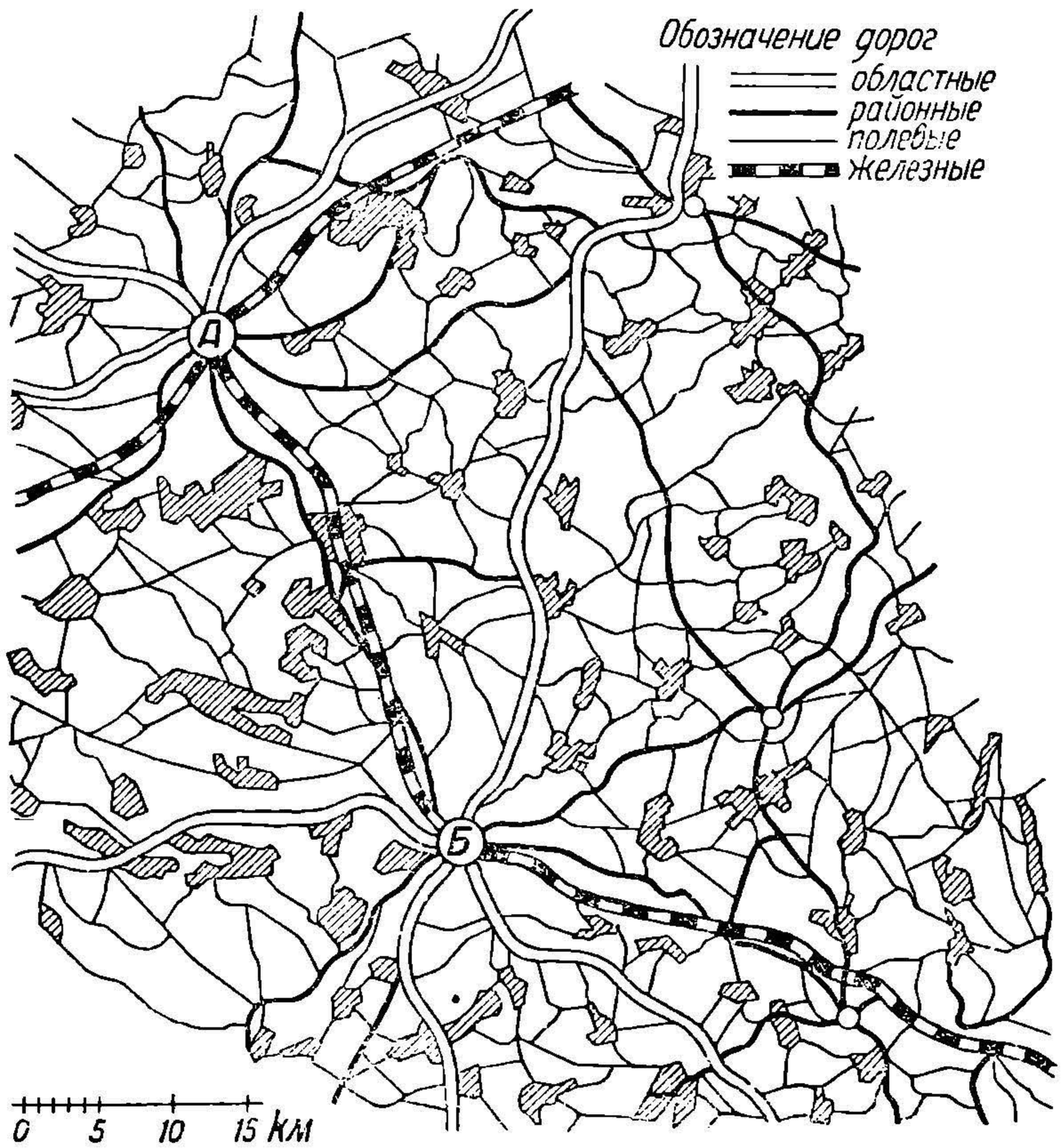


Рис. 6. Существующая сеть областных, районных и полевых дорог.

2. Внутрихозяйственные сети сельскохозяйственных и промышленных дорог. В дореволюционной России, при мелкораздробленном и обнищалом крестьянском хозяйстве, сеть полевых дорог складывалась стихийно, в виде колей, остающихся после проезда от деревни до поля, и от деревни до деревни; направление проезда выбиралось иногда по межам, иногда по неудобным для обработки землям. При коллективизации сельского хозяйства, а также при организации крупных совхозов, дорожная сеть получает новую стройную систему (рис. 7), в соответствии

НБ УДУИТ (ДИТ)

с организацией транспорта, обслуживающего местную промышленность, по вывозу урожая, подвозу семян, удобрений и пр.

При механизированной уборке урожая разгрузка комбайнов производится в бунты, расположенные на первичной сети грунтовых дорог, называемых питательными линиями (рис. 8). В бунтах зерно просушивается; от бунтов автомобили свозят зерно по сети главных дорог или непосредственно в элеватор или, иногда, в промежуточные зернохранилища отделений совхоза.

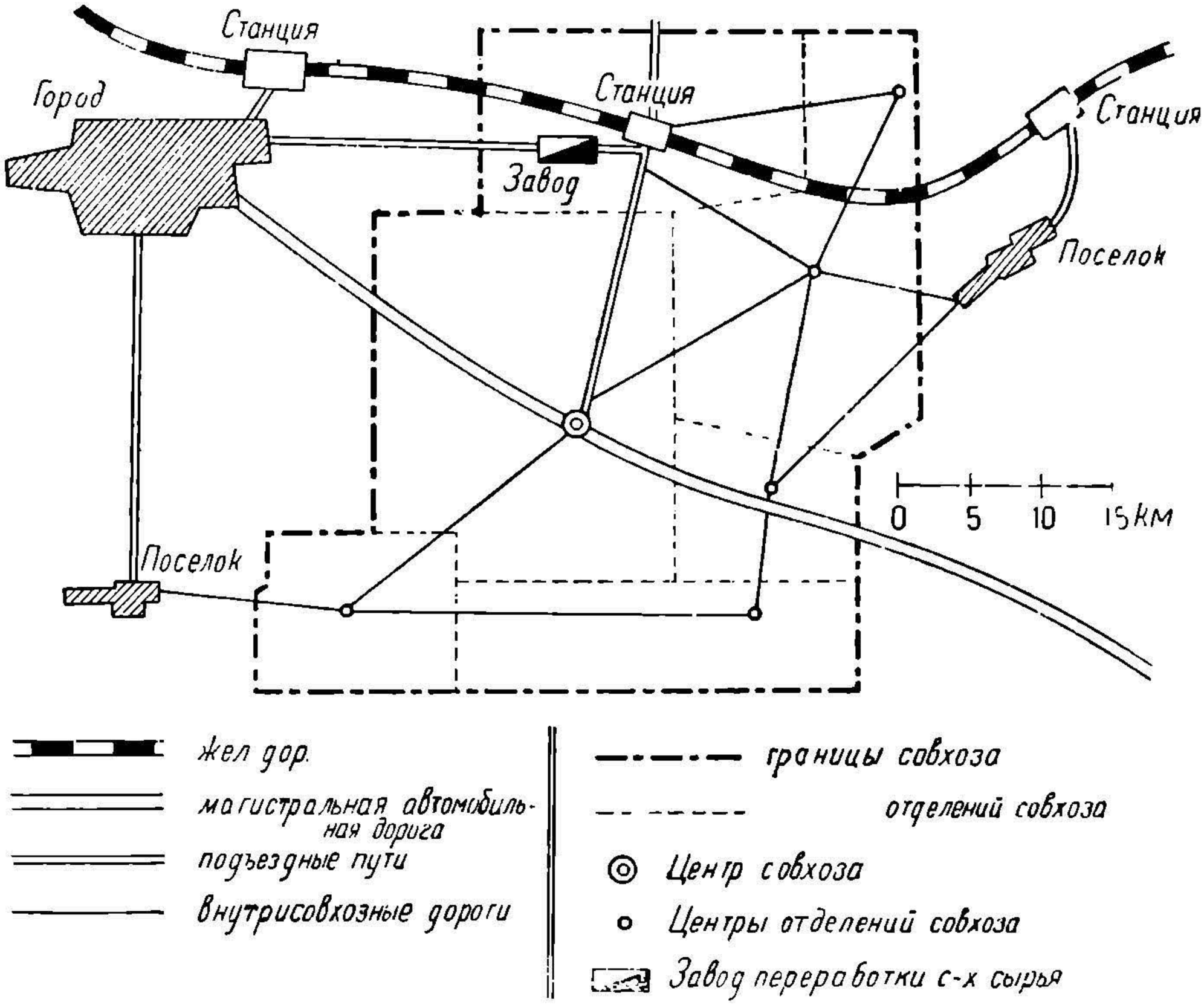


Рис. 7. Новая планировка сети районных и внутрихозяйственных дорог, в соответствии с размещением производительных сил и новой оргянизацией территории.

Дорожная сеть на территории промышленных комбинатов (многие из них, как например Магнитогорский, занимают площадь в несколько квадратных километров) служит для подъезда грузовых автомашин к цехам и складам, для связи между отдельными заводами и вспомогательными предприятиями, а также для прохода и подъезда автобусов и легковых машин от жилых районов к местам работы. Особое внимание должно быть обращено на пересечения промышленных дорог с рельсовыми внутризаводскими путями; пересечения с напряженным движением необходимо устраивать в разных уровнях. Главные артерии

НБ УДУТ (ДІІТ)

пешеходного движения должны иметь тротуары и велодорожки, древесные насаждения, а также пересекать рельсовые пути с напряженным движением поездов маневровых составов в разных уровнях, т. е. пешеходными мостиками или подземными переходами.

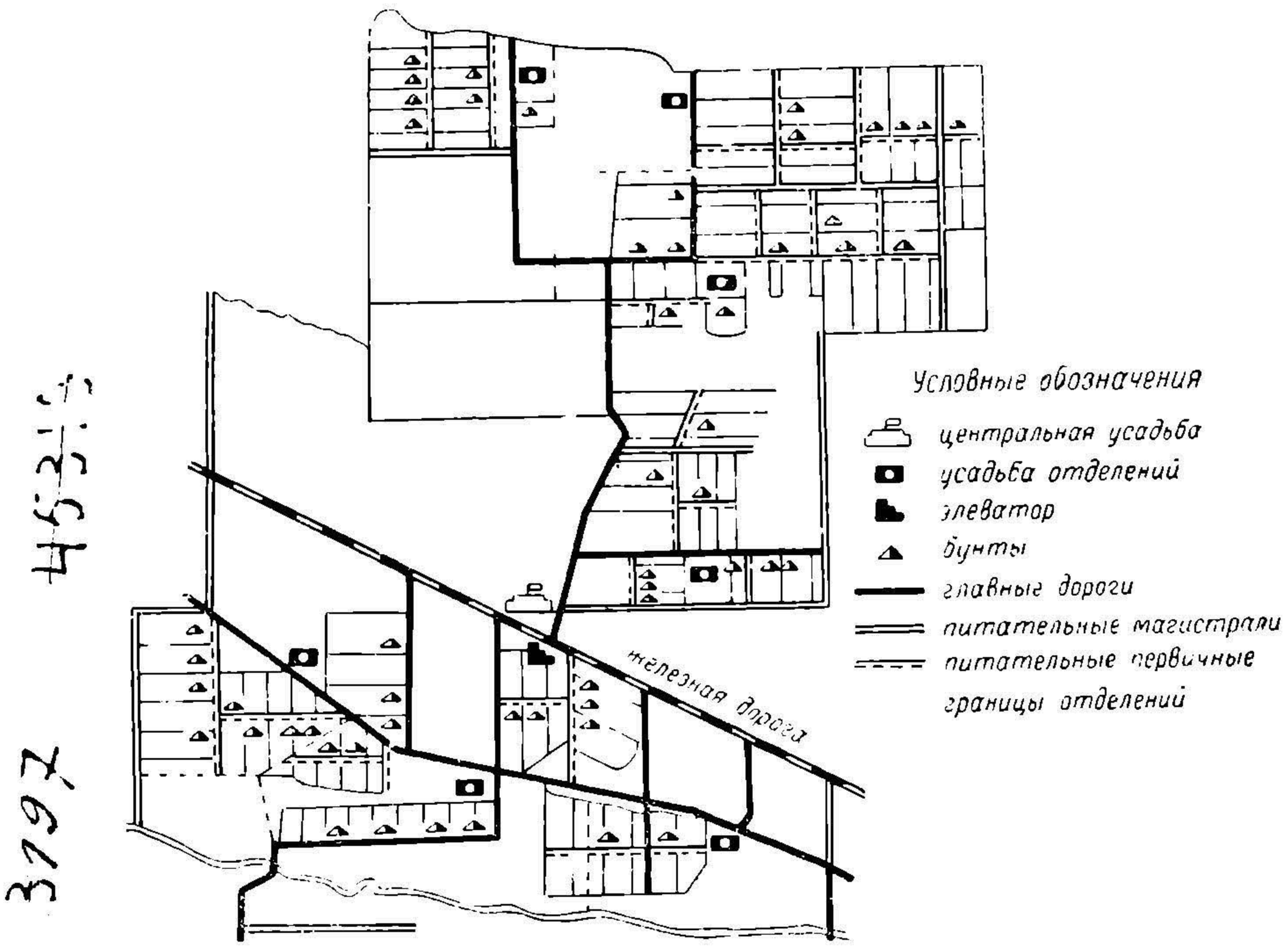


Рис. 8. План сети дорог в совхозе.

6. Городские улицы

Улицы устраиваются в соответствии с архитектурной планировкой жилых и промышленных районов и размещением общественных зданий (рис. 9). Улица отличается от дороги: а) архитектурным оформлением примыкающих строительных кварталов; границы между предназначенными для застройки кварталами и проездом называются красными линиями; б) плановым расположением подземных сооружений — водопровода, канализации, теплофикации, кабелей и т. д.; в) устройством тротуаров, трамвайных путей, полос зеленых насаждений, дорожек для велосипедной езды и т. д. В пределах городов различают: 1) магистральные улицы и площади для массовых транзитных потоков людского и грузового движения к заводам, вокзалам, общественным зданиям; 2) жилые улицы, обслуживающие местное движение между кварталами; 3) внутриквартальные проезды, предназначенные, преимущественно, для пеше-

НТБ УДИТ (ДИТ)

ходного движения, но доступные для подъезда и стоянки легковых и пожарных автомобилей, а также для небольших хозяйственных перевозок.

В целях сокращения площади дорожных покрытий и протя-

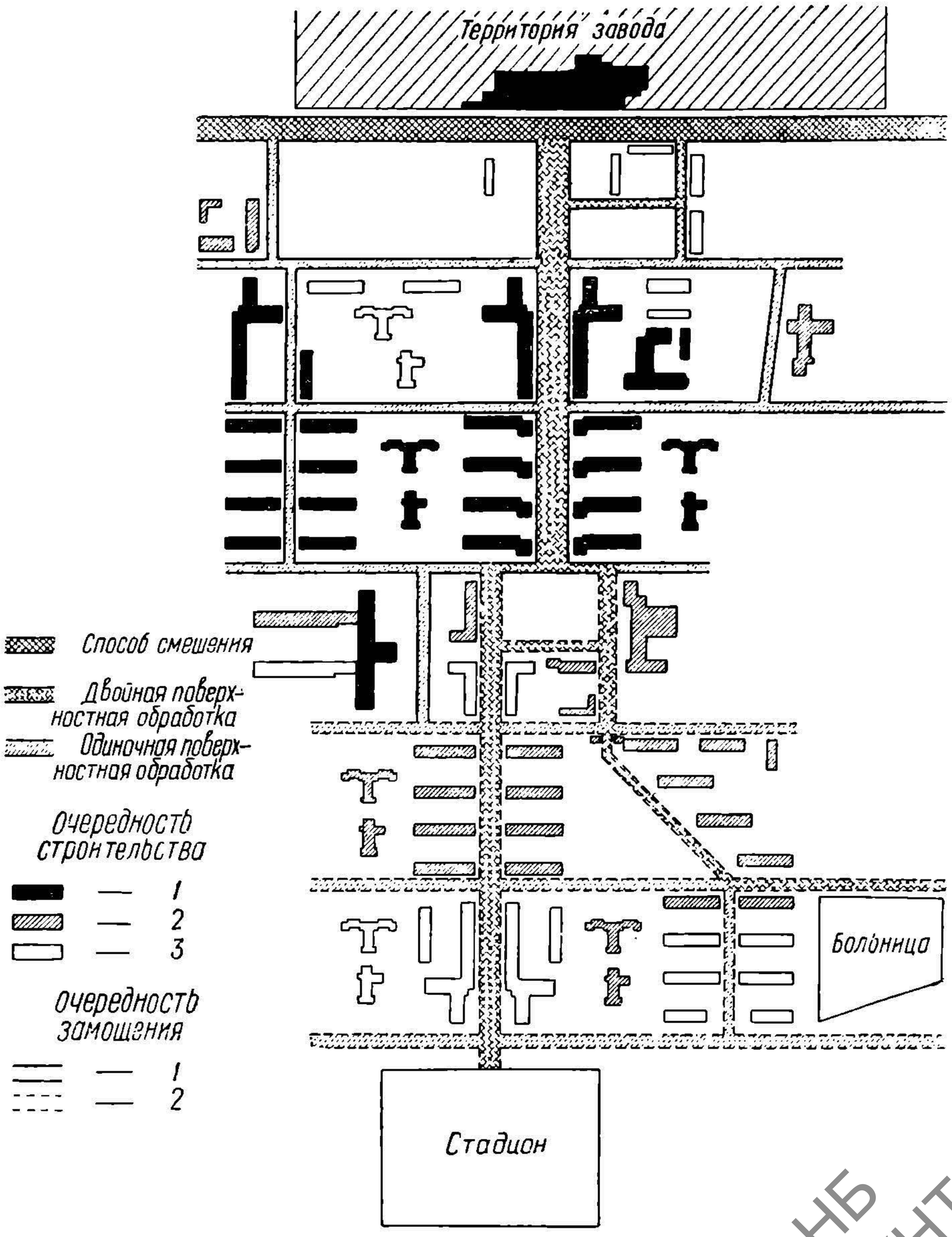


Рис. 9. Часть плана улиц нового города с показанием очередности застройки (первая очередь зданий залита черным).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

жения канализационных сетей в современной планировке советских городов стремятся: а) уменьшить по возможности протяжение магистральных улиц; б) увеличить величину квартала до 8—12 га, а расстояние между улицами до 200—400 м, и тем самым уменьшить протяжение сети улиц. Магистральные улицы делают возможно прямыми, достаточно широкими для массового автомобильного движения с большой скоростью. Архитектурное оформление магистралей имеет первостепенное значение.

7. Эксплоатационные показатели работы дорог

Работу каждой дороги можно определить некоторыми численными показателями, которые характеризуют: а) проектное задание, т. е. технические условия, которым новая дорога должна удовлетворять, или б) фактическую работу существующей дороги в данный момент.

К числу основных показателей могут быть отнесены: 1) расчетная скорость движения, 2) расчетная нагрузка, 3) пропускная способность, 4) напряженность движения, 5) работоспособность дорожной одежды, 6) транспортная производительность автомобилей.

8. Расчетная скорость

Величина расчетной скорости для легковых машин и для грузового движения задается. При массовых перевозках грузовые машины должны итти колоннами с назначенной скоростью.

Расчетная скорость в технических условиях Гушосдора 1938 г. для дорог в равнинной местности принята согласно табл. 1.

Таблица 1

Тип автомобиля и состояние поверхности дороги	Класс дороги		
	I	II	III
Для легковых машин в нормальных условиях в км/час .	120	100	60
Для легковых и грузовых машин по скользкой дороге в км/час .	80	65	40

В холмистой и горной местности даются меньшие величины скоростей (см. табл. 5 на стр. 31).

Из двух показателей скорости высший — для прохода легковых машин в нормальных условиях—должен быть обеспечен по всему протяжению дороги, при хорошем ее состоянии, в сухую погоду. При неблагоприятных условиях, при мокрой и загрязненной поверхности дороги, скорость легковых машин может, по условиям безопасности, снижаться только в небольшом числе

НВ УДИТ (ДІІТ)

отдельных пунктов — на закруглениях с минимальным радиусом, с ограждением таких мест сигналами.

Второй показатель — скорость грузовых машин при колонном движении, т. е. при массовых перевозках, должна быть безопасно осуществима по всему протяжению дороги при всяких условиях, т. е. даже при мокрой и загрязненной поверхности дороги, в том числе и на закруглениях минимальных радиусов.

Расчетная скорость является важнейшим эксплоатационным показателем для дорог магистрального типа. Расчетная скорость является основой для назначения важнейших технических элементов трассы дороги — радиусов закруглений, расстояния свободной видимости впереди машины, устройства пересечений в разных уровнях и т. д. Задание излишне высоких расчетных скоростей, не соответствующих действительной работе дороги, повлечет ненужное увеличение стоимости сооружения дороги, т. е. омертвление капитала. Задание пониженных скоростей ограничит качество дороги в будущем, так как увеличение радиусов закруглений потребует коренного переустройства полотна дороги, что, во время эксплоатации дороги очень затруднительно, а иногда даже неосуществимо.

Фактически в настоящее время мощные легковые машины типа ЗИС-101 дают скорость 110—130 км/час, обыкновенные легковые машины (типа М-1) по хорошей дороге идут без форсировки со скоростью 70—90 км/час. Указанные в технических условиях расчетные скорости для дорог I и II класса соответствуют современным автомобилям. Эти дороги должны отвечать не только современным условиям движения, но и не требовать перестройки в течение ближайших лет. В следующие пятилетки можно предвидеть значительное развитие автомобильной техники и, в частности, продолжение непрерывного роста скоростей (см. рис. 1). Тогда придется, повидимому, повысить расчетную скорость для дорог I класса.

При проходах через населенные пункты, а также в горной местности на крутых поворотах, скорость движения должна снижаться, причем по концам таких участков устанавливаются сигналы ограничения скорости. Вообще говоря, дороги следует устраивать так, чтобы этих снижений не было.

На грунтовых дорогах расчетная скорость осуществляется лишь в сухую погоду. После дождей и таяния снега скорость падает до 15—20 км/час, а на неустроенных дорогах и ниже.

9. Расчетная нагрузка

Расчетная нагрузка определяет вес грузовиков и распределение этого веса между осями. Эта расчетная подвижная нагрузка применяется при проектировании новых мостов и проверке прочности существующих и имеет большое значение для возможности пропуска боевых машин. Этой же нагрузкой при-

НТБ УАДИТ (ДІІТ)

ходится отчасти руководствоваться при выборе конструкции и проверке прочности дорожной одежды.

По техническим условиям Гушосдора 1938 г. для дорог общесоюзного значения приняты расчетные нагрузки по табл. 2.

Таблица 2

Класс дороги		
I	II	III
Н-13	Н-10	Для каменных-железобетонных и металлических сооружений
	Н-8	Для деревянных сооружений

Нагрузка Н-13 предполагает общий вес грузовика в колонном движении 13 т, при давлении на заднюю ось 9 т, и, кроме того, предполагает возможность пропуска отдельных грузовиков в 17 т (на ось 12,35 т). Еще недавно (1934 г.) наибольшая расчетная нагрузка была Н-10 (грузовик 10 т); в настоящее время к дорогам I класса предъявляются более высокие требования; можно предвидеть дальнейшее повышение нагрузок в близком будущем. При расчете новых мостов и путепроводов в районе Лондонских доков (1936 г.) была принята подвижная нагрузка из трех 20-тонных паровых тракторов, тянущих тяжеловозную прицепку в 100 т на двадцати четырех колесах. Такие высокие нагрузки требуют новых типов мостов.

В настоящее время фактическое число машин с нагрузкой Н-13 пока невелико. Однако придание мостам запаса грузоподъемности отдаляет срок их смены. Совершенно очевидно, что новые железобетонные мосты, трубы и путепроводы должны прослужить не менее 20—30 лет. По отношению к дорогам II и III класса выбор между нагрузками Н-10 и Н-8 делается в зависимости от материала сооружений.

10. Пропускная способность дорог

Пропускной способностью дорог называется наибольшее количество автомобилей, которое может свободно пройти в течение часа через определенное сечение дороги.

Величина пропускной способности имеет особое значение в условиях массовых перевозок при колонном движении. Пропускная способность определяется: 1) числом полос по ширине дороги, по которым могут итти автомобили один за другим; 2) интервалами, т. е. минимальным расстоянием между автомобилями; 3) продолжительностью задержек на пересечениях и оста-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

новках, расстоянием между пересечениями и т. д.; 4) скоростью движения.

При сколько-нибудь значительном движении требуется не менее двух полос для свободного разъезда автомобилей. Однако при возрастании движения и необходимости обгона и разделения скоростного пассажирского движения от грузового необходимо иметь 4 полосы, а иногда и более (на подъездах к большим городам).

Для дорог I класса принята ширина, соответствующая четырехполосному движению.

Пропускная способность одной полосы в час, при непрерывном движении, может быть определена по следующей формуле:

$$N = \frac{1000V}{l + x},$$

где V — скорость движения в км/час; l — длина автомобиля в м: для легковых машин 4—5 м, для грузовых 5—6,5 м, для автобусов 9—12 м; x — расстояние (интервал между автомобилями) в м, зависящее от скорости (от пути торможения, см. § 25).

При скорости	20—30	30— 40	40— 50	км/час
Расстояние (интервал) между автомобилями: в сухую погоду . . .	20—30	30— 40	40— 70	м
Расстояние (интервал) между автомобилями: при скользкой дороге .	40—60	60—100	100—180	м

Фактически при непрерывном движении максимальная пропускная способность может составить:

для легковых машин в сухую погоду	1100—1500	машин в час
„ грузовых „ „ „ „	900—1000	
„ грузовых машин по скользкой дороге	300— 400	

В случае задержек движения на пересечениях и перекрестках, пропускная способность резко снижается и составляет не более 200—250 машин в час. Для работы дорог в военное время, а также для дорог, обслуживающих пункты массовых собраний, например стадионы, выставки, необходимая пропускная способность может быть задана числом пассажиров в час. Например, для стадиона может быть задан отвоз 30 000 человек в полчаса. Если это должно быть выполнено автобусами, то так как по одной полосе автобусного движения можно пропустить 8 000—10 000 чел/час., то для указанного задания потребовалось бы не менее 6 полос, не считая обратного движения порожних машин. Для городских улиц может быть задана пропускная способность для колонн при демонстрациях.

11. Напряженность движения

Напряженность движения измеряется числом автомашин или повозок и количеством тонн груза, проходящих через данное сечение дороги в единицу времени. Различают напряженность движения: 1) машин в день или в час, 2) брутто тонн в день, 3) грузо-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

напряженность нетто тонн в год, 4) напряженность пассажирских перевозок (человек в час). Под напряженностью брутто подразумевается общий вес проходящих в единицу времени груженых и порожних машин и повозок, как грузовых, так и легковых. Напряженность брутто является показателем воздействия автомобилей на дорогу; в результате такого воздействия происходит износ проезжей части дорог. Под грузонапряженностью нетто подразумевается вес перевозимых грузов на данном участке в год (не считая веса автомобилей). Грузонапряженность нетто может различаться по направлениям и характеризует экономическое значение дороги.

Так как автомобили перевозят не только грузы, но и людей (в США имеется 15% грузовых и 85% легковых автомобилей, в СССР намечается 70% грузовых и 30% легковых), то число машин в день, или напряженность брутто тонн, более характеризует современное движение, чем грузонапряженность нетто. Для перехода от тонн нетто в год к тоннам брутто в день можно пользоваться условным коэфициентом 100. Например: 30000 т нетто в год соответствует 300 т брутто в день.

Коэфициент 100 получается, если условно принять, для ходовых типов грузовых автомобилей, отношение веса брутто к весу нетто 2,6 и тоннаж пассажирского движения в размере 40% грузового:

$$N_B = \frac{N \cdot 2{,}6 \cdot 1{,}4}{365} = \frac{N}{100}.$$

Измерение напряженности движения по дороге числом машин в день осуществимо легче всего. Однако для полной характеристики движения при учете полезно выделять машины легковые, грузовые и автобусы. По отношению к грузовым машинам полезно выделить порожние и груженые разного тоннажа. Такое подразделение одинаково необходимо и для учета тонн брутто в день. Учет фактического движения грузов в тоннах нетто трудно осуществим; он применяется для перспективного планирования дорожных сетей на пятилетку, и основывается на экономических обследованиях.

Напряженность движения на разных участках изображают графически в виде картограмм (см. рис. 5). Толщина полосы изображает напряженность в масштабе, например 1 мм—100 т брутто в день. Площадь такой полосы, очевидно, измеряется в ткм и представляет работу транспорта. Средняя ордината ступенчатого отрезка соответствует средней напряженности—ткм/км. Карта напряженности движения позволяет быстро ориентироваться в значении разных участков дорожной сети, и для каждого участка служит основанием выбора типа дороги и установления очередности строительства.

Напряженность движения на каждом участке дороги не есть, конечно, постоянная величина; она меняется по часам суток, по сезонам и т. д. Еще важнее изменение напряженности с годами,

НБ УДУИТ (ДІІТ)

вместе с изменением окружающей дорогу хозяйственной обстановки—развитием промышленности, индустриализацией сельского хозяйства, прокладкой новых железнодорожных, автодорожных, водных и воздушных линий, перераспределением населенных мест.

Средняя напряженность движения, годовая или суточная, может служить только условной характеристикой работы дороги. Очевидно не безразлично, с точки зрения устройства и содержания дороги, будет ли наибольшее количество перевозок производиться летом или зимой, будет ли преобладать пассажирское или грузовое движение и т. д. Кроме того, изменение напряженности с годами также придает условное значение средней величине напряженности на данный год. В общем напряженность движения имеет значение для планирования и проектирования районных дорог, и, отчасти, областных. Дороги общесоюзного и республиканского значения проектируются и строятся, как правило, по специальным заданиям. Только отдельные участки этих дорог (на подходах к большим городам и станциям) имеют значительную напряженность.

12. Работоспособность дороги [1]

Работоспособность дороги обозначает наименьшую величину тоннажа брутто, который должен быть пропущен по дороге, без капитального ремонта одежды и без понижения скорости, из-за ухудшения состояния дороги. Работоспособность определяет, таким образом, минимальные требования, которым должна удовлетворять дорожная одежда в отношении прочности, т. е. сопротивления износу и разрушению под действием проезда. Работоспособность дороги может задаваться, во-первых, возможной длительностью (в днях) непрерывного колонного движения с исчерпанием пропускной способности дороги и при расчетной нагрузке колонных машин. Такая работоспособность может быть названа гарантийной в том смысле, что строитель безоговорочно отвечает за прочность дороги в пределах такой заданной работоспособности. Пусть, например, дорога должна выдержать без ремонта непрерывное круглосуточное движение в течение десяти суток с пропускной способностью 1000 машин в час по одной полосе с расчетной нагрузкой 13 т. Гарантийная работоспособность такой дороги должна быть 10 24 · 1000 · 13=около 3 млн. т.

Во-вторых, можно определить работоспособность для условий нормальной эксплоатации дорог, т. е. при напряженности движения значительно меньшей, чем пропускная способность и при возможности своевременно исправлять повреждения средствами текущего и среднего ремонта. Эта работоспособность определяет

---

[1] Этот показатель предлагается автором. В технических условиях его нет.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

наименьшую величину тоннажа, который должен быть пропущен между капитальными ремонтами.

Для примера положим, что участок автомагистрали, прилегающий к крупному центру, должен в течение 10 лет выдерживать без перестройки движение, которое в 1937 г. измерялось напряженностью 8000 т брутто в день.

Положим, что, в соответствии с выпуском автомобилей, движение на дороге будет возрастать ежегодно (в среднем за десятилетие) на 30%. При таких условиях работа дороги должна быть не менее

$$\frac{8000 \cdot 365\,[(1{,}3)^{10} - 1]}{1{,}3 - 1} = 120 \text{ млн. т.}$$

Если работоспособность данного покрытия только 50 млн. т, то капитальный ремонт придется произвести через 7 лет.

Однако качеством постройки одежды и полотна, мерами тщательного ухода за дорогой и своевременным исправлением неровностей можно отдалить срок капитального ремонта и на более продолжительный период.

Для грунтовых дорог работоспособность представляет количество тонн брутто, которое может быть пропущено между двумя утюжками. Моментами утюжки, т. е. необходимости ремонта, можно, условно, считать появление колей глубиной 5 — 6 см.

Работоспособность грунтовых дорог изменяется в зависимости от времени года, рода грунта, рода движущихся машин [1] (табл. 3).

Таблица 3

Тип дороги	Летом в сухую погоду			В распутицу	
	ЯГ-5	ЗИС-6	ГАЗ АА	ЗИС-6	ГАЗ-АА
Гравийные дороги .	2000	3000	5000	250	> 300
Грунтовые улучшенные	1000	1500	3000	100	200
Неулучшенные дороги на пылеватых супесях	100 — 500	100 — 1000	200 — 2000	—	—

В распутицу работоспособность грунтовых дорог снижается почти до нуля. Улучшение дороги, в особенности покрытие гравием, значительно повышает ее работоспособность.

13. Производительность работы автомобилей

На магистральных дорогах с покрытиями капитального типа— цементобетон, асфальтобетон—скорость движения и нагрузка на автомобиль остаются неизменными во всякое время года (скорости

[1] Подробности см. доц. Н. А. Пузаков. „Исследование транспортно-эксплоатационных качеств грунтовых дорог". Сборник ЛАДИ № 4, 1937 г.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

снижаются на короткие периоды во время гололедицы, выпадения мокрого снега и т. д.).

На дорогах местного значения районных, внутрихозяйственных и других, не имеющих каменной одежды, имеют место периоды так называемой распутицы. Во время распутицы грунтовая дорога приходит в размягченное состояние, на ней образуются колеи и неровности. Приходится снижать скорость автомобиля, а иногда и нагрузку, во избежание опасности поломки рессор. Нагрузка на конные повозки резко снижается. Показателем эксплоатационного состояния дороги в этом случае может быть часовая транспортная производительность автомобиля [1]

$$П = ГV \text{ ткм/час},$$

здесь $Г$ — нагрузка на автомобиль в т; V — средняя техническая скорость движения автомобиля в км/час.

Производительность работы автомобиля характеризует воздействие дороги на автомобиль и является показателем качества дороги с точки зрения эксплоатации автотранспорта.

Стахановское движение в авто-эксплоатации поставило лозунгом борьбу именно за повышение производительности автомобилей — повышение нагрузок свыше прежних норм, повышение скоростей, в результате повышения качества дороги. В качестве примера можно привести данные, указанные в табл. 4.

Таблица 4

Тип дороги и ее состояние	Автомобиль ГАЗ-АА		Часовая производительность в ткм
	нагрузка	скорость	
Гравийная, сухая, плотная . . .	1,8	30 — 40	55 — 70
Улучшенная грунтовая, сухая, плотная	1,6	30 — 35	50 — 55
Неулучшенная грунтовая дорога на пылеватых супесях, сухая, плотная .	1,5	25	35 — 40
Неулучшенная грунтовая дорога на пылеватых супесях, разжиженная, в распутицу .	1,2	15 — 20	20 — 25

Приведенная часовая производительность является, конечно, условной, так как при ее определении не учтены движение автомобиля порожнем и стоянки для погрузки и выгрузки.

Показателем транспортной работоспособности автомобилей может быть также число дней в году, когда эта работоспособность падает ниже допустимого предела.

В более широком смысле, устройство и состояние дороги и дорожной сети района, области, определяет производительность работы автотранспорта. Чем более совершенно устройство

[1] См. ту же работу Н. А. Пузакова.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

дорог и чем лучше состояние, в котором они содержатся, тем выше производительность работы всего автотранспорта. Скорости движения на хороших дорогах выше, использование машин более полное, расходы на ремонт и горючее меньше, стоимость перевозки груза и людей дешевле.

14. Изображение дороги в трех проекциях: плане, продольном и поперечном профиле

Дороги принадлежат к числу таких инженерных сооружений, как каналы, плотины, мосты и пр., техника возведения которых развивалась в течение многих столетий и в особенности в последние годы. С развитием автомобильного транспорта и широким применением дорожностроительных машин дорожная техника вступила на новый этап.

Дорожное полотно:

1) имеет правильное направление в плане, т. е. ось, разбитую по прямым, сопряженным дугами круга больших радиусов,

2) в продольном направлении выравнивается по пологим прямолинейным уклонам, для чего в пониженных местах устраиваются насыпи, а препятствующие выравниванию холмы и возвышенности срезаются выемками; уклоны сопрягаются в точках перелома вертикальными кривыми;

3) в поперечном сечении представляет правильно оформленную выпуклую полосу постоянной ширины, с правильно устроенными водоотводными канавами по бокам;

4) имеет укрепленную одежду достаточно ровную и прочную, чтобы выдерживать движение экипажей при определенных скоростях и нагрузках и напряженности движения.

Направление дороги (или трасса), а также устройство земляного полотна и сооружений определяется условиями местности и заданными техническими условиями. На рис. 10 представлен план и продольный профиль участка дороги районного значения. В плане ось дороги состоит из ряда прямых и закруглений по дугам круга больших радиусов. Продольный профиль представляет разрез полотна вдоль оси. Проекция оси дороги на продольном профиле называется проектной или красной линией (на рис. 10 показана толстой линией). Кроме проектной линии на продольном профиле показывается линия поверхности земли по оси дороги до постройки, или так называемая черная линия (показана тонкой линией). Если проектная линия выше линии земли, то полотно проходит в насыпи, при обратном положении — в выемке. Некоторые участки проектной линии представляют горизонтальные площадки, а другие уклоны, смотря по направлению движения, называются подъемами или спусками. Кроме продольного профиля, устройство и размеры полотна дороги определяются разрезами по вертикальным плоскостям, нормальным к проекции оси в плане. Такие разрезы называются поперечными профилями. Из поперечных

НБ УДИТ (ДИТ)

профилей, представленных на рис. 11, можно видеть очертание и размеры насыпи на подходе к мосту на пикете № 2, очертание выемки на пикете № 10+80 и т. д. На участке № 6—8 местность имеет поперечный скат (косогор), полотно проходит частью в насыпи, частью в выемке. В целом план, продольный профиль и поперечные профили определяют устройство полотна дороги

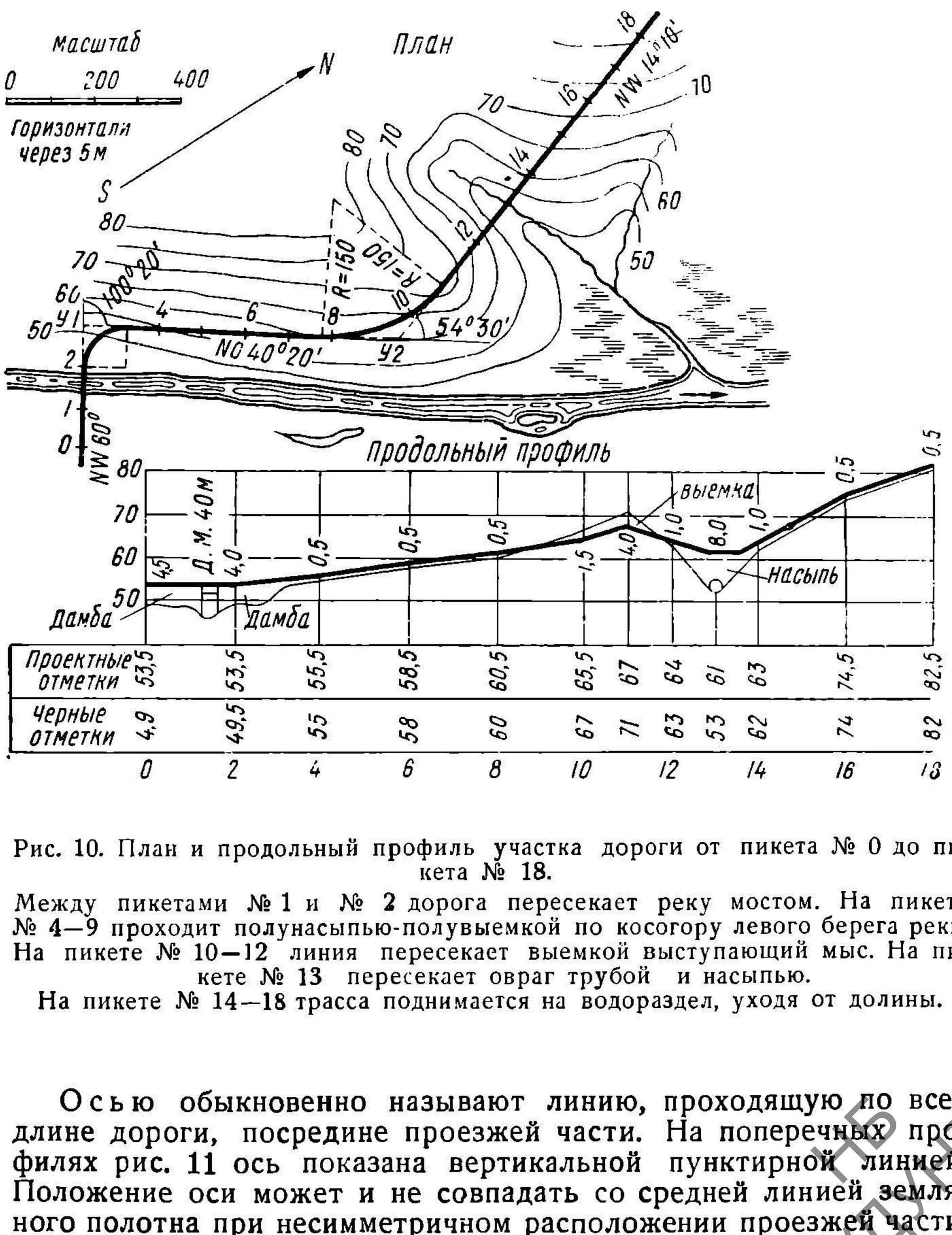


Рис. 10. План и продольный профиль участка дороги от пикета № 0 до пикета № 18.

Между пикетами № 1 и № 2 дорога пересекает реку мостом. На пикете № 4—9 проходит полунасыпью-полувыемкой по косогору левого берега реки. На пикете № 10—12 линия пересекает выемкой выступающий мыс. На пикете № 13 пересекает овраг трубой и насыпью.
На пикете № 14—18 трасса поднимается на водораздел, уходя от долины.

Осью обыкновенно называют линию, проходящую по всей длине дороги, посредине проезжей части. На поперечных профилях рис. 11 ось показана вертикальной пунктирной линией. Положение оси может и не совпадать со средней линией земляного полотна при несимметричном расположении проезжей части.

НБ УДУП (ДИТ)

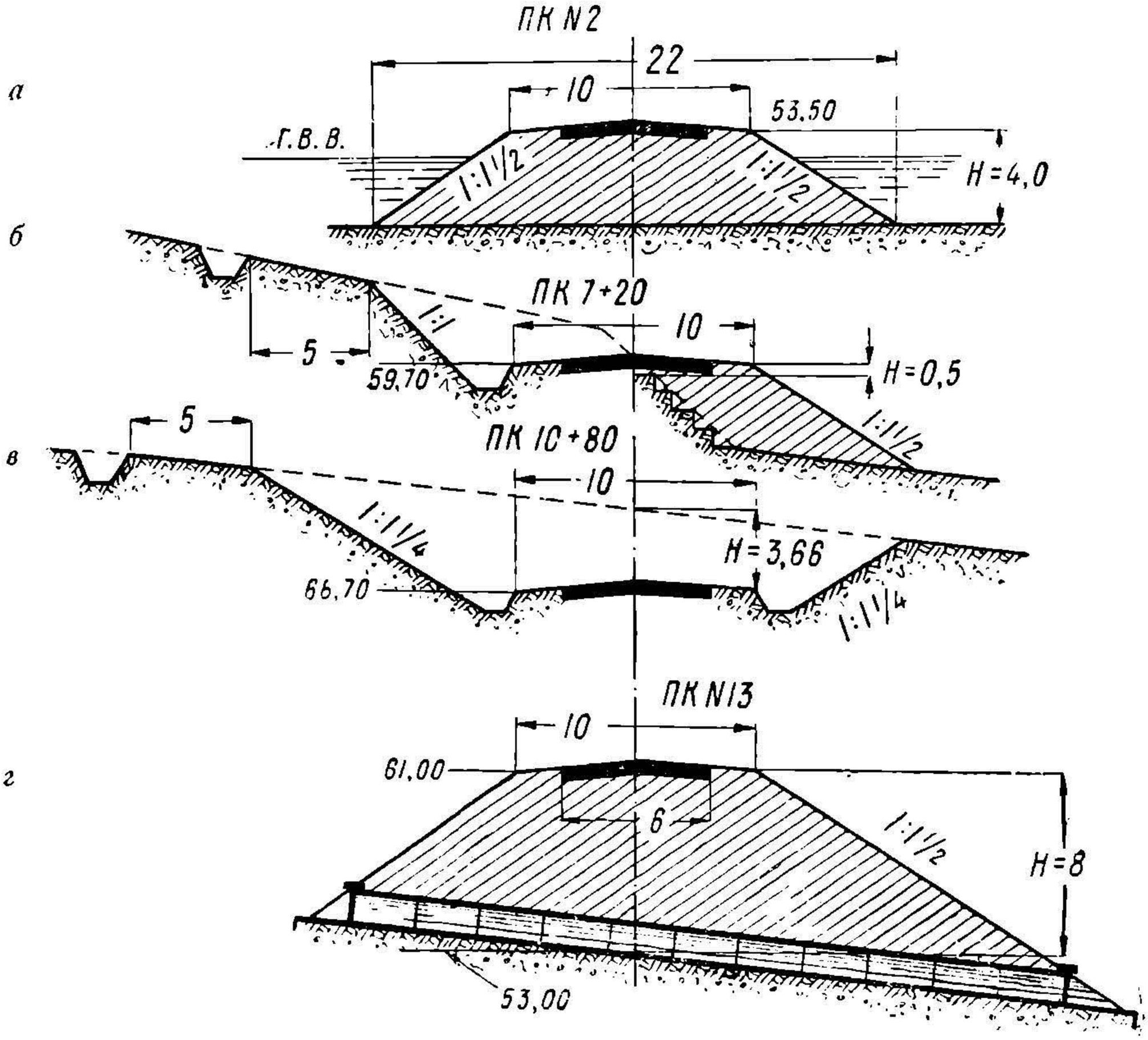


Рис. 11. Поперечные профили отдельных сооружений участка дороги, представленного на рис. 10:

а—поперечный профиль насыпи (дамбы) на подходе к мосту на пикете № 2; *б*—поперечный профиль насыпи на косогоре на пикетах № 6—8; *в*—поперечный профиль выемок на пикете № 11; *г*—поперечный профиль насыпи над трубой на пикете № 13.

15. Понятие об уклоне

Уклон участка дороги измеряется отношением разности высот h конечных точек к длине l участка между этими двумя точками (рис. 12). Таким образом, величина уклона может быть представлена синусом угла α, образуемого наклоном дороги к горизонту

$$i = \sin\alpha = \frac{h}{l}.$$

Иногда уклон измеряется отношением разности высот не к длине участка дороги l,

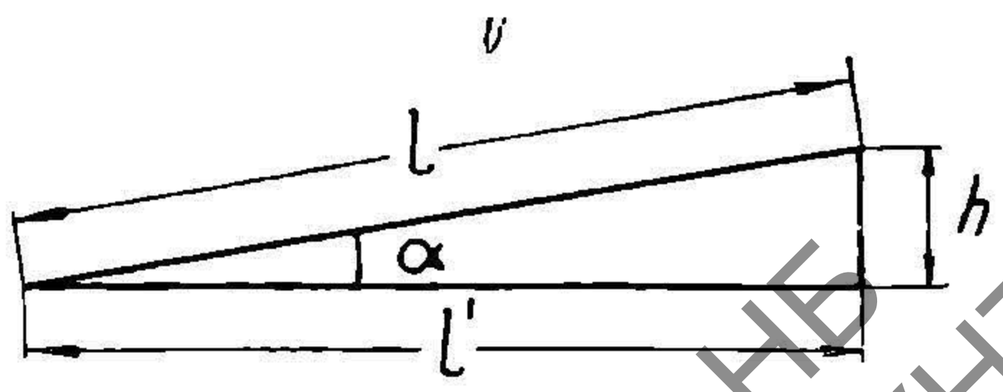


Рис. 12. Элементы уклона,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

а к ее горизонтальной проекции l' (например при измерении этой проекции ватерпасом). Тогда уклон измеряется тангенсом

$$i' = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l'}.$$

Обыкновенно длина измеряется лентой по поверхности дороги, поэтому фактически уклоны определяются первым способом, т. е. синусом.

Численно величину уклона i принято характеризовать десятичными дробями, например 0,016, 0,06 или в виде процентов — 1,6%, 6%, или тысячных — 16 тысячных, 60 тысячных и т. д.

Так как углы наклона дороги к горизонту изменяются от 0 до 5°, то, в этих пределах, разница между синусом и тангенсом практического значения не имеет.

Так: $i = 7\%$; $\alpha = 4°0'15''$; $\sin \alpha = 0{,}06983$; $\operatorname{tg} \alpha = 0{,}07000$.

В натуре величина уклона на любом участке дороги может быть измерена с помощью визирок; более точно нивелировкой.

16. Классификация и технические условия для дорог общесоюзного и местного значения

Классификацией дорог называется подразделение их на отдельные категории по эксплоатационным заданиям и техническим требованиям (техническим нормативам). Технические нормативы соответствуют эксплоатационным заданиям.

Все вновь строящиеся дороги общесоюзного значения делятся, как было указано, на три технических класса, в зависимости от эксплоатационных заданий, но независимо от их административно-хозяйственного значения.

Технические нормативы для каждого класса дорог определяют основные элементы дороги, а именно: а) ширину проезжей части и земляного полотна; б) радиусы закруглений в плане; в) продольные уклоны; г) расстояния видимости; д) радиусы вертикальных кривых; е) типы покрытий проезжей части; ж) габариты мостов.

В табл. 5 приведены эксплоатационные задания и технические нормативы для общесоюзных (государственных) автомобильных дорог. Эти данные входят в технические условия на сооружение автомобильных дорог и мостов, утвержденные 1 февраля 1938 г. Технические условия устанавливают правила и нормы, относящиеся к проектированию плана дороги и продольного профиля. Кроме того, в них даются правила и нормы, касающиеся постройки земляного полотна, дорожной одежды, мостов, пересечений, гражданских зданий и дорожных сигналов.

По отношению к дорогам республиканского, областного и местного значения утвержденных технических условий в настоящий момент еще нет. По имеющемуся проекту дороги местного значения делятся на дороги группы А и Б. Первая группа отве-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таблица 5

Эксплоатационные задания и технические нормативы для дорог общесоюзного значения

Наименование нормативов и элементов / Класс дороги и характер рельефа	Измеритель	I класс автомагистрали	II класс			III класс		
		равнинная	равнинная	пересеченная	гористая	равнинная	пересеченная	гористая
Расчетная скорость движения: Легковое автомобильное в нормальных условиях	км/час	120	100	80	40	60	50	30
Расчетная скорость движения: Легковое и грузовое автомобильное при скользкой дороге	км/час	80	65	50	25	40	35	20
Число полос движения	шт.	4	2	2	2	2	2	2
Ширина проезжей части	м	14	7	7	6	6	6	6
Ширина земляного полотна	"	18	11	11	8	10	10	8
Радиусы закруглений: Рекомендуемый		3 500	2 500	2 000	900	1 500	1 200	600
Радиусы закруглений: Основной расчетный		1 500	1 100	750	200	400	300	100
Радиусы закруглений: Минимальный		600	400	250	60	150	100	35
Продольный уклон: Максимальный	проц.	3	4	5	6	4	5	7
Продольный уклон: Исключительный	"	4	5	6	7	5	7	8
Расстояние видимости: В плане	м	160	220	150	50	90	80	40
Расстояние видимости: В профиле	м	160	110	75	25	45	40	20
Радиусы вертикальных кривых: Вогнутых		2 500	2 000	1 000	250	600	400	150
Радиусы вертикальных кривых: Выпуклых		10 000	5 000	2 500	250	1 000	600	150
Нагрузки	Н	Н-13	Н-10 и Н-8		—	Н-10 и Н-8		—
Габариты	Г	Г-16,5 и Г-14	Г-9,5 и Г-7		Г-6,5	Г-8,5 и Г-6,5		Г-6,5

НБ УДУНТ (ДПТ)

чает более высоким требованиям, скорость в равнинной местности 60 км/час. Вторая группа удовлетворяет напряженности движения менее 300 т брутто в сутки и скорости 40 км/час (табл. 6).

Таблица 6

Классификация автогужевых дорог местного значения

Элементы дороги		Группа А			Группа Б		
Ширина в м	Земляного полотна	10–9 (8–7)			9–8–7 (6)		
	Проезжей части	6–5 (4,5)			5–4,5 (3,5)		
		Н-8			Н-8—Н-6		
Расчетная нагрузка		равнинная	холмистая	высокогорная	равнинная	холмистая	высокогорная
Характер местности							
Расчетная скорость в км/час.		60	50	40	40	30	20
Видимость в м		100	75	50/30	50	40	25
Радиусы в м	Наименьший	200	150	75	100	75	30
	В исключительных случаях	75	50	30	50	40	20
Уклоны в проц.	Максимальный	6	7	8	6	8	9
	В исключительных случаях	7	8	9	8	9	10
Грузонапряженность брутто в т/сутки.		от 300 до 1 000			до 300		
Виды покрытий (основные)		1. Улучшенная грунтовая дорога 2. Гравийная дорога 3. Мостовая булыжная 4. Шоссе 5. Гравийная дорога, обработанная дорожными маслами или черными вяжущими материалами 6. Шоссе, обработанное черными вяжущими материалами			Профилированная дорога Улучшенная добавками Гравийная дорога Булыжная мостовая		
Радиусы вертикальных кривых в м	При выпуклости	1 000	500	300	300	200	100
	При вогнутости	300	200	200	150	100	75

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ГЛАВА II

ТЯГА НА ДОРОГАХ. ЗНАЧЕНИЕ УКЛОНОВ

17. Динамика автомобиля

Дороги должны отвечать условиям полного использования автомобильного парка — безопасное движение с большими скоростями и экономная эксплоатация грузовых и легковых машин. Поэтому, современное проектирование дорог основано на изучении работы автомобиля и условий его движения на прямой, на закруглениях, на подъемах и спусках, на ровной и неровной дороге. Для дорог местного значения, кроме того, необходимо еще учитывать условия работы гужевого транспорта.

Динамика автомобиля изучает вопрос о скоростях движения на подъемах и спусках, при работе мотора и при включении тормозов, и служит основой для назначения продольных уклонов дороги, расстояния видимости и т. д. В частности, динамика автомобиля разрешает следующие практические вопросы: 1) какие наибольшие подъемы проходимы для автомобилей; 2) как изменяется скорость движения на разных уклонах и какая максимальная скорость может быть развита автомобилем на ровной дороге; 3) как изменяется расход горючего на разных уклонах; 4) каковы условия торможения при движении на спусках и какова длина тормозного пути, т. е. расстояния, на котором можно остановить автомобиль при заданной скорости.

Динамикой автомобиля этот раздел теории тяги на дорогах называется потому, что в нем рассматриваются: 1) совокупность сил, приложенных к автомобилю при его движении по дороге; 2) ускорения и скорости движения, в результате воздействия этих сил или, точнее говоря, в результате работы мотора, сопротивлений движению и действия тормозов.

Динамика автомобиля в настоящее время составляет самостоятельную обширную научную дисциплину [1].

В курсе проектирования дорог кратко излагаются только основы динамики, при этом в настоящей гл. II рассматривается движение автомобиля по прямой, на разных уклонах, а в гл. IV — движение автомобиля на закруглениях.

---

[1] См. курс проф. Е. А. Чудакова. „Теория автомобиля".

НБ УДУНТ (ДІІТ)

18. Сопротивление движению

Движение автомобиля требует затраты энергии (сжигания горючего в моторе), расходуемой на: 1) качение колес по дороге; 2) преодоление сопротивления воздушной среды; 3) преодоление силы тяжести при движении на подъем.

Условимся называть сопротивлением движению величину затраты работы на единицу длины пути [1].

На участке дороги длиной s м, однородном по условиям сопротивления, при движении с постоянной скоростью, работа, затрачиваемая на передвижение, будет:

$$T = Ws \text{ кгм},$$

где W есть сила сопротивления движению в килограммах. В более общем виде, при переменных условиях, сопротивление движению

$$W = \frac{dT}{ds} \text{ кг}.$$

Сопротивление движению W можно разделить на три части

$$W = W_к \pm W_i + W_в,$$

где $W_к$ — сопротивление качению автомобиля по дороге на горизонтальном участке; $+ W_i$ — доля сопротивления при движении вверх на подъем; $- W_i$ — уменьшение сопротивления при движении вниз по уклону; $W_в$ — сопротивление воздушной среды.

Первое из этих слагаемых, сопротивление качению $W_к$, представляет собой затрату энергии на трение качения, толчки и удары и деформацию шин на твердой дороге. На пластичной (грунтовой) дороге работа сопротивления затрачивается еще на деформацию самой дороги, образование колеи, боковое трение колес о стенки колеи.

Еще в конце XVIII в. Морэном было установлено, что работа сопротивления качению пропорциональна весу перемещаемой повозки

$$T_к = Q w s,$$

где Q — вес повозки, в данном случае автомобиля; w — коэфициент сопротивления качению, зависящий от ровности дороги и от устройства экипажа (рессоры и шины, поглощающие толчки, смазка втулок, применение шариковых подшипников).

Отсюда сопротивление качению на горизонтальном пути

$$W_к = \frac{T_к}{s} = Q w.$$

Коэфициент $w = \frac{W_к}{Q}$ представляет собой отвлеченное число. Если Q и W выражены в кг, то w выражается десятичными

---

[1] Г. Д. Дубелир. „Механика транспорта". Сб. ЛИИПС № 100, Ленинград, 1929.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

дробями или процентами, например $w = 0{,}05$. Если вес автомобиля Q выражен в т, а сила сопротивления W в кг, то коэфициент сопротивления w может быть выражен целыми числами килограмм на тонну, например 50 кг/т.

Значения коэфициентов сопротивления качению для разных типов дорог даны в табл. 7.

Таблица 7

Коэфициенты сопротивления качению

№№ п/п.	Род одежды	Коэфициенты сопротивления качению	Сопротивления, на которые преимущественно расходуется работа двигателя
1	Цементобетон и асфальтобетон	0,01—0,02	Деформации резиновых шин, трение в подшипниках, небольшие удары на волнах асфальта и на швах цементных плит
2	Черные дороги с ровной поверхностью	0,02—0,025	Трение качения по поверхности шоссе, небольшие удары на выбоинах и буграх
3	Шоссе с небольшими выбоинами	0,03—0,04	Потери энергии в амортизаторах, рессорах и в частях автомобиля от ударов и толчков на неровностях
4	Булыжная мостовая	0,04—0,05	
5	Грунтовая дорога ровная, сухая и плотная	0,03—0,05	Образование небольшой колеи, трение качения
6	Грунтовая дорога неровная и грязная	0,05—0,10	Образование глубокой колеи, прилипание грунта, проскальзывание колес (частичное боксование, сильные удары на перекосах)
7	Сыпучие пески	0,10—0,15	Перемещение значительного объема песчаных масс, боковое трение, боксование колес

На дорогах, обслуживающих местное движение, с покрытиями переходных типов (№ 3—6) (табл. 6 на стр. 32) движение возможно только с малыми скоростями—не более 30 — 40 км/час. На магистральных дорогах с покрытиями усовершенствованного типа возможно движение со значительными скоростями: на черных дорогах свыше 60 км/час, на цементобетоне и асфальтобетоне

НТБ УДИТ (ДИТ)

свыше 100 км/час. При таких скоростях становится заметным некоторое возрастание сопротивления качению с увеличением скорости.

Однако, сравнительно с быстрым возрастанием сопротивления воздуха, практического значения это не имеет.

Сопротивление на подъеме W_i — второе слагаемое в уравнении сопротивления движению представляет затрату работы на преодоление силы тяжести. На наклонном участке пути (см. рис. 12) длиной s и с разностью высот H работа, затрачиваемая на перемещение автомобиля вверх, составит

$$T_к + T_i = Qws + QH.$$

Разделив обе части этого равенства на длину пути s, получим, что сопротивление при движении на подъем

$$W_к + W_i = \frac{T_к + T_i}{s} = Q\left(w + \frac{H}{s}\right)$$

или заменяя $\frac{H}{s}$ величиной уклона i:

$$W_к + W_i = Q(w + i).$$

Обе величины w и i выражаются десятичными дробями. Так например, сопротивление трехтонного автомобиля с грузом тоже 3 m и общим весом $Q = 6000$ кг на черной дороге с коэфициентом качения $w = 0{,}025$ на подъеме 4% составит

$$W_к + W_i = Q(w + i) = 6000\ (0{,}025 + 0{,}04) = 390\ \text{кг}.$$

При движении под уклон вниз сопротивление уменьшается за счет работы тяжести, способствующей движению

$$W_к - W_i = Q(w - i).$$

Если $i > w$, то происходит возрастание скорости и может потребоваться применение тормозов.

Третье слагаемое в уравнении сопротивления движению (см. стр. 34)—сопротивление воздушной среды $W_в$ является следствием вихреобразных движений воздушных струй (рис. 13) спереди, сзади кузова и под ним.

Величина сопротивления воздушной среды зависит от обтекаемости (формы кузова) и от скорости движения

$$W_в = \rho \Omega \frac{V^2}{13} = \rho \Omega v^2,$$

где ρ—коэфициент обтекаемости; для грузовых автомобилей $\rho = 0{,}06$—$0{,}075$; для легковых автомобилей $\rho = 0{,}04$—$0{,}06$; для гоночных автомобилей обтекаемой формы $\rho = 0{,}03$; Ω — площадь лобовой проекции автомобиля (на плоскость, перпендикулярную к направлению движения); для автобусов $\Omega = 6$—8 м²; для грузовых автомобилей $\Omega = 3$—6 м²; для легковых автомобилей

НБ УДУНТ (ДІІТ)

$\Omega = 2 - 3$ м²; для гоночных автомобилей $\Omega = 1{,}5 - 2$ м²; $v = \frac{V}{3{,}6}$ — скорость в м/сек., а V — скорость в км/час.

Так, например, для автомобиля М-1, при движении по черной дороге, на горизонтальном пути, со скоростью 70 км/час:

$$Q = 1500 \text{ кг}; \quad w = 0{,}02; \quad i = 0; \quad \rho = 0{,}045;$$
$$\Omega = 2 \text{ м}^2; \quad V = 70 \text{ км/час} = 19{,}5 \text{ м/сек.}$$

Полное сопротивление качения и воздушной среды

$$W = W_к + W_в = (1500 \quad 0{,}02) + [0{,}045 \quad 2(19{,}5)^2] = 30 + 34 = 64 \text{ кг.}$$

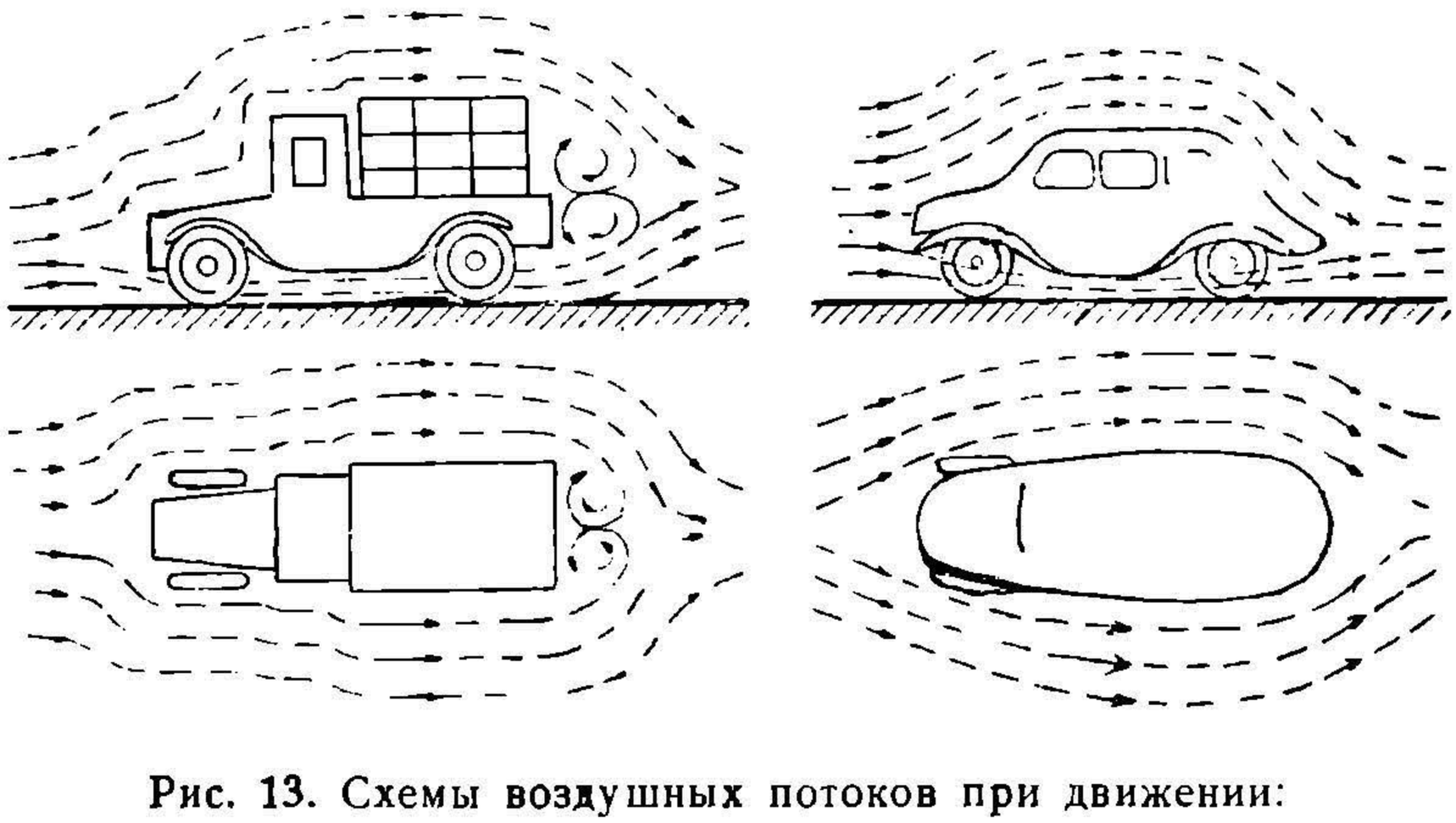


Рис. 13. Схемы воздушных потоков при движении:
а—грузовой машины; *б*—обтекаемой легковой машины, иллюстрирующие сопротивление воздуха движению автомобиля.

Следовательно, при такой скорости сопротивление воздуха составляет несколько больше половины полного сопротивления. При большей скорости второе слагаемое $W_в$ быстро растет (пропорционально v^2) и можно сказать, что автомобиль как бы больше „плывет в воздухе", чем катится по дороге. Все современные автомобили (например ЗИС-101) имеют обтекаемую форму именно для уменьшения сопротивления движению при больших скоростях.

В целом величину сопротивления движению автомобиля

$$W = W_к \pm W_i + W_в$$

можно теперь представить в развернутом виде

$$W = Q(w \pm i) + \rho \frac{\Omega V^2}{13}.$$

На рис. 14 представлена графически эта сумма сопротивлений и возрастание ее с увеличением скорости.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При больших скоростях основным является сопротивление воздуха. Однако ровная поверхность дороги и хорошая подвеска автомобиля остаются необходимым условием осуществления больших скоростей, возможных при плавном движении автомобиля без толчков. Относительная доля сопротивления качению Qw в общей работе мотора не так велика. Однако эта доля работы,

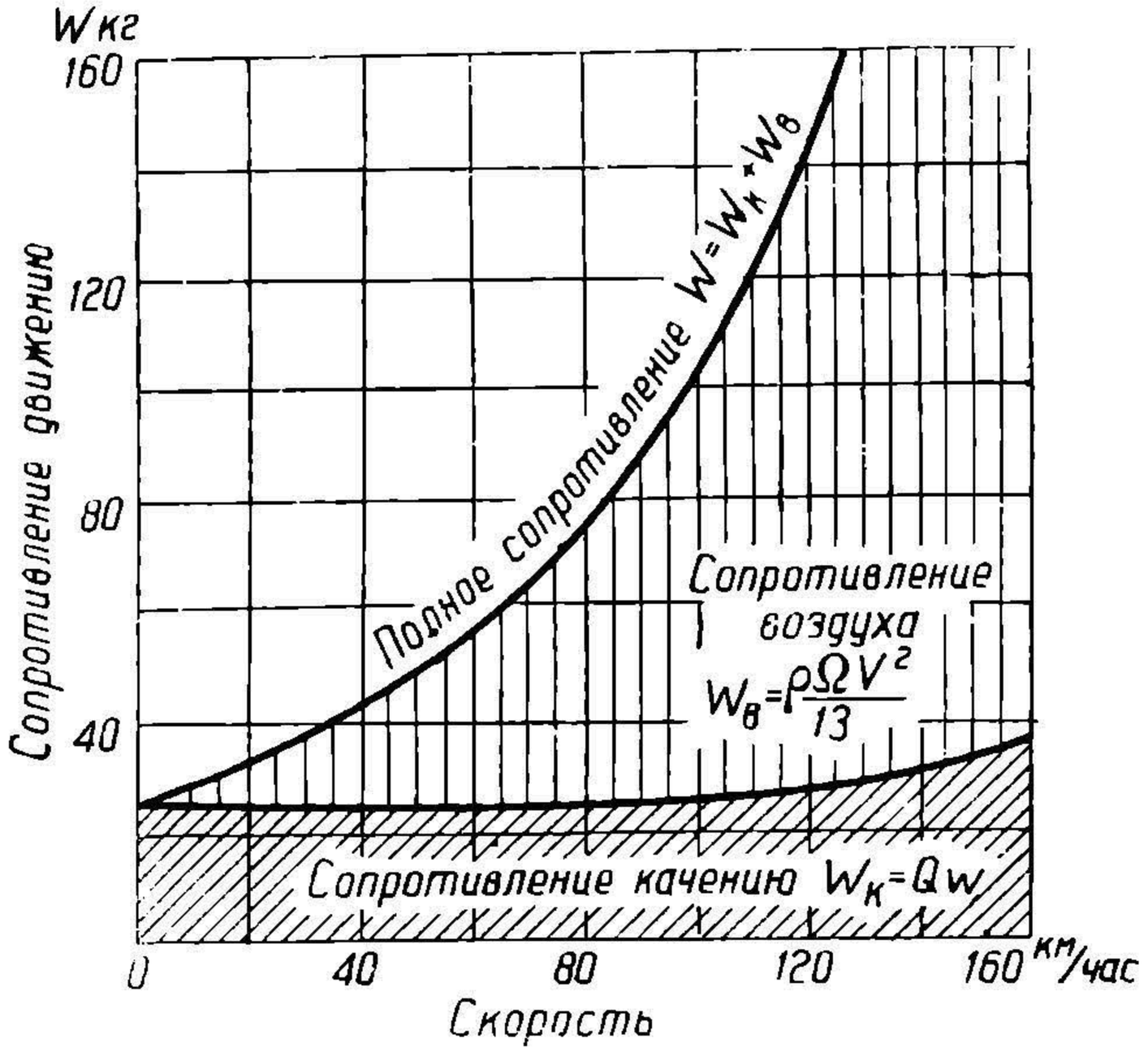


Рис. 14. Разделение сопротивления движению автомобиля на сопротивление качению] и на сопротивление воздуха; зависимость величины сопротивления от скорости.

затрачиваемая на трение и удары колес о дорогу, прогибы рессор, сотрясения расположенных на раме мотора и кузова влечет за собой износ автомобиля и создает беспокойства для пассажиров при езде. Поэтому коэфициент сопротивления качению w является чувствительным показателем качества дорожной одежды.

19. Сила тяги

Автомобили имеют двигатели внутреннего сгорания. Двигатели представляют поршневую машину 4 — 8 цилиндровую, работающую по четырехтактному процессу (рис. 15). При первом ходе поршня цилиндр засасывает смесь паров бензина с воздухом в определенной пропорции. При втором ходе поршня эта смесь сжимается и, воспламеняясь от искры, сгорает. Вследствие резкого повышения температуры и давления, газ, расширяясь, толкает поршень и при третьем такте производит механическую работу. При четвертом такте продукты сгорания выталкиваются. Так как при каждом обороте вала засасывается один и тот же

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

объем горючей смеси, то (при одинаковом составе рабочей смеси и установившемся постоянном числе оборотов вала) производимая двигателем работа за один оборот вала T_0 есть величина постоянная.

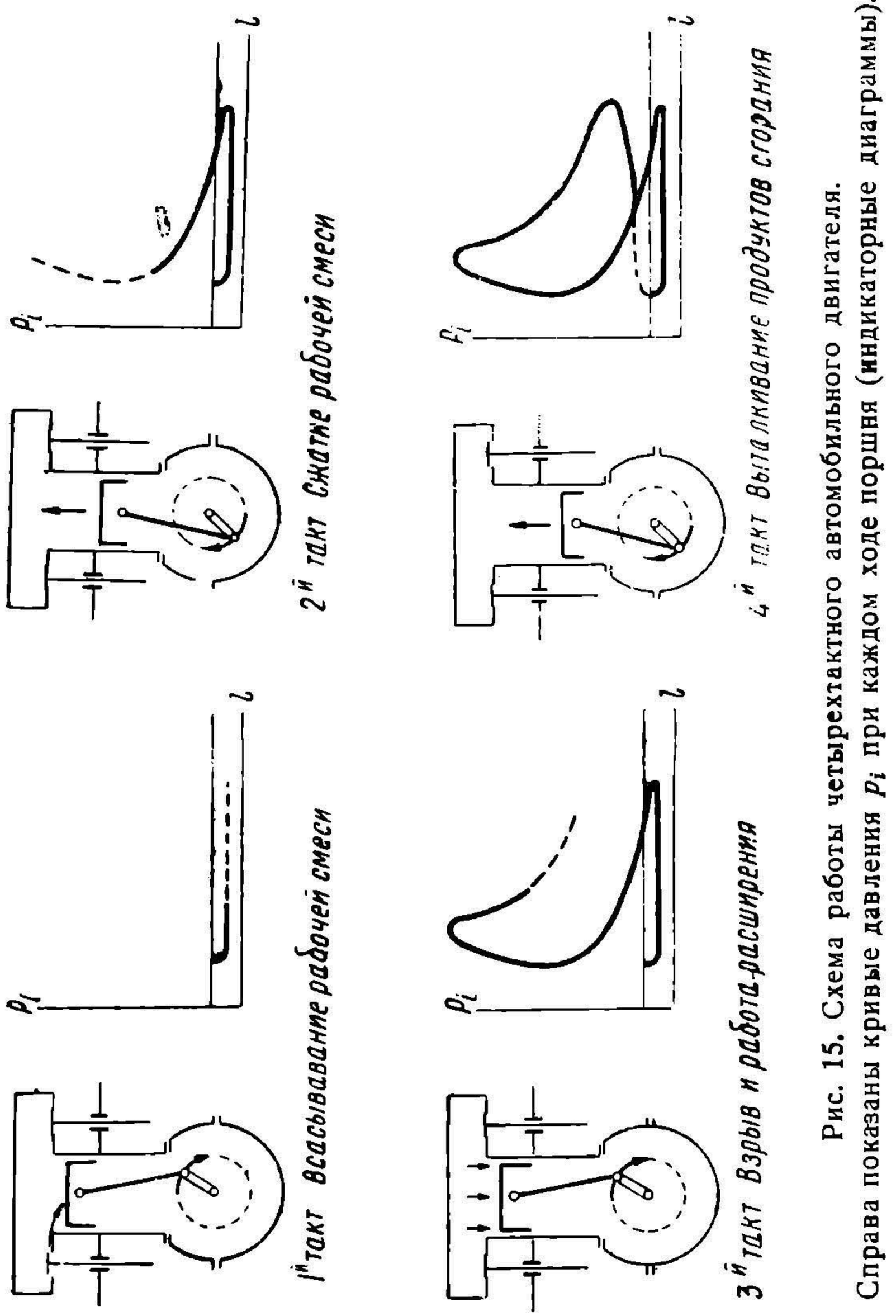


Рис. 15. Схема работы четырехтактного автомобильного двигателя. Справа показаны кривые давления p_i при каждом ходе поршня (индикаторные диаграммы).

Сопротивление движению автомобиля мы определили выше как работу на единицу длины пути. Соответственно этому введем два понятия:

1. Работу, отдаваемую двигателем на колесах автомобиля в единицу времени (в секунду), будем называть мощностью двигателя

$$N = \frac{dT}{dt} = \eta_0 \eta_1 \frac{dT_i}{dt},$$

НБ УДУНТ (ДИТ)

где T_1 — работа, производимая газом в цилиндрах двигателя, называемая индикаторной работой; η_0 — механический коэфициент полезного действия автомобильного двигателя, учитывающий потери на трение в самом двигателе и потери на приведение в действие вспомогательных механизмов; η_1 — коэфициент полезного действия передачи от вала двигателя к колесу автомобиля.

Мощность будем измерять в лошадиных силах (1 л. с. = = 75 кгм/сек.).

2. Работу двигателя на единицу длины пути автомобиля будем называть силой тяги

$$F = \frac{dT}{ds} = \eta_0 \eta_1 \frac{dT_1}{ds}$$

и измерять ее в килограммах. Сила тяги есть сила, движущая автомобиль.

Как мощность, так и силу тяги условимся определять с учетом коэфициента полезного действия η_1 всей передачи от двигателя к ободу движущихся колес автомобиля (рис. 16, коробка скоростей, карданный вал, диференциал) и будем их поэтому называть силой тяги и мощностью на ободе колеса.

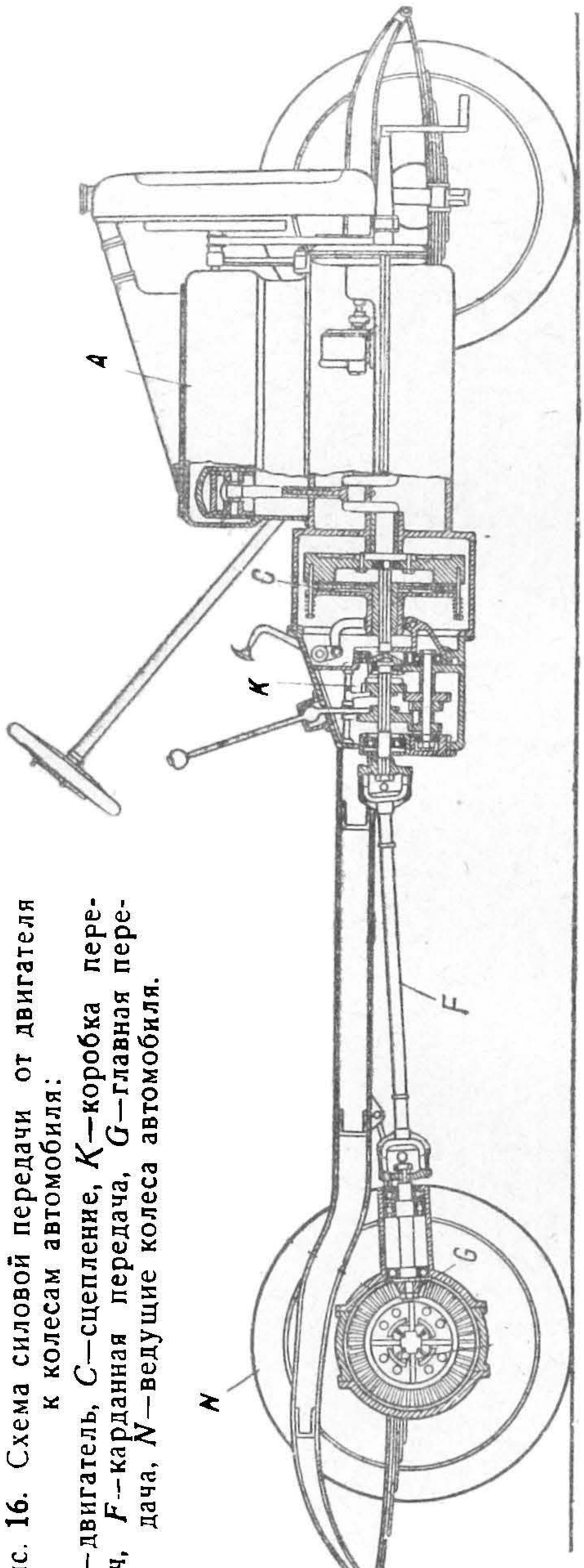


Рис. 16. Схема силовой передачи от двигателя к колесам автомобиля:
A—двигатель, *C*—сцепление, *K*—коробка передач, *F*—карданная передача, *G*—главная передача, *N*—ведущие колеса автомобиля.

На рис. 17 представлена зависимость мощности от числа оборотов вала двигателя $N = f(n_1)$. Если бы коэфициент полезного действия η_0 был величиной постоянной, то эта зависимость выразилась бы прямой линией. Но с увеличением числа оборотов вала возрастают потери в двигателе (трение, движение газов через клапаны). Поэтому эффективная мощность изображается кривой, имеющей максимум при некотором наивыгоднейшем числе оборотов (рис. 17).

НТБ УДУТ (ДІІТ)

При постоянном числе передачи и постоянных коэфициентах полезного действия сила тяги

$$F = \frac{dT}{ds} = \eta_{10}\eta_{11}\frac{dT_i}{ds}$$

должна была бы быть также величиной постоянной, так как одному обороту вала двигателя должно соответствовать постоянное число оборотов колес автомобиля, определяемое передаточным числом. Но так как работа двигателя внутреннего сгорания T_0 за один оборот вала, как мы видели, есть величина постоянная, а путь, пройденный автомобилем за определенное число оборотов колес, есть также величина постоянная, то и сила тяги также постоянна, т. е. почти не зависит от скорости.

Пусть автомобиль движется со скоростью V км/час, причем

$$V = \frac{\pi d n_2}{1000}\cdot\frac{60}{1000}\ \text{км/час},$$

где d — диаметр колеса автомобиля в м; n_2 — число оборотов колес в мин. (при скорости V).

В таком случае путь, проходимый автомобилем за один оборот колеса:

$$\pi d = \frac{1000\,V}{60\,n_2}.$$

Путь, проходимый автомобилем за один оборот вала двигателя

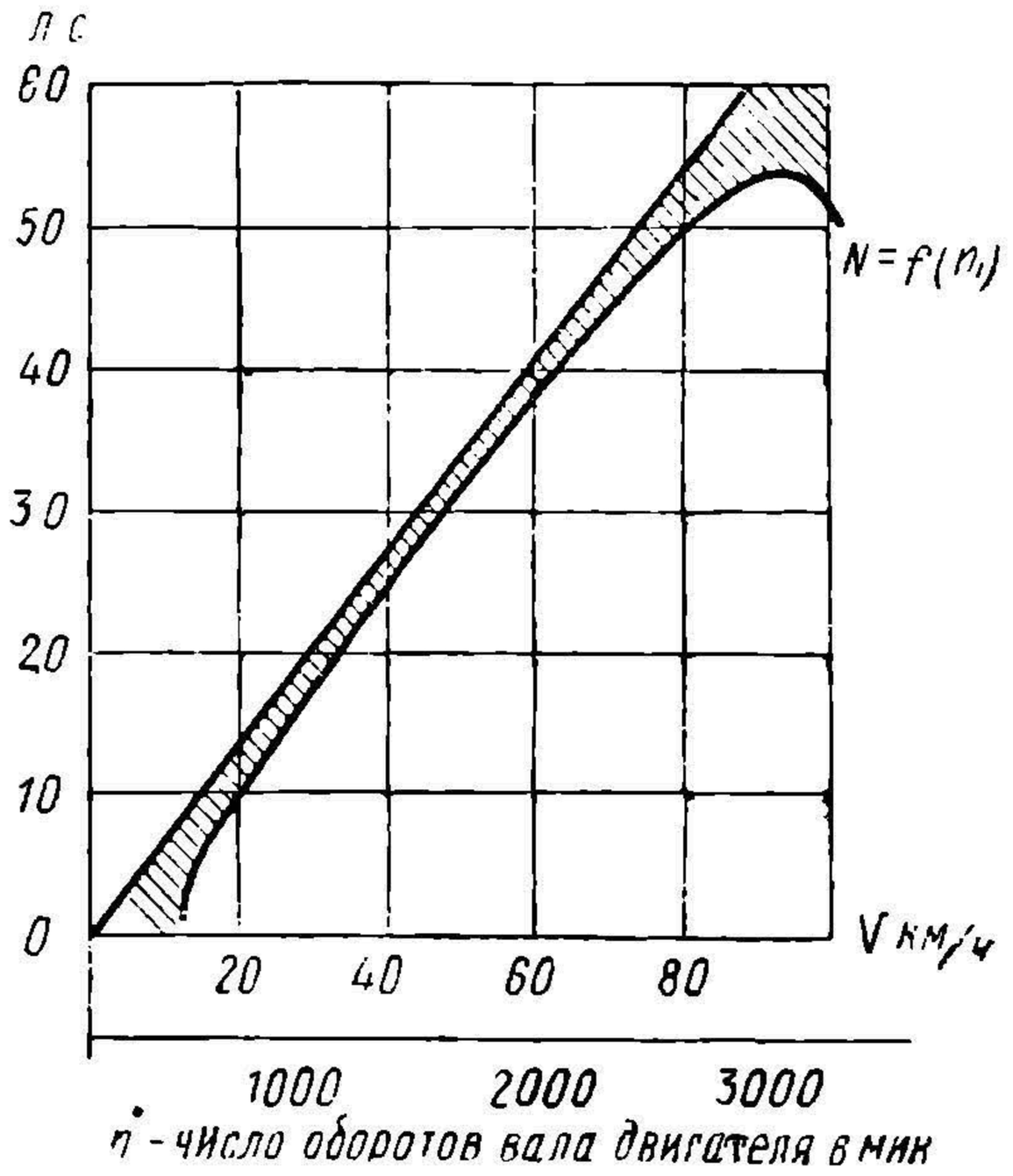


Рис. 17. Мощность двигателя $N=f(n_1)$, в зависимости от числа оборотов вала в минуту.

$$s = \frac{\pi d}{k}$$

где k — передаточное число: $k = \frac{n_1}{n_2}$, если n_1 есть число оборотов вала двигателя в 1 мин. при скорости автомобиля V км/час.

Сила тяги нами определена как работа двигателя на единицу длины пути, проходимого автомобилем

$$F = \frac{dT}{ds} = \frac{T_0}{s}\eta_{10}\eta_{11} = \frac{T_0 k \eta_{10}\eta_{11}}{\pi D}.$$ м

Отсюда видно, что сила тяги автомобиля не зависит явно

НБ УДУНТ (ДІІТ)

от скорости, а зависит лишь в той степени, в какой с возрастанием скорости и числа оборотов двигателя убывают коэфициенты полезного действия двигателя и передачи.

На рис. 18 представлена зависимость $F = f(V, k)$ силы тяги от скорости и от применяемого передаточного числа, т. е. от сочетания зубчатых колес в коробке скоростей.

Четыре горизонтальных прямых на рис. 18 представляют величины силы тяги теоретически постоянные, и не зависящие от скорости, для четырех значений передаточного числа (например, для I скорости $k_1 = 6{,}40$, $k_2 = 3$, $k_3 = 1{,}7$, $k_4 = 1$). Действительные значения силы тяги несколько меньше этого и изображаются выпуклыми кривыми. Заштрихованная разность ординат прямых и кривых представляет потери в двигателе, зависящие от числа оборотов, т. е. от скорости. Изменение передаточного числа (посредством коробки скоростей) позволяет изменять силу тяги в больших пределах (в нашем примере как 1:6) и при малом числе оборотов колес автомобиля пользоваться большим числом оборотов двигателя, т. е. большой мощностью. Другим средством повышать мощность и силу тяги является возможность обогащать горючую смесь, изменяя пропорцию между парами бензина и воздухом (прибавлять газ), что делается при помощи акселератора и дроссельного клапана.

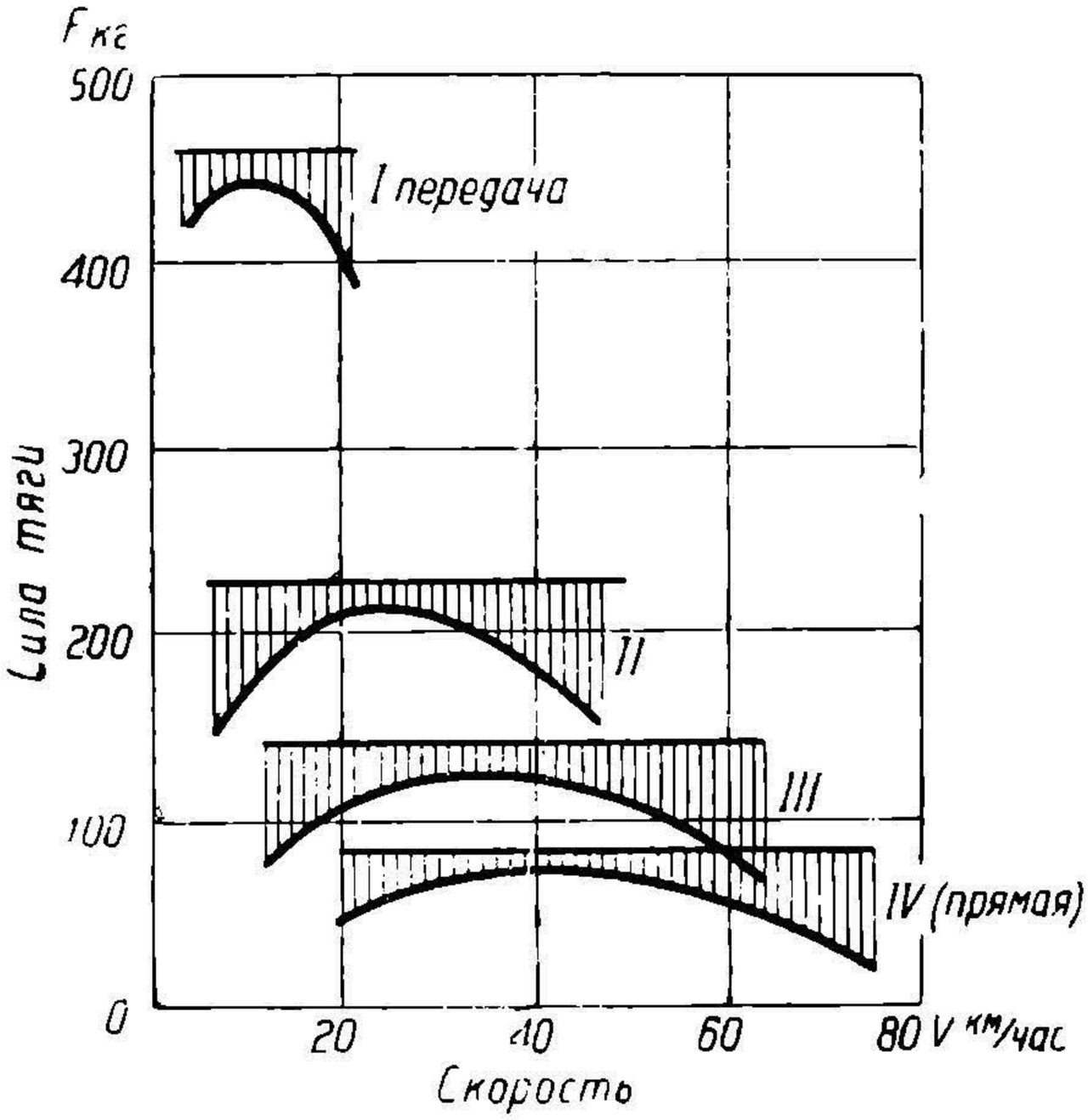


Рис. 18. Сила тяги двигателя в зависимости от скорости и от применяемого передаточного числа.

В общем водитель машины может: а) включать и выключать мотор, действуя посредством педали на аппарат сцепления C (см. рис. 16); б) изменять передачу в коробке скоростей K, действуя рычагом перемены передач; в) изменять пропорцию смеси паров бензина и воздуха, действуя на педаль акселератора.

Этими средствами водитель может, в любой момент, увеличивать или уменьшать силу тяги или делать ее равной нулю (выключая мотор или давая переобедненную смесь).

НБ УДУНТ (ДІТ)

Мощность двигателя на ободе колес, сила тяги и скорость автомобиля связаны между собой тождеством:

$$N = \frac{dT}{dt} \quad \frac{1}{75} = \frac{1}{75} \quad \frac{dT}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{1}{75} \quad \frac{F \cdot V \cdot 1000}{60 \cdot 60}$$

или

$$\boxed{N = \frac{FV}{270}};$$

здесь V—скорость автомобиля в км/час. Это тождество относится в равной мере ко всем транспортным машинам: паровозу, пароходу, автомобилю и т. д.

20. Сцепление колес автомобиля с дорогой

Для возможности поступательного перемещения автомобиля по дороге необходимо, чтобы сила тяги была внешней силой, направленной в сторону движения [1]. Давление газов, толкающее поршни двигателя, представляет собой внутреннюю силу

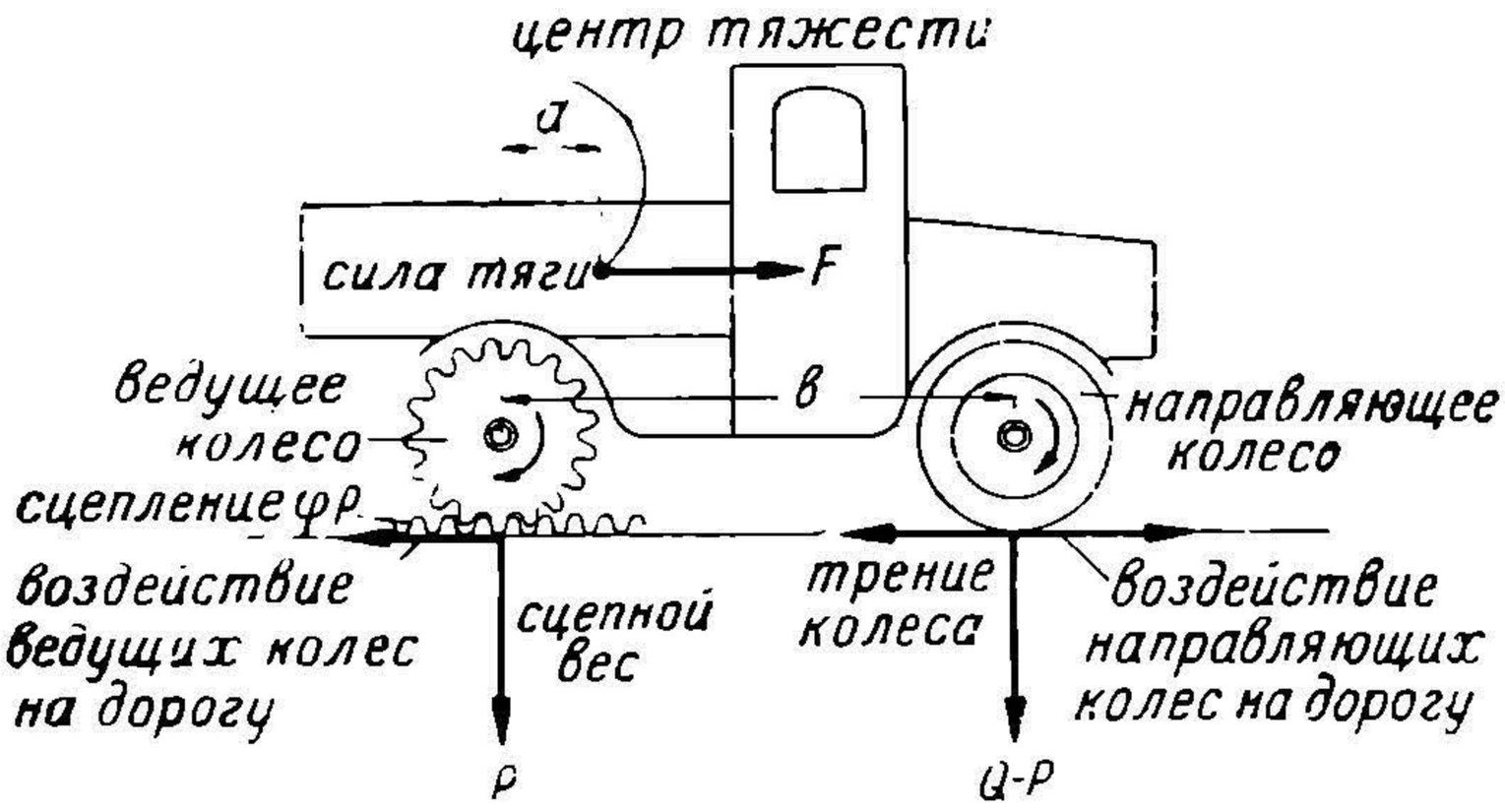


Рис. 19. Схема сцепления ведущих колес автомобиля с дорогой. Колесо и дорога представлены условно зубчатыми. К дороге приложена сила сцепления φP, к автомобилю приложена сила тяги F.

и не может сообщить движения центру тяжести автомобиля, так как одновременно такая же, но противоположная сила приложена к цилиндрам.

Внешней силой, необходимой для движения автомобиля, является трение между ведущими колесами (соединенными с двигателем) и дорогой. Колеса неровностями и шероховатостями шин упираются в шероховатости дороги и испытывают от дороги обратное давление. Эти шероховатости колеса и дороги представляют как бы миниатюрные зубцы (рис. 19), между кото-

---

[1] См. проф. В. Л. Кирпичев. „Беседы о механике", 1907 г., § 110, стр. 150.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

рыми происходит упор и получается давление. Это обратное давление, т. е. трение, передающееся от дороги на колесо, и есть та внешняя сила тяги, которая перемещает поступательно центр тяжести автомобиля. При конной тяге внешней силой является трение между подковой и дорогой; лошадь, упираясь ногой в дорогу, тянет повозку; отсюда и выражение „сила тяги".

Сила тяги должна преодолеть сопротивление движению автомобиля, т. е. должна быть больше этого сопротивления. Поэтому, для перемещения автомобиля требуется значительное трение между колесами и дорогой; достаточное трение осуществляется только при сухой дороге. Все это относится только к ведущим колесам автомобиля, т. е. к тем, которые соединены карданным валом с двигателем (см. рис. 16). Сила трения пропорциональна нагрузке именно на эти колеса. Нагрузка эта называется сцепным весом автомобиля и будет нами обозначаться буквой P. Отношение сцепного веса к полному весу автомобиля $\frac{P}{Q}$ составляет для двухосных автомобилей с приводом на заднюю ось около 0,6—0,7. Это отношение равно $\frac{a}{b}$, где a — расстояние от центра тяжести до задней оси, b — база автомобиля (расстояние между осями). Кроме ведущих колес у автомобилей имеются направляющие (передние) колеса, воспрнннмающие остальную часть веса $Q - P$. Эти колеса не дают силы тяги, а сами приводятся в движение.

При движении автомобиля трение дороги вращает направляющие колеса. Это трение направлено в сторону противоположную движению автомобиля; оно представляет внешнюю силу, сопротивляющуюся движению центра тяжести автомобиля и, так же как противодействие воздушной среды, относится к сопротивлениям движению.

Кинематика и динамика сцепления колес с дорогой. При движении колес автомобиля по дороге может быть несколько случаев (рис. 20):

1. Качение колес происходит при нормальных условиях движения автомобиля.

2. Боксование ведущих колес или вращение колес на одном месте, без поступательного движения автомобиля. Боксование иногда наблюдается на скользкой дороге при приложении к колесам крутящего момента большой величины (большой силы тяги). Боксование срывает движение автомобиля, и, в то же время, шины при боксовании нагреваются и изнашиваются.

3. Продольное скольжение заторможенных колес наступает иногда при сильном торможении. Колеса при этом не вращаются, а скользят, а автомобиль продолжает перемещаться поступательно.

4. Поперечное скольжение колес бывает при „заносе" автомобиля, например на закруглениях под действием центробеж-

НБ УДУНТ (ДІТ)

ной силы; колеса скользят по направлению нормальному или косому к их плоскости симметрии. Занос автомобиля очень опасен, так как водитель почти не в состоянии приостановить такое движение и автомобиль может упасть в канаву или удариться о встречный автомобиль. Поперечное скольжение легко возникает при боксовании колес.

5. Вращение направляющих колес вокруг вертикальной оси применяется при поворотах автомобиля.

Ограничиваясь пока рассмотрением движения автомобиля по прямой, т. е. первыми тремя случаями, дадим кинематические характеристики этих движений[1] (рис. 20).

1. Качение колес по дороге без скольжения. Мгновенным центром вращения является точка C касания колеса с дорогой, скорость $v = r\omega$ вращательного движения шины вокруг центра

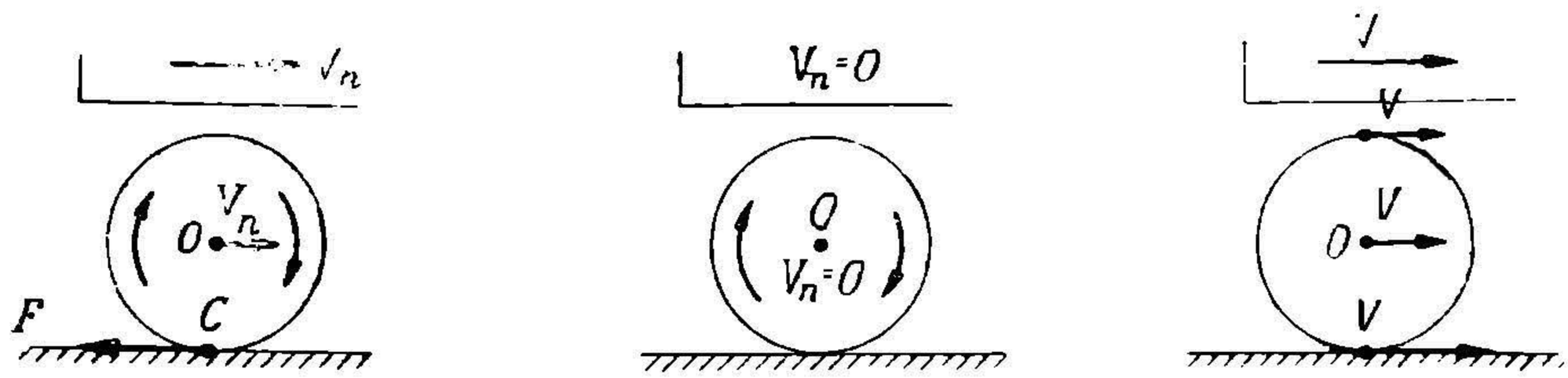


Рис. 20. Схема качения колеса по дороге.

колеса O равна скорости V_n поступательного движения автомобиля; $V_n = v = r\omega$, где ω — угловая скорость вращения колеса; r — радиус колеса.

2. Боксование колес (вращение на одном месте). Мгновенным центром является точка O; ось не перемещается поступательно или перемещается со скоростью меньшей скорости вращательного движения шины $V_n = 0$ или $V_n < r\omega$.

3. Скольжение (поступательное движение) колес по дороге. Вращательного движения колес нет совсем или скорость вращения v меньше поступательной: $v = r\omega = 0$ или $v < V_n$.

Рассмотрим теперь явление качения с точки зрения динамики.

Для качения без скольжения (первый случай), т. е. для того, чтобы точка C была центром вращения, необходимо, чтобы:

1. Вращательный момент, передаваемый колесу от двигателя, $M_1 = Fr$ (где F — сила тяги автомобиля, приложенная на ободе движущих колес; r — радиус колеса) мог бы преодолеть момент сопротивления качению автомобиля M_2, а сила тяги была бы больше силы сопротивления: $M_1 > M_2$ или $Fr > Q\omega r$; $F > Q\omega r$,

[1] Проф. А. Д. Халкиопов. „Сельскохозяйственные тракторы", 1931 г.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

где Q — вес машины с грузом; w — коэфициент сопротивления качению.

2. Сила тяги была бы меньше силы трения скольжения между колесом и дорогой $F < P\varphi$, где P — так называемый сцепной вес автомобиля или нагрузка на движущие оси (связанные с двигателем); φ — коэфициент сцепления или коэфициент трения покоя.

Коэфициент сцепления колеса дороги зависит в основном от состояния дороги. Для сухой и чистой дороги $\varphi = 0{,}4 - 0{,}7$; в исключительных случаях $\varphi = 0{,}8 - 1$; для дороги грязной влажной $\varphi = 0{,}1 - 0{,}3$; в гололедицу $\varphi = 0{,}005 - 0{,}1$. На грунтовой дороге боксование колес может происходить не только от скольжения колеса по дороге, но и от скольжения слоя влажного грунта, прилипшего к колесу, по грунту.

Мокрый чистый асфальт дает высокое сцепление; асфальт, покрытый слоем грязи или тем более каменная мостовая (булыжная, брусчатая), покрытая грязью и навозом, очень скользки. В общем, род дорожной одежды и характер покрышки колеса имеют небольшое значение, главное значение имеет состояние дороги.

При расчетах можно принимать:

Сухая, чистая дорога,—особо благоприятные условия	$\varphi = 0{,}7$
Сухая, чистая дорога,—нормальные условия	$\varphi = 0{,}5$
Скользкая, грязная дорога	$\varphi = 0{,}2$
Гололедица,—неблагоприятные условия	$\varphi = 0{,}1$

Расчетная величина коэфициента сцепления существенно влияет, как будет изложено далее, на величины основных норм проектирования—радиусов горизонтальных и вертикальных кривых, расстояния видимости и т. д.

21. Уравнение движения автомобиля

Мы рассмотрели в отдельности силу сопротивления движения W и силу тяги автомобиля F. При работе мотора обе эти силы приложены к автомобилю одновременно и характер его движения определяется взаимодействием этих сил.

Движение автомобиля, как мы видели, есть результат работы его мотора (сжигания горючего), передачи вращательного момента движущим колесам и сцепления этих колес с дорогой. Работа двигателя $T_д$ затрачивается на потери в передаче $T_п$ и на работу сопротивления движению T_w. Применяя закон сохранения энергии, получаем:

$$T_д - T_п = \eta_1 T_д = T_F; \quad T_F = T_w = M \frac{v^2_2 - v^2_1}{2},$$

где T_F — полезная работа двигателя на ободе колес (за вычетом потерь в передаче) на пути s; T_w — работа сопротивлений на том же пути; $\pm M \frac{v^2_2 - v^2_1}{2}$ — живая сила автомобиля, накопляемая

НБ УДУНТ (ДІІТ)

или теряемая в результате того, что работа двигателя может быть больше или меньше работы сопротивления.

Относя этот баланс к определенному отрезку пути длиной s и беря производные по длине пути, получим

$$\frac{dT_F}{ds} - \frac{dT_w}{ds} = \frac{d\left(M\frac{v^2}{2}\right)}{ds}$$

Но $\frac{dT_F}{ds}$ — удельная работа двигателя на 1 пог. м пройденного пути и есть сила тяги F, так как $Fds = dT_F$; $\frac{dT_w}{ds}$ — аналогично равно W, т. е. силе сопротивления движению

$$\frac{d\left(M\frac{v^2}{2}\right)}{ds} = M\frac{vdv}{ds} = M\frac{d^2s}{dt^2}.$$

Отсюда получаем уравнение движения

$$\boxed{F - W = M\frac{d^2s}{dt^2}}$$

По существу это диференциальное уравнение движения автомобиля отражает второй закон Ньютона и начало Даламбера. В левой части стоит проекция на направление пути s равнодействующей сил, приложенных к автомобилю, в правой части—произведение массы на ускорение.

Практически это уравнение отражает сущность управления автомобилем.

Если мотор включен и работает, $F > 0$ и в большинстве случаев сила тяги больше сопротивления движению $F > W$; в таком случае $\frac{d^2s}{dt^2} > 0$ и автомобиль получает ускорение; скорость движения возрастает. Если мотор выключен или не производит работы, то $F = 0$, $-W = M\frac{d^2s}{dt^2}$, и следовательно, $\frac{d^2s}{dt^2} < 0$, т. е. автомобиль движется замедленно. Как правило, сила тяги F не равна сопротивлению W и поэтому движение автомобиля неравномерно, $\frac{d^2s}{dt^2}$ не равно нулю, скорость $V = \frac{ds}{dt}$ величина переменная. Это имеет большое значение при расчетах движения автомобиля, как будет показано далее.

Если мы перенесем все члены уравнения движения в левую часть, то получим

$$F - W - M\frac{d^2s}{dt^2} = 0.$$

Это есть уравнение равновесия сил (в этом и состоит начало Даламбера), причем к действительным силам добавлена фиктивная — $M\frac{d^2s}{dt^2}$, называемая силой инерции. Сила инерции равна произведению массы на ускорение и направлена в сторону про-

НБ УДУНТ (ДПТ)

тивоположную ускорению. Поэтому при включенном моторе и ускоренном движении автомобиля сила инерции направлена назад. При выключенном или при неработающем моторе величина ускорения $\frac{d^2s}{dt^2}$ отрицательна и сила инерции направлена вперед.

Величина силы инерции тем больше, чем больше ускорение; сила инерции особенно велика при торможении автомобиля (§ 25).

Зная выражения составных частей сопротивления движению и заменяя $M = \frac{Q}{g}$, можем написать уравнение движения в развернутом виде

$$F - W = F - Q\ (w \pm i) - W_в = \frac{Q}{g}\ \frac{d^2s}{dt^2}$$

или

$$\boxed{\frac{F - W_в}{Q} = w \pm i + j};$$

здесь $j = \frac{d^2s}{dt^2}$ g — отношение ускорения автомобиля к ускорению силы тяжести. Например, если ускорение автомобиля 0,5 м/сек.^{2}, то $j = 0{,}5 : 9{,}81 = 0{,}05$.

В таком преобразованном виде левая часть уравнения движения

$$D = \frac{F - W_в}{Q}$$

называется динамическим фактором автомобиля [1]).

Динамический фактор есть избыток силы тяги F над сопротивлением воздуха $W_в$, отнесенный к одной тонне веса автомобиля.

На рис. 18 были представлены кривые зависимости силы тяги F от скорости $F = f(V)$, на рис. 14 представлена зависимость сопротивления воздуха от скорости:

$$W_в = \frac{\rho\Omega V^2}{13}.$$

Если совместить эти две кривые и отнести вертикальный масштаб к 1 т веса автомобиля Q, то получим изображение зависимости динамического фактора от скорости (рис. 21). Такое изображение называется динамической характеристикой автомобиля.

Учитывая, что максимальное значение $F_{max} = P\varphi$, а для лег-

---

[1]) Понятие о динамическом факторе и динамической характеристике предложено проф. Е. А. Чудаковым.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ковых при $\varphi = 0{,}5$; $P = 0{,}65Q$; $F_{max} = 0{,}32Q$, а при $\varphi = 0{,}7$; $F_{max} = 0{,}45\ Q$, получим, что динамический фактор изменяется:

Для легковой машины:

от $D = 0{,}28 - 0{,}30$ при $V = 5$ км/час
до $D = 0{,}02$ при $V = 90$ км/час

Для трехтонного грузовика ЗИС-5

от $D = 0{,}42$ при $V = 5$ км/час
до $D = 0{,}02$ при $V = 65$ км/час

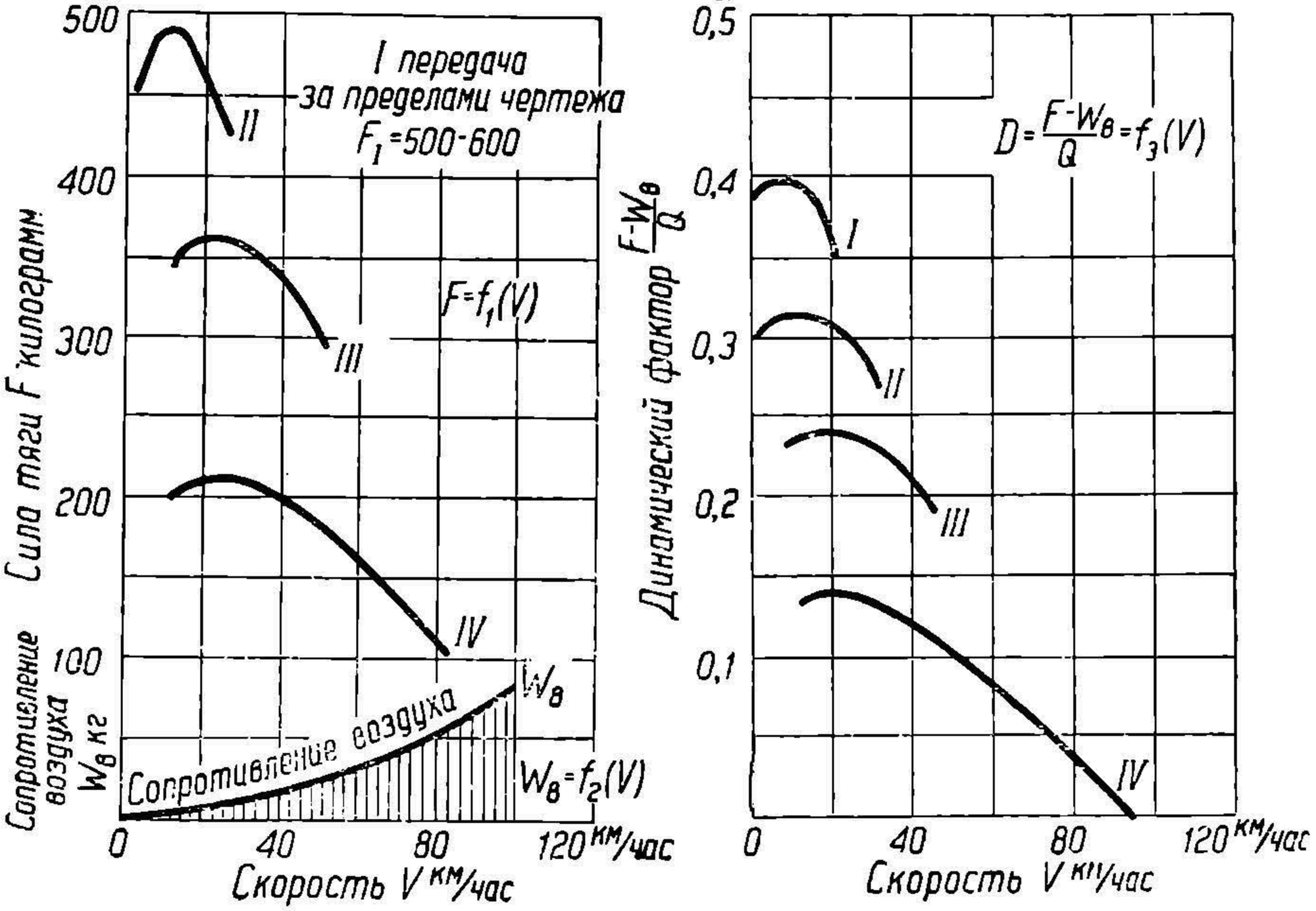


Рис. 21. Динамическая характеристика автомобиля (зависимость динамического фактора D от скорости V).

Слева показана эпюра зависимости силы тяги F и сопротивления воздуха $W_в$ от скорости V.

Уравнение движения и кривые на рис. 21 и 22 показывают, что избыточная сила тяги автомобиля $D = \frac{F - W_в}{Q}$ может быть, смотря по обстановке, использована различно для преодоления больших значений w или i или j:

1. Для преодоления повышенного сопротивления качению w.

Это может иметь место, например, на грязных глинистых грунтовых дорогах при сопротивлении качению $w = 0{,}05 - 0{,}10$, или на участках дорог, пролегающих по сыпучим пескам при $w = 0{,}10 - 0{,}15$. Водитель переключает передачи с высших на

НТБ УДИТ (ДИТ)

низшие. Скорость движения при этом будет небольшой $V = 20$ км/час (см. табл. 8 на стр. 58).

2. Для преодоления больших подъемов в холмистой или гористой местности $i = 0{,}08 — 0{,}10$, также с небольшими скоростями $V = 15 — 20$ км/час. Такие подъемы могут быть взяты только на сухой и плотной дороге, с переключением на низшие передачи.

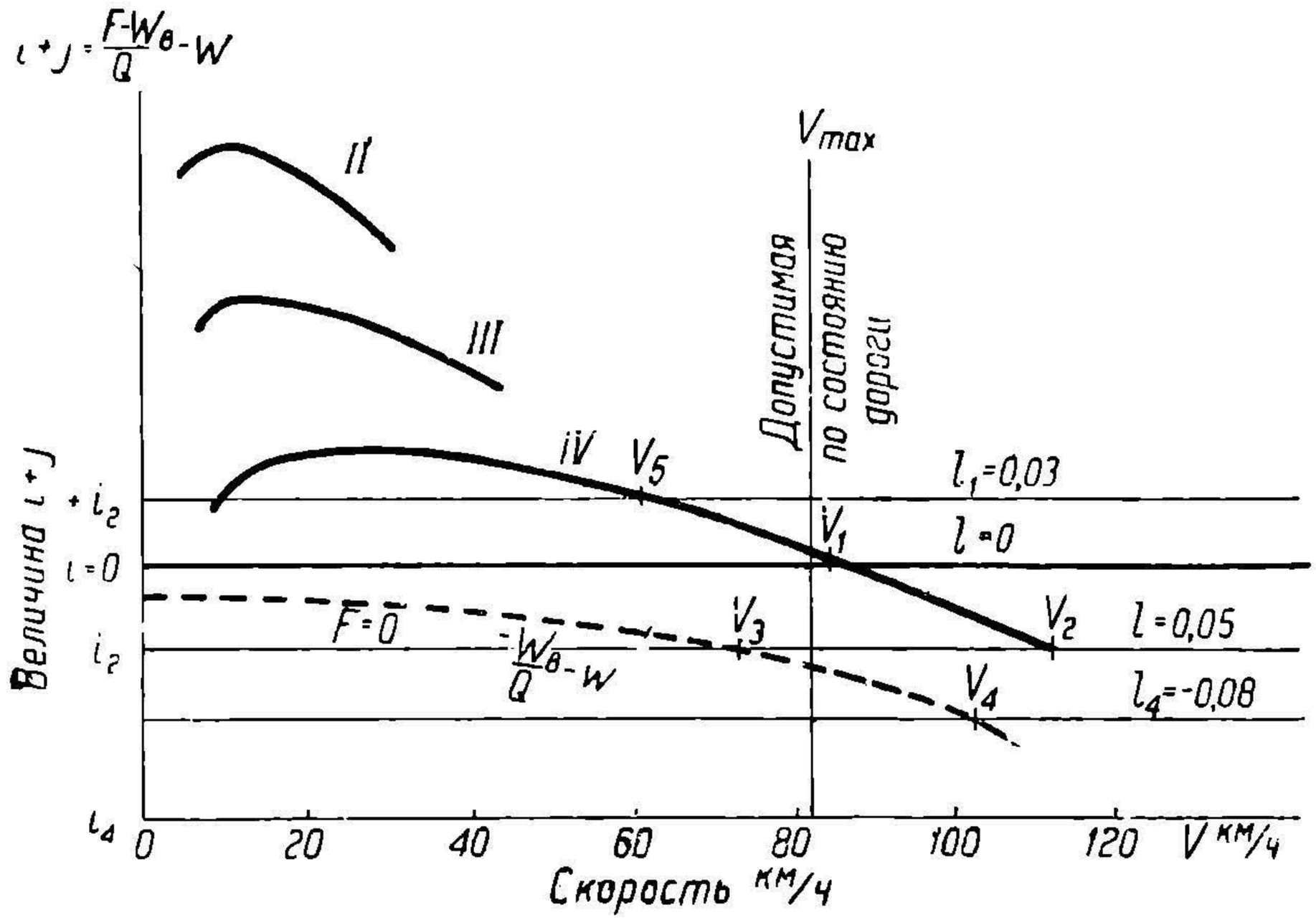


Рис. 22. Зависимость суммы проходимого подъема и ускорения $i+j$ от скорости. Пунктиром показано сопротивление воздушной среды.

На такой же дороге при скорости $V = 40 — 60$ км/час, т. е. на высшей прямой передаче, могут быть взяты подъемы 0,04 — 0,06 (см. табл. 8).

3. В условиях городской езды для быстрого восстановления скорости после каждого замедления: на пересечениях улиц, около трамвайных остановок, при случайном загромождении проезда скоплением экипажей и т. д.

Для восстановления скорости автомобиль должен получать ускорения $\frac{d^2s}{dt^2} = 1 — 1{,}5$ м/сек.^{2}; это соответствует величинам $j = \frac{d^2s}{dt^2} : g = 0{,}10 — 0{,}15$, что и показывают кривые рис. 21 и 22 при малых скоростях 10—20 км/час.

Уравнение движения в виде $F — W = M\frac{d^2s}{dt^2}$ и в виде $\frac{F — W_в}{Q} = w \pm i + j$, а также условие $F < \varphi P$ освещают таким

НБ УДУНТ (ДІІТ)

образом основные характеристики движения автомобиля и могут служить исходными для решения ряда практических задач — определения скорости движения, определения величины подъемов, проходимых автомобилем, и т. д.

22. Скорости и ускорения

Движение автомобиля неравномерно и скорости не остаются постоянными. Скорости эти все время движения изменяются в пределах, допустимых на разных участках по состоянию дороги и по дорожной обстановке.

На рис. 23, в верхней части, представлен сокращенный продольный профиль дороги (см. § 14), на котором указана величина уклонов i в процентах. Под профилем изображен схематический

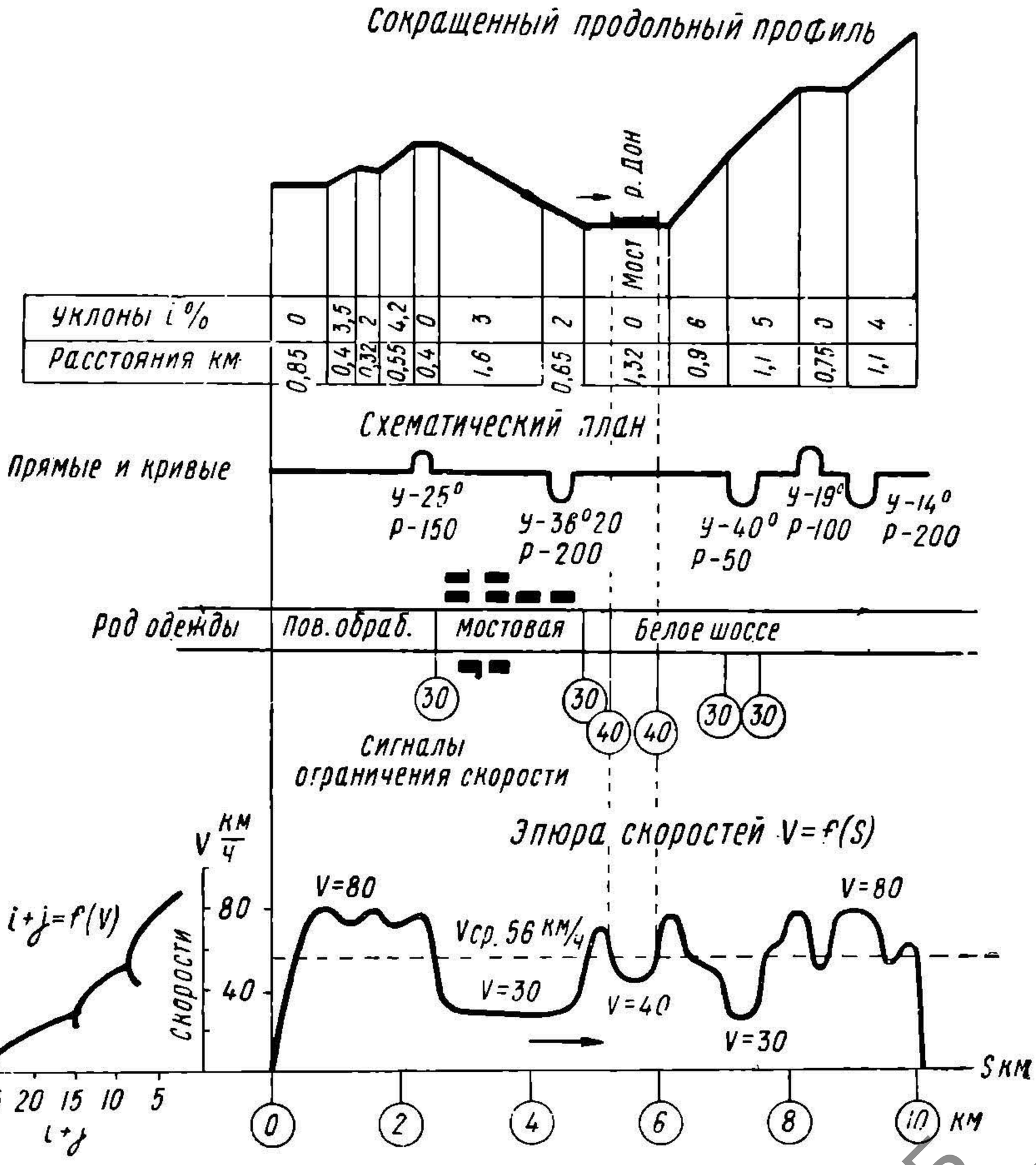


Рис. 23. Изменение скорости автомобиля в зависимости от дорожной обстановки. Сверху изображен продольный профиль участка дороги, под ним условный план. Ниже — эпюра скоростей $V = f$ (s) в зависимости от расстояния. На 3 — 5 км — населенный пункт.

НБ УДУНТ (ДИТ)

план дороги, на котором расставлены сигналы об ограничении скорости — при проезде через селение 30 км/час, при проезде через мост 40 км/час, при проходе по закруглению радиусом 50 м — 30 км/час.

Внизу рис. 23 изображен график скорости в зависимости от пути $V = f(s)$. Из этого графика видно, что скорость не остается почти нигде постоянной, а меняется все время от 80 до 30 км/час. Средняя скорость на всем участке составляет 56 км/час. Эта скорость определяется замедлениями, вызываемыми дорожной обстановкой.

На рис. 24 представлено сопоставление скоростей движения (снятых самопишущим прибором) при езде на участке дороги

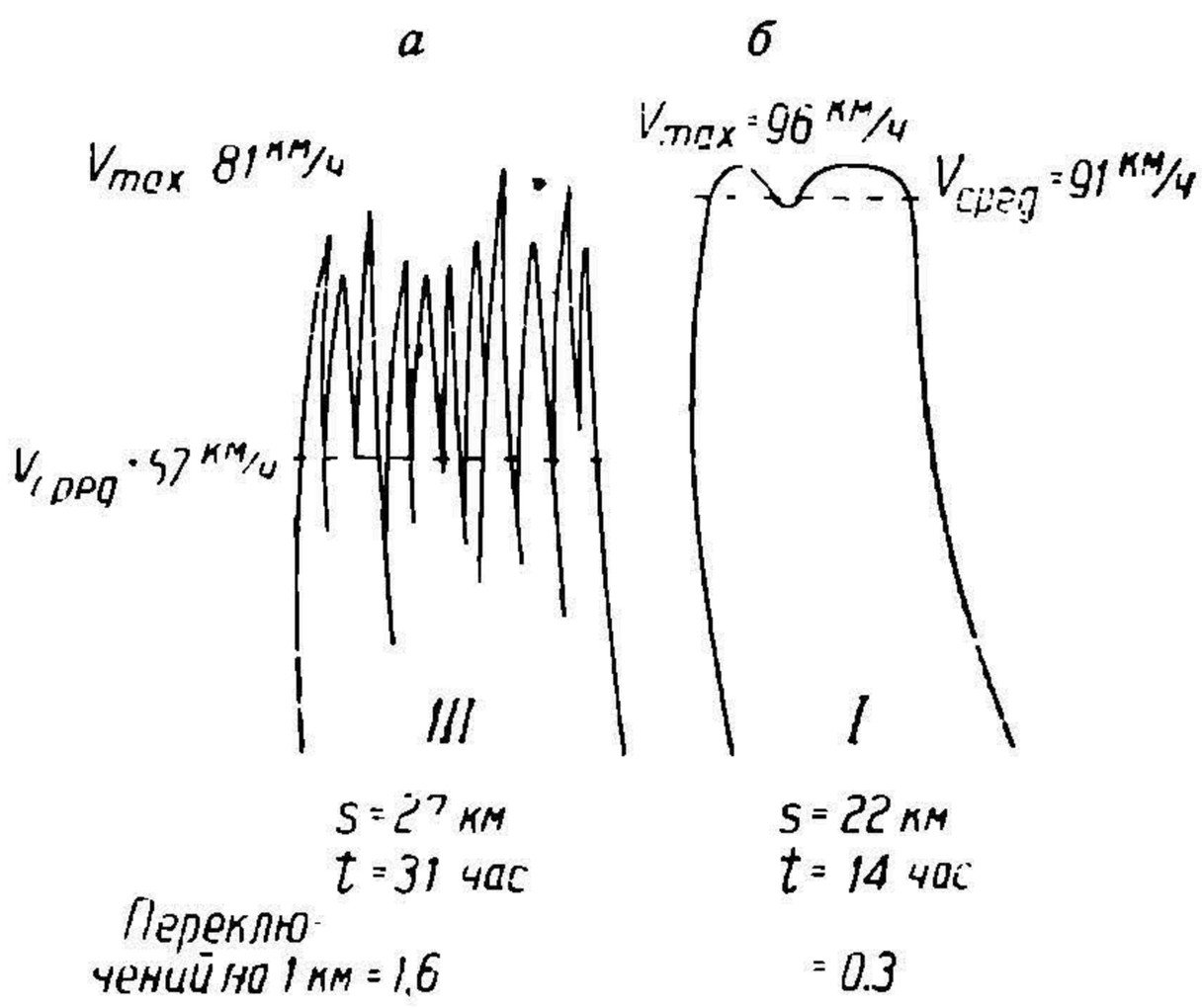


Рис. 24. Зависимость скорости от расстояния:

а — на дороге IiI класса с понижениями скорости при скрещениях, пересечениях и других препятствиях; *б* — на автомагистрали I класса без пересечений в одном уровне. Скорость отмечалась самозаписывающим прибором.

	III	I
Максимальная скорость в км/час	81	96
Средняя скорость в км/час	57	91
Длина участка в км	27	22
Время хода в мин.	31	14
Число переключений передач на км.	1,6	0,3

III класса длиной 27 км и по автомагистрали I класса, длиной 22 км. В первом случае скорость, так же как в примере на рис. 23, меняется зигзагами вследствие непрерывных препятствий (закругления, стеснение движения при скрещении и при обгоне на малой ширине, задержки на пересечениях с другими дорогами). При максимальной скорости 81 км/час средняя скорость на дороге III класса 57 км/час (рис. 24). В то же время, на автомагистрали при большой ширине дороги и устройстве пересечений в разных уровнях, замедлений в пути не было и, при той же максимальной скорости, средняя достигла 91 км/час.

Таким образом, скорость в любой точке дороги зависит не столько от уклонов продольного профиля, сколько от обстановки дороги (свободное движение, отсутствие скрещений и обгонов, отсутствие препятствий на пути) и, кроме того, от управления машиной водителем.

При рассмотрении рис. 23 и 24 естественно возникает вопрос о том, с какой максимальной скоростью V_{max} может итти автомобиль по данной дороге.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Максимальная скорость V_{max}, как было указано, определяется главным образом, состоянием дороги, т. е. ровностью одежды. Если одежда капитального типа (цементобетон или асфальтобетон) с очень ровной поверхностью, то максимальная скорость ограничивается мощностью мотора и возможностью затормозить машину. На рис. 22 и 25 максимальные скорости V_2 и V_6 определяются по мощности мотора пересечениями кривых динами-

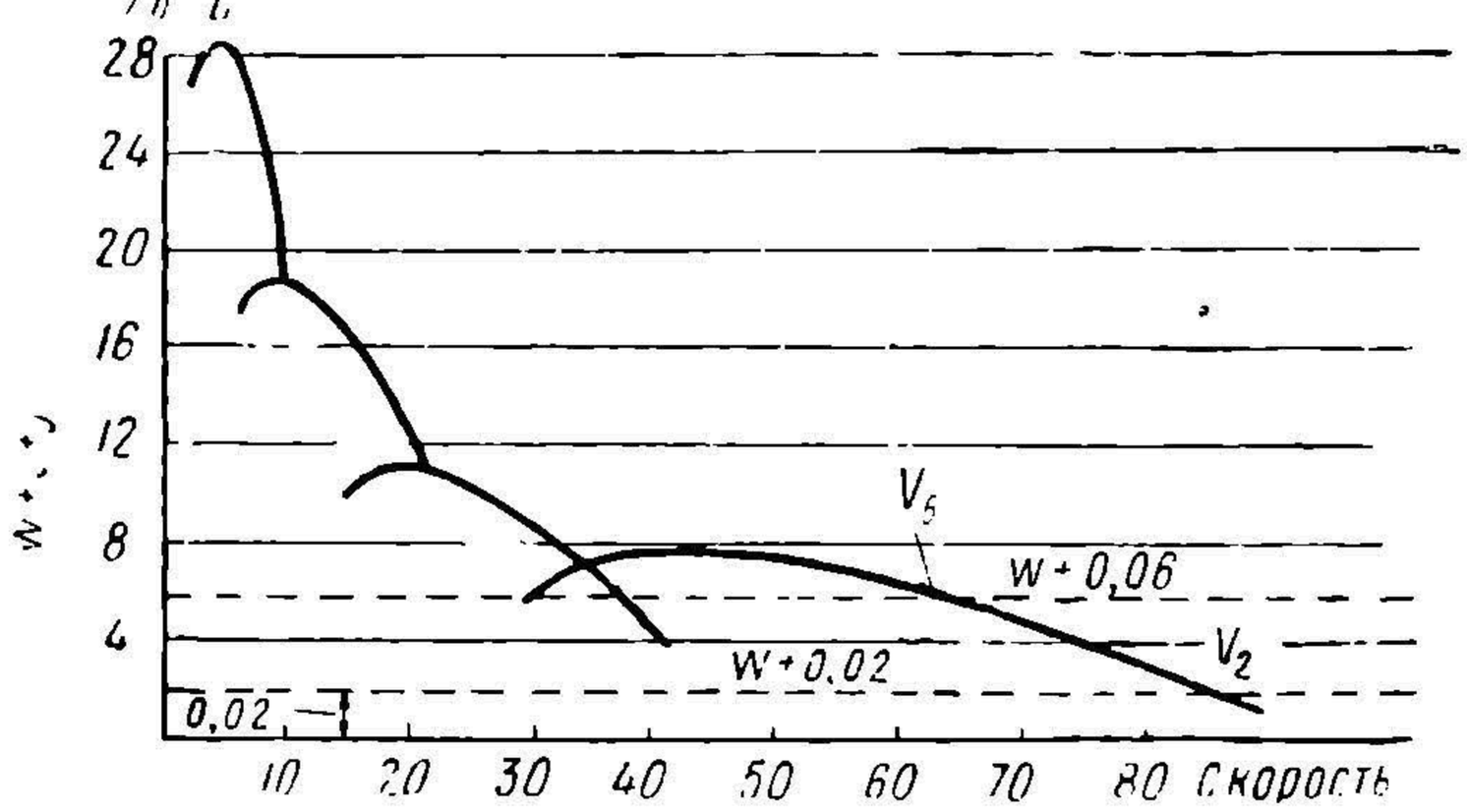


Рис. 25. Графическое определение равновесных скоростей для разных подъемов.

Сплошные кривые представляют динамическую характеристику автомобиля. Пунктирные прямые соответствуют ординатам $y = w \pm i$.

ческого фактора с горизонтальными линиями, соответствующими уклонам $i = 0$, i_1, $+ i_2$, $- i_2$. Для каждой точки пересечения:

$$\frac{F - W_в}{Q} = w + i,$$

откуда $j = 0$; $\frac{d^2s}{dt^2} = 0$; $V = \text{const}$.

Максимальная скорость, очевидно, может быть достигнута на некотором достаточно длинном спуске (например 2%), если мотор работает на полном газе и на прямой передаче. При большей величине уклона, на затяжных спусках, мотор целесообразнее выключить или давать бедную смесь, иначе максимальная скорость могла бы возрасти настолько, что движение, вследствие трудности торможения, стало бы небезопасным (§ 25).

Как было указано в § 8, современные легковые автомобили легко дают скорости 90—120 км/час. Грузовые автомобили развивают скорость до 60—80 км/час. Именно эти скорости и учтены при составлении Технических условий 1938 г., так что практически можно сказать, что максимальная скорость определяется классом дороги и состоянием одежды. Промежуточные скорости (меньше максимальной) определяются в основном величинами ускорения и замедления хода машины. Чем больше

НБ УДИТ (ДИТ)

величина ускорения, тем быстрее восстанавливается скорость после замедлений, вызванных препятствиями на дороге, и тем выше средняя скорость $V_{ср}$.

Возможная величина ускорения на каждом участке зависит: 1) от скорости движения V; 2) от величины подъема i; 3) от нагрузки автомобиля, т. е. от его веса Q; 4) от воли водителя. На рис. 22 (см. стр. 50) показана зависимость

$$i+j=f(V),$$

определяемая из условия

$$i+j=\frac{F-W_в}{Q}-w.$$

Правая часть есть функция скорости. В левой части стоит сумма $i+j$ уклона и относительного ускорения. Собственно ускорение выражается зависимостью

$$\frac{d^2s}{dt^2}=gj=g\left(\frac{F-W_в}{Q}-w-i\right)$$

или

$$\frac{d^2s}{dt^2}=f(V,i).$$

Как было указано на стр. 49 и как видно из рис. 21, при малых скоростях величина динамического фактора может составить 0,20—0,30, а при больших скоростях 0,05.

Учитывая соотношение

$$\frac{d^2s}{dt^2}=gj=\sim 10\,j,$$

а также то, что величина подъемов находится в пределах от 0 до 0,07, можно видеть, что при трогании с места, т. е. при $V=0$, возможная величина ускорения может достигнуть 1,5—2 м/сек.^{2}. Спокойное трогание с места, т. е. отсутствие рывка, заставляет ограничивать это ускорение величиной 1—1,5 м/сек.^{2}. На остальном пути предпочтительно еще более плавное ускорение около 0,5 м/сек.^{2}. На подъемах, при значительных скоростях V, возможное ускорение ограничивается величиной 0,1 м/сек.^{2} и может снизиться до нуля.

Величина ускорения, оставаясь ограниченной пределами сцепления и условием спокойного хода, все же, главным образом, зависит от воли водителя. Давая „полный газ“ и работая на соответствующей передаче, водитель может увеличить силу тяги F и динамический фактор $\frac{F-W_в}{Q}$ и получить более значительное ускорение

$$\frac{dV}{dt}=gj.$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Чем больше времени будет применяться ускорение, тем большую скорость разовьет автомобиль. Наоборот, если водитель убавит газ, т. е. подачу бензина до минимума, ускорение станет отрицательным,

$$F=0, \quad i+j<0$$

движение будет замедляться.

На рис. 23 (см. стр. 51) наклон касательной к кривой $V=f(s)$ характеризует переходы от одной скорости к другой, или с некоторым искажением величину ускорения,

$$\frac{dV}{ds}=\frac{dV}{dt}\cdot\frac{dt}{ds}=\frac{1}{V}\cdot\frac{d^2s}{dt^2}=\frac{gj}{V}.$$

Величину $\frac{i+j}{V}$ легко определить на графике $i+j=f(V)$, проведя лучи из начала координат к любой точке кривой. Если строить график зависимости скорости от времени $V=f(t)$, то наклон касательной на таком графике непосредственно показывает величину ускорения $\frac{dV}{dt}$.

Построение такого графика является графическим интегрированием уравнения движения

$$F-W_в=M\frac{d^2s}{dt^2}$$

и может быть выполнено разными способами. Получив кривую $V=f(t)$, можно построить посредством ее интегрирования кривую $s=f(t)$, т. е. определить время хода автомобиля на данном участке. Решение этой задачи связано, однако, с величиной замедления при торможении, почему и будет рассмотрено далее в § 25.

23. Подъемы, проходимые автомобилем в зависимости от скорости и условий сцепления

Как было изложено в §§ 21 и 22, водитель, управляя автомобилем и пользуясь, в зависимости от условий пути, коробкой скоростей и дроссельной заслонкой, может использовать работу мотора по своему желанию для придания автомобилю большего или меньшего ускорения. Этим ускорением определяется скорость автомобиля; обратно, само ускорение зависит от скорости и подъема:

$$\frac{d^2s}{dt^2}=gj=f(V, i).$$

Таким образом, величины подъема, ускорения и скорости связаны между собой зависимостью $\Phi(i, V, j)=0$, но величина ускорения зависит от усмотрения водителя.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Весь процесс движения автомобиля может быть графически представлен эпюрой движения, изображенной на рис. 23 внизу.

В предыдущем параграфе было показано, как по динамической характеристике автомобиля определить величину наибольшей возможной скорости на разных уклонах

$$V_{max} = f_1(i),$$

а также наибольшего ускорения

$$j_{max} = f_2(V, i).$$

Теперь определим величину наибольшего подъема i_{max}, проходимого автомобилем, в зависимости от скорости и сцепления

$$i_{max} = f_3(V, \varphi).$$

Эта величина наибольшего подъема, проходимого автомобилем, имеет большое значение для проектирования дорог, в особенности в горной местности, и входит в число основных технических нормативов классификации дорог. Независимо от этого, величина наибольшего подъема является и характеристикой самого автомобиля — его проходимости в пересеченной местности, по горным дорогам и по целине. Для нахождения величины наибольшего подъема используем два основных условия движения автомобиля

$$\begin{cases} \dfrac{F - W_в}{Q} = w + i + j \\ F_{max} < \varphi P, \end{cases}$$

где P, как было указано на стр. 44 и 46, — сцепной вес автомобиля.

Исключая из этих условий силу тяги F, получим условие

$$(w + i + j)_{max} < \varphi \frac{P}{Q} - \frac{W_в}{Q}.$$

Графически эта зависимость вытекает из рис. 22 и 26:

$$w + i + j = f(V).$$

Задаваясь разными коэфициентами сцепления φ и скоростями V, можно получить различные значения $(i + j)_{max}$. Так например, для малых скоростей движения 5—10 км/час можно положить $W_в = 0$; для ровной дороги $w = 0{,}02$; при сухой дороге коэфициент сцепления $\varphi = 0{,}5$; для двухосного автомобиля

$$\frac{P}{Q} = 0{,}65.$$

При таких условиях

$$(i + j)_{max} < \varphi \frac{P}{Q} - w;$$

$$(i + j)_{max} = (0{,}5 \cdot 0{,}65) - 0{,}02 = 0{,}30.$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

На рис. 26 для этой скорости величина динамического фактора $D = 0{,}30$. Если, например, задаться скоростью $V = 60$ км/час, то динамический фактор (по мощности мотора, как можно видеть из рис. 26)

$$D = w + i + j = 0{,}08.$$

Задаваясь $w = 0{,}02$, получим при $j = 0$ $i_{max} = 6\%$. Такой подъем, как можно видеть из динамической характеристики, автомобиль может пройти и по скользкой дороге при $\varphi = 0{,}2$.

В самом деле зададимся, например, для порожней полуторатонки

$$\rho = 0{,}07;\ \Omega = 4\ м^2;\ W_в = 0{,}07 \cdot 4 \cdot \frac{V^2}{13} = 0{,}28 \cdot \frac{60^2}{13} = 78\ кг;$$

$$\frac{W_в}{Q} = \frac{78}{1500} = 0{,}05.$$

Тогда по условиям сцепления

$$i = \varphi \frac{P}{Q} - \frac{W_в}{Q} - w = (0{,}2 \quad 0{,}65) - 0{,}05 - 0{,}02 = 0{,}06.$$

В гололедицу при $\varphi = 0{,}1$ движение возможно только на подъемах не более 3%, а трогание с места (разгон) возможно только на подъемах 1%.

Наконец при скорости $V = 80$ км/час для той же машины $D = 0{,}03$ и подъем, на котором может быть развита такая скорость, не более 1%.

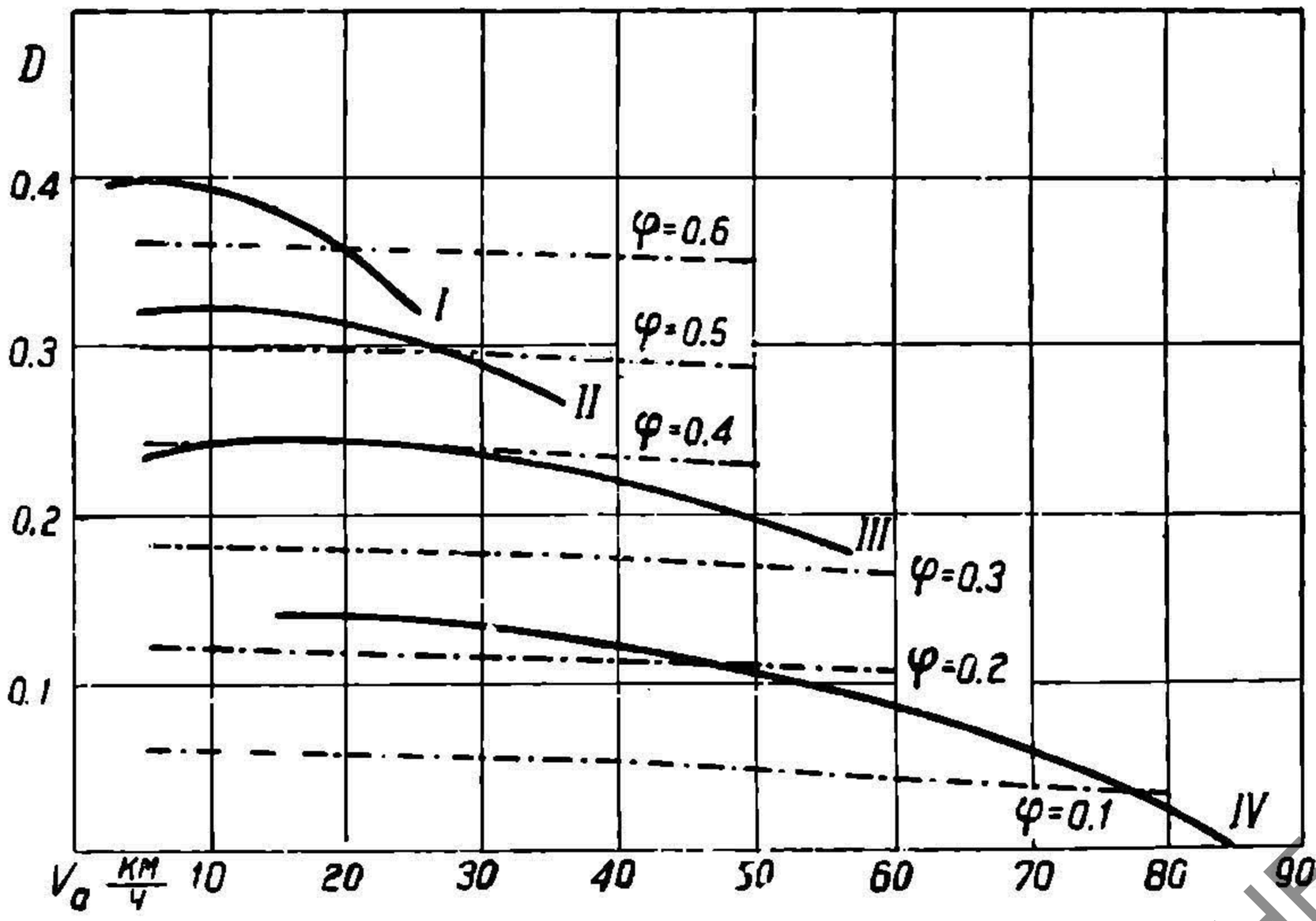


Рис. 26. Величина динамического фактора:
а) сплошные линии — по мощности двигателя; б) пунктирные линии — по условиям сцепления.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

На рис. 26 изображены две системы кривых. Сплошные представляют величины динамического фактора, определяемого мощностью мотора

$$w + i + j = f_1(V),$$

пунктирные представляют ограничения этого же фактора по условиям сцепления

$$\varphi \frac{P}{Q} - \frac{W_в}{Q} = f_2(V).$$

Второй член в этом уравнении—удельное сопротивление воздуха при скорости 40 км/час невелико, поэтому эти кривые близки к горизонтальным прямым

$$y = \varphi \frac{P}{Q}.$$

Для каждой заданной скорости V и для каждого коэфициента сцепления φ следует брать наименьшее из двух значений динамического фактора — по мощности и по сцеплению.

В итоге, учитывая совместно динамические свойства разных автомобилей, т. е. изменение силы тяги, в зависимости от скорости, и условия сцепления на разных дорогах, можно представить проходимость автомобилей в виде табл. 8.

Таблица 8

Подъемы, проходимые автомобилем

Тип дороги	Состояние дороги	Коэфициент сцепления φ	Коэфициент сопротивления движению w	Скорость в км/час	Подъем, проходим. автом. в %
Цементобетонная, асфальтобетонная, черная дорога	Сухая, чистая	0,35*	0,02	120—150	2—3
	"	0,35	0,02	90—120	3—4
	" "	0,50	0,02	60—90	4—5
	" "	0,50	0,02	40—60	5—6
	" "	0,50	0,02	15—20	8—12
	" "	0,70	0,02	5—10	15—20
	Гололедица	0,10	0,02	15—20	3—4
Грунтовая	Сухая, плотная	0,70	0,03—0,05	5—10	15—20
	"	0,50	0,03—0,05	40—60	6—8
	Плотная, покрытая грязью	0,25—0,35	0,04—0,06	25—30	4—6
	Грязная, размягченная	0,10—0,20	0,06—0,08	10—20	2—4

Таким образом, проходимость подъемов резко изменяется в зависимости от состояния дороги и скорости движения.

* Коэфициент сцепления уменьшается со скоростью.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

На приведенные в табл. 8 величины уклонов, а также скорости и коэфициенты сцепления следует смотреть как на примерные. Табл. 8 приведена с той целью, чтобы показать многогранность вопроса о подъемах, проходимых автомобилем. Не существует (как это ошибочно указывается в некоторых руководствах) какого-либо определенного подъема, проходимого автомобилем; величина подъема зависит от скорости и от условий сцепления.

В табл. 9 даны величины наибольших подъемов для государственных автомобильных дорог Союза ССР по Т.У Гушосдора НКВД 1938 г.

Таблица 9

Наименование нормативов и элементов	Класс дороги и характер местности						
	I	II			III		
	равнинная	равнинная	пересеченная	гористая	равнинная	пересеченная	гористая
Скорость движения в нормальных условиях в км/час . .	120	100	80	40	60	50	30
Скорость по скользкой дороге в км/час	80	65	50	25	40	35	20
Максимальный продольный уклон в процентах . .	3	4	5	6	4	5	7

Для дорог местного значения, по проекту Т. У., рекомендуются подъемы, указанные в табл. 10.

Таблица 10

Группа дорог	А			Б		
Местность	равнинная	холмистая	высокогорная	равнинная	холмистая	высокогорная
Расчетная скорость в км/час . . .	60	50	40	40	30	20
Максимальный уклон в процентах .	6	7	8	6	8	9

Данные в этих нормах соотношения между скоростями и подъемами, в общем, соответствуют показанным в табл. 8. Величины подъемов, данные в Т. У., назначены не только по тяговым, но и по строительным (экономическим) соображениям (см. § 52); для дорог, обслуживающих местное движение, дешевизна постройки дороги имеет важное значение.

Отметим, что во многих руководствах излагается неправиль-

НБ УДУИТ (ДИТ)

ный прием назначения максимального подъема. Именно, исходя из формулы зависимости силы тяги от мощности двигателя (стр. 43):

$$F = \frac{270\ N}{V}$$

и заменяя

$$F = W = Q\ (w + i),$$

определяют

$$i_{max} = \frac{270\ N}{QV} - w,$$

причем задаются мощностью мотора N и скоростью движения V. Вычисленный по такой формуле подъем называют руководящим и рекомендуют положить в основу проектирования дороги.

Несмотря на кажущуюся простоту, этот прием является нагромождением ошибок:

1. Движение предполагают установившимся, так как $F = W = Q\ (w + i)$, следовательно $\frac{d^2s}{dt^2} = 0$; $V = \text{const}$; предполагают, что водитель автомобиля лишен возможности управлять скоростью и, в частности, пройти подъем за счет некоторого снижения скорости, или наоборот, дать ускорение.

2. Мощность мотора считают постоянной, тогда как она зависит от числа оборотов n и следовательно от скорости V, почему нельзя задаваться произвольным соотношением чисел N и V.

3. Подъем выбирают, т. е. дорогу проектируют, для условий работы какого-то одного мотора (к тому же несуществующего, см. п. 2), тогда как дорога должна быть пригодной в течение ряда лет и для машин различных типов.

Единственно правильным является определение проходимости подъемов по динамическим характеристикам разных автомобилей. Что касается выбора подъема, то следует учитывать, что все современные автомобили, легковые и грузовые, обладают проходимостью по тем максимальным подъемам, которые применяются на дорогах. Затруднения на больших подъемах могут возникнуть: 1) при недостаточном сцеплении $\varphi \leqslant 0{,}2 - 0{,}3$, как например, на грязной скользкой дороге, в гололедицу и т. д.; 2) при эксплоатационных требованиях езды с большими скоростями $V > 80 - 100$ км/час и недопущении заметного снижения заданной скорости, хотя бы на отдельных участках; 3) при пользовании прицепами (см. § 27).

Чем меньше максимальный подъем, тем лучше эксплоатационные качества дороги, тем с большими скоростями могут двигаться легковые и грузовые машины, тем меньше расход бензина. Однако уменьшение подъема связано с увеличением строительных работ и расходов на сооружение дороги. Уменьшение максимального подъема на 1% иногда может вызвать удорожание дороги на 10%. Поэтому задача выбора подъема является в основе **экономической задачей.**

НБ УДИТ (ДІІТ)

Для полного усвоения значения подъемов для движения автомобилей необходимо рассмотреть еще вопрос о подъемах меньших и больших максимального, а также о движении по уклону вниз.

24. Промежуточные, исключительные и затяжные подъемы

Максимальные подъемы встречаются на незначительном протяжении дороги: в равнинной местности не более 5% длины; в горной до 30%. Поэтому наиболее характерными условиями для движения автомобиля являются небольшие подъемы, площадки и спуски. Скорость движения на таких участках близка к скорости на горизонтальных площадках. На рис. 22 и 25 нанесены кривые динамической характеристики автомобиля и, кроме того, пунктирные линии, параллельные оси абсцисс, ординаты которых y соответствуют сумме разных подъемов и сопротивления качению $i+w$. Пересечения кривых и прямых линий соответствуют точкам, для которых $j=0$; $V_i=\text{const}$. Такие скорости называются р а в н о в е с н ы м и и теоретически могут быть определены для каждого подъема и для данного автомобиля. Однако фактически, как правило, автомобиль вступает на подъем с той скоростью, с которой он шел на предыдущем участке. Эта скорость отличается от равновесной, а именно, оказывается большей или меньшей V_i. Если $V>V_i$, то ускорение gj делается отрицательным, автомобиль начинает несколько терять скорость. При малой длине подъема, не более 200 м, это понижение скорости почти незаметно. При значительной длине скорость может постепенно понизиться до равновесной скорости, и, после этого, движение будет равномерным. Эта новая скорость может быть или вполне приемлемой (например, если автомобиль понизил скорость с 80 до 70 км/час), или может оказаться ниже той скорости, с какой желает ехать водитель (положим 50 км/час). В последнем случае у водителя есть возможность выравнять скорость, прибегая к перемене передач (при малом понижении скорости выравнивание может быть достигнуто акселератором, т. е. обогащением смеси). Переходя с прямой (четвертой) передачи на третью или вторую, водитель увеличивает значительно силу тяги, ускорение делается положительным и скорость V будет возрастать, стремясь к новой равновесной скорости. Однако, это повышение скорости будет достигнуто за счет некоторого повышения расхода горючего. (Напомним, что сила тяги есть расход энергии на единицу длины $F=\frac{dT}{ds}$). Если при вступлении на подъем скорость менее равновесной $V<V_i$, то ускорение $j>0$ и автомобиль будет итти ускоренно.

В общем, движение по пологим подъемам, значительно меньшим максимального, дает незаметные отклонения от скорости на горизонтальной площадке. Эти отклонения, при желании, могут быть выравнены акселератором (открытием дросселя). На кру-

НБ УДИТ (ДГТУ)

тых подъемах скорость падает и может быть в свою очередь выравнена включением более низких передач.

На коротких подъемах, хотя бы очень крутых, можно и не прибегать к изменению передач, если допустить некоторое понижение скорости. Разберем случай, когда автомобиль вступает на подъем больший максимального $i > i_{max}$. Если при этом скорость в начале подъема будет достаточно высокой, то автомобиль легко может взять такой подъем с разгона, т. е. за счет некоторого снижения скорости и потери живой силы.

В самом деле, пусть автомобиль идет с большой скоростью V_1, близкой к равновесной для предыдущего подъема, например i_1. В таком случае

$$F = W_в + Q(w + i_1);\ j = 0.$$

При переходе на больший подъем работа преодоления уклона будет итти за счет уменьшения живой силы. Именно, вместо предыдущего равенства будем иметь

$$F = W_в + Q(w + i_2 - j_2).$$

Полагая, что сила тяги поддерживается постоянной и вычитая первое уравнение из второго, получим

$$Q(i_2 - i_1) - Qj_2 = 0;$$

заменяя

$$j_2 = \frac{d^2s}{dt^2} : g = \frac{dV}{dt} : g = \frac{VdV}{ds} : g = \frac{d\left(\frac{V^2}{2}\right)}{gds} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2gs},$$

(где V_2 — пониженная скорость в конце участка длиной s с подъемом i_2), получим величину увеличения подъема за счет уменьшения скорости

$$i_2 - i_1 = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2gs}.$$

Если V_1 и V_2 выражены в км/час, то

$$i_2 - i_{max} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{254\,s}.$$

или

$$1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = \frac{254\,s\,(i_1 - i_2)}{V_1^2}.$$

Одна из четырех величин $(i_1 - i_2)$, s, V_1, $\frac{V_2}{V_1}$ может быть искомой, а три других заданными. Например, при использовании только живой силы, без переключения скоростей, при въезде с площадки $i = 0$ на уклон 8% со скоростью $V = 60$ км/час, при условии падения скорости не ниже $V_2 = 40$ км/час, длина этого уклона

$$s = \frac{V_1^2 - V_2^2}{254\,(i_1 - i_2)} = \frac{60^2 - 40^2}{254 \quad 0{,}08} = \sim 100 \text{ м}.$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При пользовании переключением скоростей и при увеличении силы тяги условия будут благоприятнее.

По Т. У. Гушосдора НКВД 1938 г. исключительные подъемы допускаются на 1% выше максимальных. Приведенный пример показывает, что при допущении снижения скорости на 20—30% можно, на коротких протяжениях, пользоваться подъемами на 2% выше максимального.

При значительной длине крутых подъемов (называемых затяжными) скорость на прямой передаче сильно падает. Если ехать на более низких передачах, то скорость может быть удовлетворительной, но работа мотора будет напряженной (большой расход энергии, большая мощность); при этом может случиться, что мотор будет отдавать большое количество тепла и вода в радиаторе закипит. Поэтому по Т. У. 1938 г. на горных дорогах, на участках с затяжными предельными уклонами необходимо устраивать через каждые 2 км подъема вставки с уклонами не более 2%, длиной не менее 100 м для дорог II класса и 50 м для дорог III класса. При максимальном подъеме для дорог II класса 6% высота подъема на 2 км составляет 120 м, так что при высоте горы, например, 500 м потребуется устроить три разделительных площадки, на которых радиатор может охладиться (см. § 58).

В итоге можно повторить, что пологие подъемы проходятся легко за счет живой силы; на более крутых и длинных подъемах требуется переключение передач, что дает возможность выравнять скорость, но требует увеличения расхода горючего [1]. Хорошая магистральная дорога с пологим профилем тем и отличается от дорог, обслуживающих местное движение, что переключение скоростей и применение акселератора требуется гораздо реже и расход горючего на 1 ткм значительно меньше (см. табл. 14, § 28, стр. 79). Наоборот, на дорогах, обслуживающих местное движение, приходится, во избежание больших расходов на земляные работы, гораздо более приспособлять план и продольный профиль дороги к рельефу местности и поэтому несколько удорожать стоимость пробега автомобилей.

25. Движение автомобиля на спусках. Торможение

Каждый подъем, при обратном движении, является спуском. На спусках автомобиль можно вести одним из трех способов: 1) с работающим мотором, 2) с неработающим или выключенным мотором, 3) при действии тормозов.

В первом случае, т. е. при работающем моторе, совместная работа двигателя и силы тяжести на уклоне сообщают автомобилю разгон. Другими словами, в автомобиле быстро накапливается кинетическая энергия и величина ускорения ста-

---

[1] Вопрос о влиянии подъемов и спусков на расход горючего рассматривается в Сборнике материалов по проектированию дорог.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

новится больше нуля. Режим движения автомобиля определяется при этом уравнением

$$\frac{F - W_в}{Q} = w - i + j_1 .$$

Уклон i в этом случае входит в правую часть со знаком минус. Величина ускорения

$$\frac{d^2s}{dt^2} = gj_1 = g\left(\frac{F - W_в}{Q} - w + i\right) = g(D - w + i)$$

больше нуля и тем больше, чем больше величина спуска. Скорость V будет возрастать до тех пор, пока или кончится протяжение спуска и начнется подъем или пока сопротивление воздуха $W_в$ уравновесит работу мотора. Графически такие условия представлены на рис. 27,*а*.

Рис. 27. Определение скорости на спусках.

V_1 — наибольшая скорость на горизонтальном пути $i = 0$; V_2 — на спуске — i_2 при работающем моторе; V_3 — на спуске — i_2 при неработающем моторе. Кривая MN на верхнем чертеже представляет динамическую характеристику автомобиля на прямой передаче $\frac{F - W_в}{Q}$. Кривые KL на двух нижних чертежах (*б* и *в*) представляют удельное сопротивление воздуха на тонну веса $\frac{W_в}{Q}$. Величина спуска — i_2.

В сухую погоду на прямом участке, при достаточно большом интервале между автомобилями, т. е. на свободном пути, такое возрастание скорости вполне допустимо.

Кроме того, величина ускорения может регулироваться большим или меньшим пуском газа. Регулируя дроссель, легко можно достигнуть движения автомобиля с любой, почти постоянной, скоростью.

НБ УДУЛТ (ДІІТ)

Во втором случае, т. е. при движении с выключенным мотором (рис. 27,*б*) сила тяги $F = 0$;

$$j_2 = \frac{-W_в}{Q} - w + i.$$

При малой величине уклона i ускорение $gj_2 < 0$ (рис. 27*б*), автомобиль будет медленно терять скорость под действием сопротивления воздуха. На более значительных спусках может быть некоторое увеличение скорости, т. е. $gj_2 > 0$.

Практически при движении на спусках мотор и зажигание не выключаются (сцепление не разъединяется) и связь между колесами и валом двигателя не прерывается. В цилиндры подается бедная смесь с небольшим количеством бензина, который и сжигается.

При такой работе:

1) двигатель не загрязняется маслом, засасываемым из картера.

2) мотор работает на холостом ходу: сила тяги равна нулю, колеса автомобиля через передачу вращают вал мотора, движение поршней засасывает и проталкивает обедненную смесь через клапаны, что, вместе с трением поршневых колец и шатунов, дает довольно сильный тормозящий эффект;

3) водитель может в любой момент увеличить скорость машины, не теряя времени на включение и зажигание.

Таким образом, при невыключенном моторе, но при уменьшенной подаче горючего, соответствующей холостой работе, водитель имеет возможность регулировать скорость при движении по уклону вниз.

В третьем случае (рис. 27*в*), при торможении, ускорение делается отрицательным, а движение автомобиля замедленным:

$$j_3 = \frac{-B - W_в}{Q} - w + i,$$

где B — величина тормозной силы.

Тормоза, как правило, применяются только в тех случаях, когда требуется быстрая остановка, например при неожиданном препятствии на пути или когда автомобиль спускается по длинному уклону с крутым поворотом (например на серпантинах, см. § 80).

Сущность торможения заключается в том, что двигатель выключается, а живая сила машины постепенно поглощается работой трения колодок о тормозной барабан (рис. 28)

$$-d\left(\frac{Mv^2}{2}\right) = -d\left(\frac{Qv^2}{2g}\right) = Bds + Q(w - i)\,ds + W_в\,ds.$$

Здесь под Bds подразумевается элементарная работа трения $dT_в$ в тормозах на длине тормозного пути ds; B — есть тор-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

мозная сила, определяемая как работа, поглощаемая тормозом на единицу пути.

Кроме трения колодок о барабан, дополнительной тормозящей силой является сопротивление двигателя вращению. Двигатель выключается только при экстренном торможении.

Легко убедиться, что

$$d\left(\frac{Mv^2}{2}\right) = Qj_3 ds.$$

Поэтому, как и было указано выше

$$j_3 = \frac{-B - W_в}{Q} - w + i,.$$

Величины силы торможения B и сопротивления воздуха $W_в$ — переменные и зависят от скорости (коэфициент трения колодок

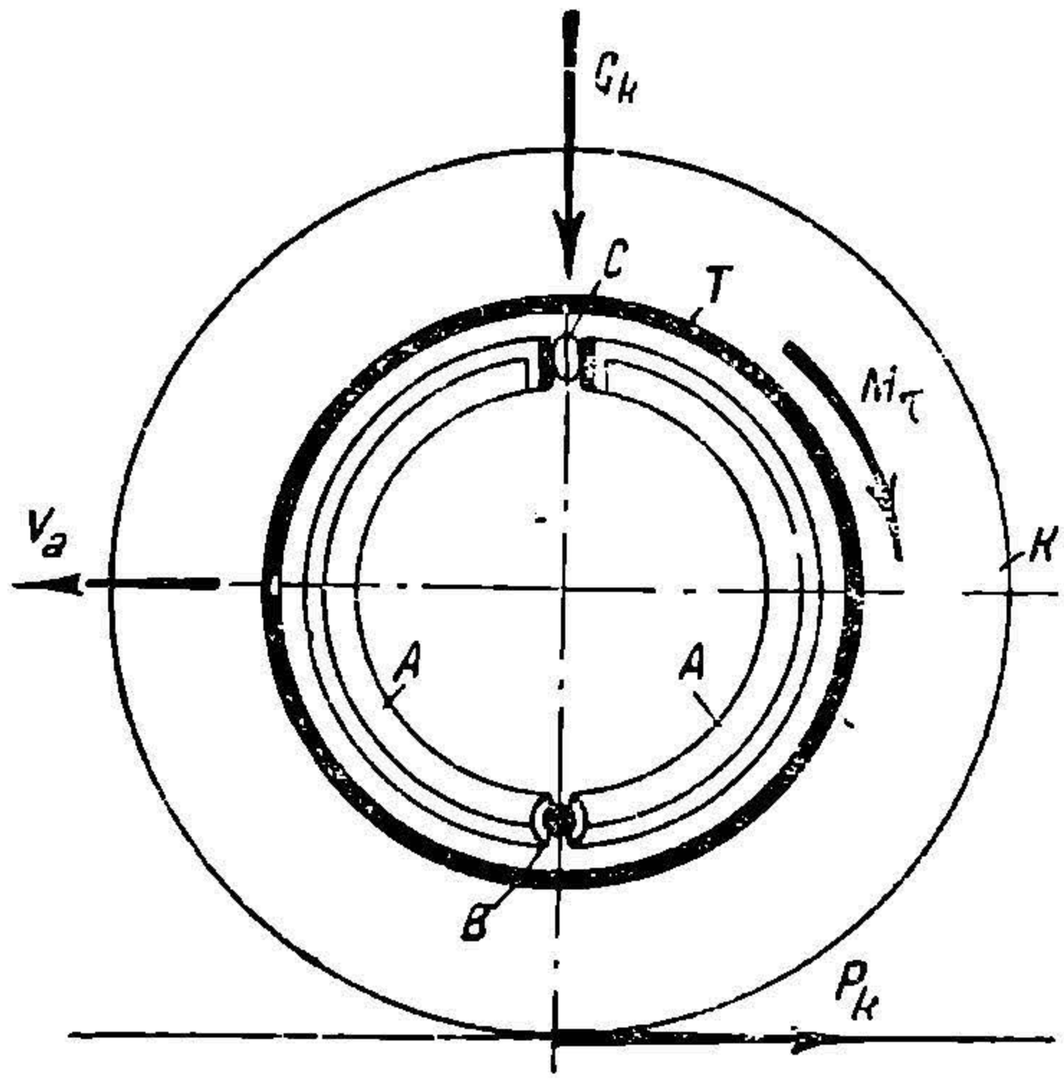


Рис. 28. Схема автомобильного тормоза:

K — колесо; T — тормозной барабан; A — тормозные колодки на шарнирах, раздвигаемые кулаком C, колодки A при торможении нажимают на барабан T.

о барабан). Заменяя их некоторыми средними значениями, мы можем считать, что величина их будет постоянной на пути торможения. Тогда

$$\frac{v^2}{2gs} = j_3,$$

а длина тормозного пути

$$s = \frac{v^2}{2gj_3} = \frac{v^2}{2g\left(\frac{B + W_в}{Q} + w - i\right)},$$

где v — скорость в начале торможения в м/сек.

Эта зависимость представлена на рис. 29. Строго говоря, лучи в правой части графика должны быть не прямолинейны, а криволинейны, так как B и $W_в$ зависят от скорости. Кроме того,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

на графике учтена длина пути $s_0 = vt_0$, пробегаемого за время „психологической реакции". Так называется продолжительность времени t_0 от того момента, когда водитель машины увидит опасность, вызывающую необходимость остановить машину (например занос автомобиля, идущего впереди) до того момента, пока

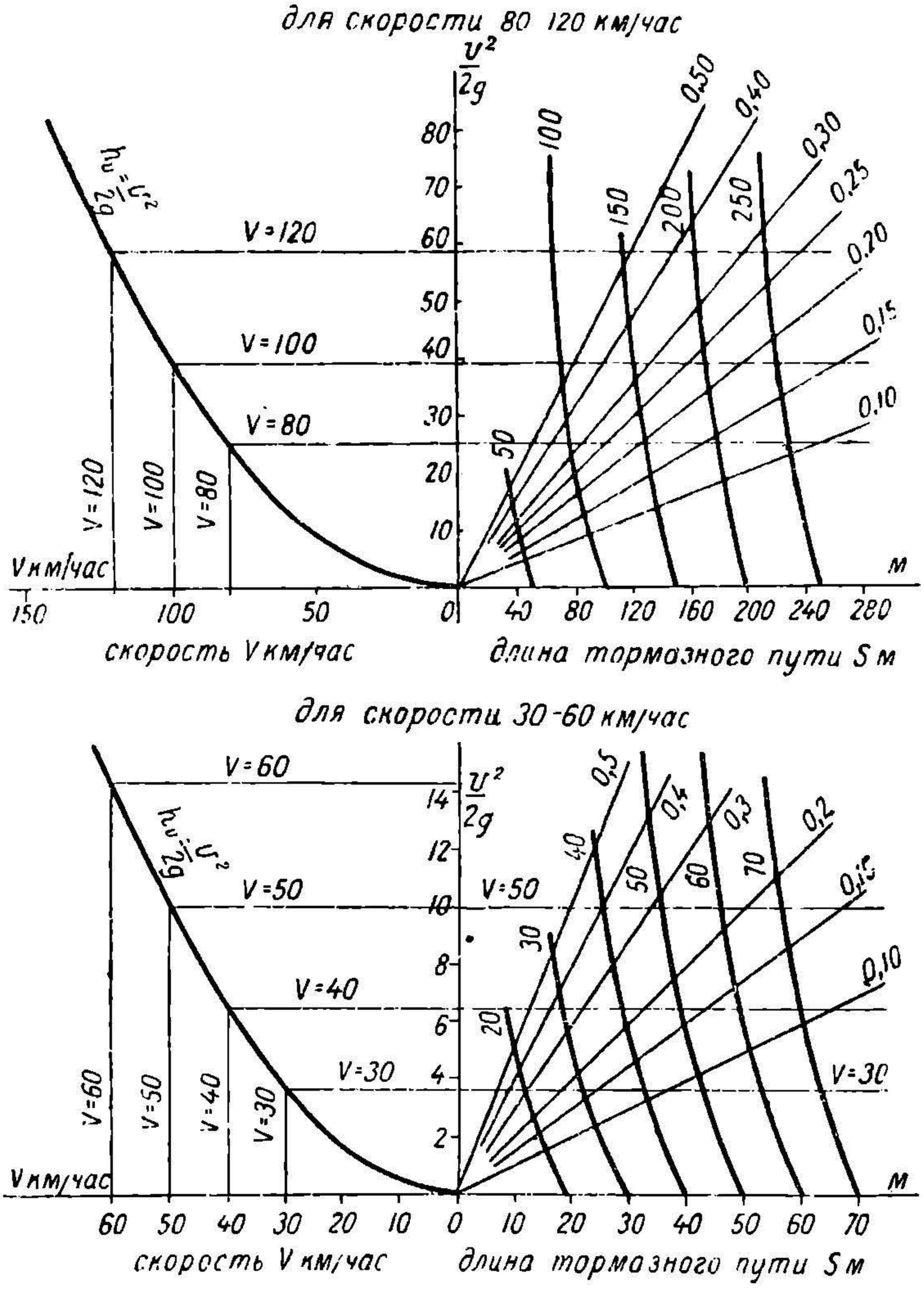


Рис. 29. Зависимость между допускаемой скоростью движения V км/час, длиной тормозного пути s м и уклоном i.

В левой части нанесена парабола $h_v = \frac{v^2}{2g}$. В правой части на лучах $w + b \pm i$.

Удельная сила торможения условно принята постоянной и равной $\frac{B}{Q} = \frac{\varphi P}{Q} =$

$= b = 0{,}25 \cdot 0{,}6 = 0{,}15$.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

тормоза начнут действовать. Это время можно, на основании наблюдений, принять равным 1 сек. или $^3/_4$ сек. Тогда пробегаемый за это время путь зависит от скорости

$$s_0 = \frac{V_0 \text{ км/час}}{3{,}6},$$

например при скорости 60 км/час $s_0 = 17$ м.

Рис. 29 и уравнение торможения

$$j_3 = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2gs} = \frac{B + W_в}{Q} + w - i$$

показывают, что скорость при движении на спусках с тормозами может регулироваться большей или меньшей величиной тормозной силы $\frac{B}{Q}$. Эта тормозная сила ограничивается только условиями сцепления. Поэтому в сухую погоду по свободной прямой дороге можно ехать на спусках с большими скоростями. В гололедицу, а также при напряженном движении, опасность наезда на автомобиль, идущий впереди, становится большей, поэтому необходимо или уменьшать скорость движения или увеличивать интервал между автомобилями. Величина уклона до 0,06—0,08 сама по себе большого значения не имеет.

Торможение, т. е. нажатие тормозных колодок, должно производиться постепенно; при резком нажатии колодок колеса могут оказаться блокированными, т. е. перестать вращаться. В этом случае начнется поступательное скольжение колес (см. рис. 20, стр. 45). Если колеса не вращаются, тормоза не действуют. Трение скольжения колес (1-го рода) хотя и больше трения качения (2-го рода), но значительно меньше трения тормозных колодок о барабан. Поэтому отрицательное ускорение в момент блокирования резко падает. Кроме того, если передние колеса окажутся также заблокированными, то они перестают направлять автомобиль. Водитель в итоге перестает владеть машиной; машину может занести. Чтобы выйти из такого положения, водитель должен прежде всего отпустить тормоза и, после того как колеса начнут вращаться, снова начать постепенно нажимать колодки и плавно тормозить машину.

Отсюда очевидно, что пределом безопасного торможения является вращение колес, для чего необходимо сцепление колес с дорогой. Другими словами

$$B \leq \varphi P,$$

где P — нагрузка на тормозные колеса. Если тормоза действуют (как это обыкновенно делается) на все четыре колеса, то $P = Q$; пренебрегая сопротивлением воздуха, т. е. полагая $W_в = 0$ и подставляя $B = \varphi Q$, получаем длину тормозного пути

$$s = \frac{v^2}{2gj_3} = \frac{v^2}{2g\,(\varphi + w - i)}.$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Если скорость V измеряется в км/час, то

$$s = \frac{v^2}{254\,(\varphi + w - i)}$$

Это выражение для величины тормозного пути имеет большое значение для проектирования дорог, определения видимости, радиусов вертикальных кривых (см. ниже, гл. V и VII).

Построение графика движения и определение времени хода. При проектировании дорог, в частности при сравнении различных вариантов трассы, иногда полезно определить полное время хода на заданном участке. Задача эта, по существу, представляет графическое интегрирование диференциального уравнения движения автомобиля

$$F - W = M\frac{d^2s}{dt^2}.$$

Полный интеграл этого уравнения может быть представлен в виде

$$s = f(t).$$

Если по оси абсцисс откладывать время t, а по оси ординат путь, проходимый автомобилем, то такой чертеж, как известно, называется графиком движения (рис. 30*в*).

В качестве первого интеграла можно строить зависимость скорости от пути (рис. 30,*а*)

$$V = f(s)$$

или скорости от времени (рис. 30,*б*)

$$V = f(t).$$

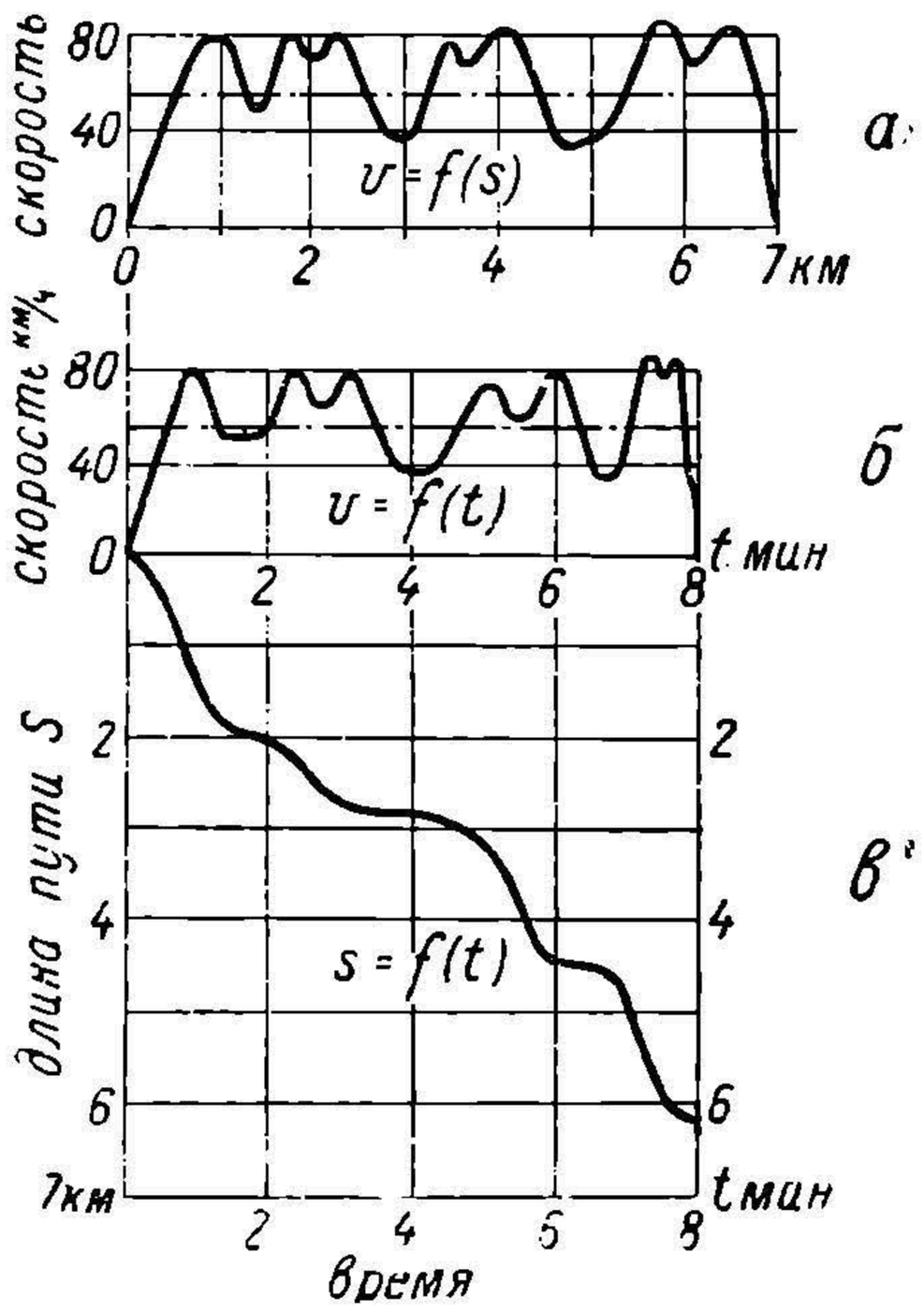


Рис. 30. Графики зависимости: *а* — скорости от пути $V = f(s)$; *б* — скорости от времени $V = f(t)$; *в* — времени от пути (график движения) $t = f(s)$.

Первый прием удобнее, в особенности в тех случаях (для дорог III класса), когда скорость ограничивается в нескольких точках пути. На рис. 30 и 23 (см. стр. 51) показан как раз такой случай, когда скорость ограничена при проходе через населенный пункт и по кривым малого радиуса. Наметив в этих пунктах ограничения скорости, а на остальных приняв скорости, близкие к максимально допустимой по состоянию дороги, остается только построить переходы от высоких скоростей к низким и обратно.

УДУНТ НБ (ДІТ)

Как было указано в § 22, стр. 55 наклон касательной

$$\frac{dV}{ds}=\frac{gj}{V}=\frac{1}{V}\cdot\frac{d^2s}{dt^2}$$

Задаваясь желательными величинами ускорения на переходах, например 0,5 м/сек.², получим для средних скоростей (например $\frac{80+30}{2}=55$ км/час) величину:

$$\frac{dV}{ds}=\frac{1}{V}\cdot\frac{d^2s}{dt^2}=\frac{1}{55}\cdot 0{,}5\quad 13\,000=118 \text{ км/час на км}$$

(учитывая, что ускорение 1 м/сек². = 13 000 км/час²). Уменьшение скорости с 80 до 30 км/час может быть достигнуто при таких условиях на пути длиной $\frac{80-30}{118}=0{,}425$ км или, учитывая переходы самого ускорения, на длине 450—500 м.

На больших затяжных подъемах и на спусках может быть намечено некоторое снижение скорости против максимальной. Таким образом, может быть построен график $V=f(s)$. На этой основе легко построить график $V=f(t)$, для чего можно, разделив линию на участки, определить элементарные отрезки времени хода в минутах

$$\tau_1=\frac{60}{V_1}s_1;\qquad \tau_k=\frac{60}{V_k}s_k.$$

Графическое и аналитическое решение этой задачи не представляет затруднений.

26. Значение уклонов для гужевого транспорта

Гужевой транспорт используется наряду с автомобильным на многих дорогах, обслуживающих местное движение—районных, сельскохозяйственных и др.

В последние годы, в СССР и за границей, получили распространение конные повозки на резиновых пневматических шинах (автокачки). Подъемная сила таких повозок—одноконных 2—3 т, пароконных 5 — 6 т, т. е. пароконная повозка везет иногда столько же, сколько грузовой автомобиль. Во Франции появились металлические повозки легкого веса и большой подъемной силы. Так например[1], четыре лошади могут тянуть повозку с нагрузкой 10 т, при собственном весе 2 т, а всего 12 т. Такая повозка везет, следовательно, столько же, сколько два пятитонных автомобиля при нагрузке на колесо, не превышающей обычной для автомобиля.

Появились повозки на гусеничном ходу, а также повозки с приставной (опускаемой по мере надобности) гусеницей. Повозка с сельскохозяйственными грузами идет по полю на гусе-

[1] См. „Genie Civil" от 23 ноября 1935 г., стр. 494.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

нице, а по шоссе на пневматиках. Применение сильных лошадей и технически усовершенствованных повозок делает гужевой транспорт, при известных условиях, экономически рациональным для перевозок сельскохозяйственных, а иногда строительных и промышленных грузов. Поэтому при проектировании некоторых дорог, обслуживающих местное движение, следует учитывать требования не только автомобильного, но и гужевого транспорта.

Работа лошади. Если полезную механическую работу T, которую производит лошадь, перемещая повозку, разделить на пройденный путь, то получим силу

$$\frac{T}{L} = F,$$

называемую силой тяги на крюке. Мгновенная величина силы тяги может быть непосредственно измерена динамометром, если его поместить между упряжью и повозкой. При установившемся движении с постоянной скоростью вся работа, производимая лошадью, идет только на перемещение повозки, и, в таком случае, сила тяги лошади равна сопротивлению движения повозки

$$F = W.$$

Это равенство не есть тождество. При начале движения часть работы затрачивается на сообщение повозке живой силы и тогда

$$F > W.$$

Величина силы тяги зависит от породы и сложения лошади и от ее питания. Наблюдения над работой лошадей дали возможность установить примерные величины силы тяги, указанные в табл. 11.

Таблица 11

Величина силы тяги лошади

Категория лошади	Вес лошади P кг	Сила тяги F на крюке	
		нормальная, длительная в кг	наибольшая, короткое время в кг
Слабые	250 – 400	50—55	100—110
Средние	400—550	65—75	130—150
Сильные	550—700	80—90	160—180

Сила тяги F считается пропорциональной весу лошади $F = kP$. При нормальных условиях и длительной работе $k = {}^1/_5 — {}^1/_7$. На короткое время (минут 10) лошадь может напрячь силы и развить приблизительно двойное усилие, т. е. $F_{max} = 2kP$ при несколько уменьшенной скорости.

При движении на подъем часть полезной работы лошади

НБ УДУТ (ДІТ)

затрачивается на перемещение ее собственного веса. Сила тяги на крюке, которой можно располагать для перемещения повозки, будет поэтому при длительной работе

$$F = (k - i) P,$$

а в течение короткого времени

$$F_{max} = 2 (k - i) P.$$

Величина нагрузки на повозку. Полагая для установившегося движения с постоянной скоростью

$$F = W$$

и подставляя

$$F_{max} = 2 (k - i_{max}) P; \quad W_{max} = Q (w + i_{max}),$$

получим

$$\frac{Q}{P} = \frac{2 k - i_{max}}{w + i_{max}},$$

где i_{max} — величина наибольшего подъема. Для конной тяги эта величина наибольшего подъема определяет наибольшую возможную нагрузку на повозку. Величина Q может быть разделена на два слагаемых $Q = \Gamma + U$, где Γ — вес полезной нагрузки (нетто); U — собственный вес (тара) повозки.

В таком случае

$$\Gamma = \frac{P (2 k - i_{max})}{w + i_{max}} - U.$$

Отношение тары повозки к весу лошади может быть принято $\frac{U}{P} = 0{,}7 - 1{,}2$ в зависимости от величины перевозимых грузов Γ и от прочности повозки. Полагая далее $k = 0{,}175 = \frac{1}{5{,}5}$, получим табл. 12.

Таблица 12

Величина нагрузки на лошадь, в зависимости от продольного подъема и устройства дороги

Величина подъема i	Отношение $\frac{Q}{P}$ веса повозки с грузом к весу лошади			Полезная нагрузка Γ кг при весе лошади $P = 400$ кг (для железных шин)		
	шоссе $w = 0{,}03$	мостовая $w = 0{,}05$	грунтовая дорога $w = 0{,}07$	шоссе $w = 0{,}03$ $U = 400$ кг	мостовая $w = 0{,}05$, $U = 350$ кг	грунтовая дорога $w = 0{,}07$, $U = 300$ кг
	повозка на железных шинах					
0,03	5,3	4	3,2	1700	1250	950
0,04	4,4	3,4	2,8	1350	1050	750
0,05	3,7	3	2,5	1100	850	650
0,06	3,2	2,65	2,2	900	700	550
0,07	2,8	2,35	2,0	700	600	450
0,08	2,5	2,05	1,8	600	450	350

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Из рассмотрения табл. 12 можно сделать следующие выводы:

1. Лошадь тянет груженую, на железных шинах, повозку, вес которой больше ее собственного веса в среднем в 3 раза, по хорошим дорогам в 4 раза, по плохим дорогам в 2 раза, по очень плохим дорогам с крутыми подъемами только порожнюю, равную весу лошади.

2. На хороших дорогах вес груза в 2 — 3 раза больше веса повозки, на плохих—вес груза немного больше веса самой повозки.

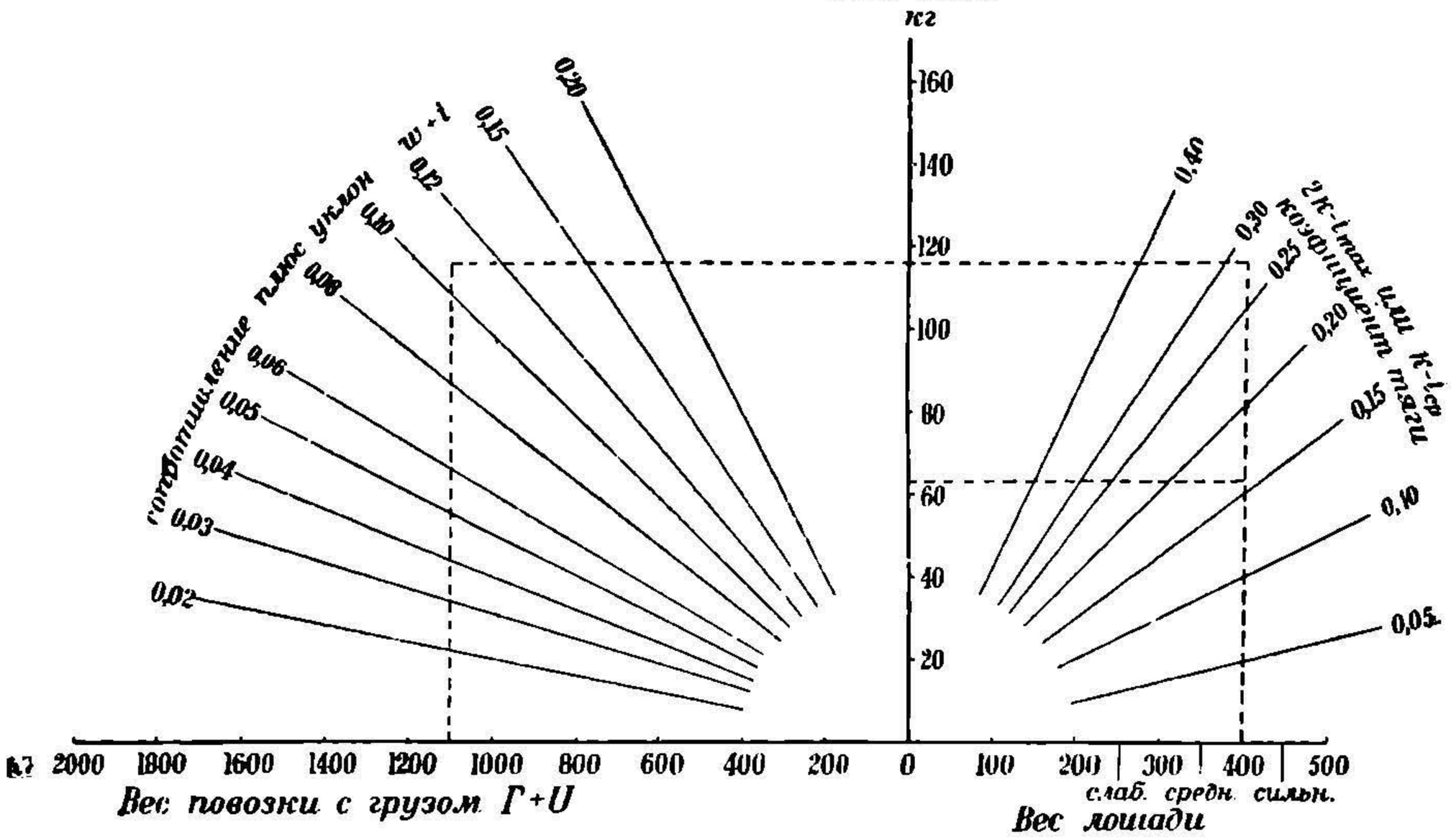


Рис. 31. График зависимости веса повозки с грузом от силы тяги лошади и подъема.

В правой части, по оси абсцисс, отложен вес лошади P; по оси ординат сила тяги $F = P\varphi$, причем для длительной работы $\varphi = k - i$, а для кратковременной $\varphi' = 2k - i$. Множители φ надписаны на наклонных лучах справа. Задаваясь весом лошади $P = 400$ кг и значением $k = 0{,}175$, получим для длительной работы на подъеме $i = 0{,}02$; $\varphi = k - i = 0{,}155$ и соответствующую силу тяги на оси ординат $F = 60$ кг, а для кратковременной работы на подъеме 6%, $\varphi' = 2k - i = 0{,}29$ и соответствующую силу тяги $F_{max} = 115$ кг. В левой части по оси абсцисс отложены веса повозки с грузом $Q = \Gamma + U$, а на лучах написаны суммы $w + i$. В нашем случае, положим при подъеме 0,06, на мощеной дороге $w + i = 0{,}05 + 0{,}06 = 0{,}11$, вес $\Gamma + U = 1050$ кг, если повозка U весит 350 кг, то полезная нагрузка $\Gamma = 1050 - 350 = 700$ кг.

3. С увеличением подъема нагрузка резко падает.

Зависимость нагрузки от различных обстоятельств может быть представлена в виде графика (рис. 31).

Если дорога имеет крутой подъем, хотя бы в каком-либо одном месте, то этот участок, понижая нагрузку всех подвод, будет повышать стоимость гужевых перевозок по всей дороге. Поэтому надо прежде всего уменьшать величину подъема на

НБ УДУНТ (ДІТ)

участках дороги, имеющих наибольшую крутизну и ограничивающих величину нагрузки на лошадь.

В общем, для гужевой тяги, вопрос о выборе наивыгоднейшего для каждой дороги подъема представляет экономическую задачу определения наивыгоднейшего соотношения между капиталовложениями на земляные работы и искусственные сооружения и величиной ежегодных издержек на перевозки и размером конного парка, необходимого для выполнения задания.

27. Значение уклонов для тягачей и прицепов

С развитием промышленности и индустриализацией сельского хозяйства появляется потребность в многотоннажных перевозках на автодорожном транспорте, в массовых перевозках зерна, картофеля, свеклы и в перевозках тяжелых машин, паровых котлов и проч. Дешевизна железнодорожных перевозок отчасти является следствием многотоннажности поездов — один локомотив

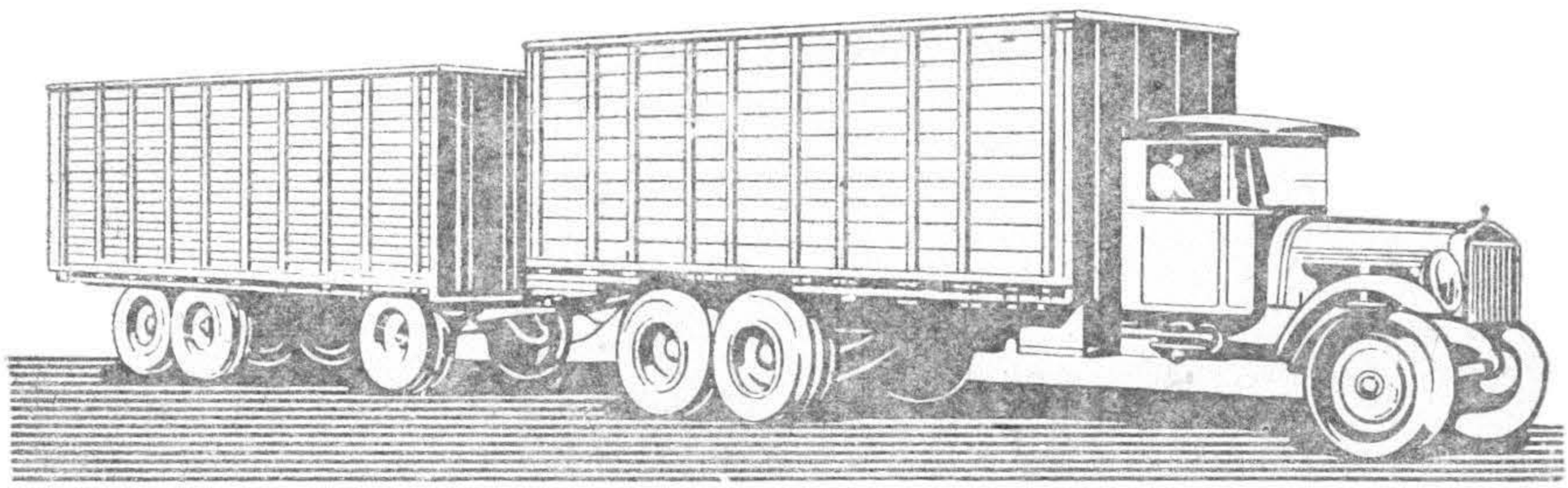


Рис. 32. Трехосный автомобиль с трехосным прицепом.

везет несколько десятков вагонов с нагрузкой 2—5 тыс. т. Современный двухосный автомобиль поднимает 5—8 т. Переход к прицепам и к грузовым поездам из нескольких прицепов в некоторых случаях может удешевить перевозки массовых грузов. Применение дорожных локомотивов, или как их называют, т я г а ч е й позволяет увеличить суточный пробег, т. е. использование двигателя. Во время простоя прицепов под нагрузкой и выгрузкой, тягач может работать и перевозить другие составы из груженых или порожних прицепов.

Грузопоезда могут быть составлены из:

1) автомобилей двухосных и трехосных с одноосной, двухосной и трехосной прицепками (рис. 32); одноосные прицепы применяются в частности для перевозки леса;

2) тягачей с прицепами и полуприцепами (рис. 33 и 34). Тягачи строятся на базе грузовых автомобилей с усилением рамы (ГАЗ-АА, ЗИС-6, Я-5) или на базе тракторов с применением авто-

НБ УДУИТ (ДІІТ)

мобильных колес — пневматиков и изменением передаточных чисел шестерен;

3) тракторов с прицепными повозками или санями.

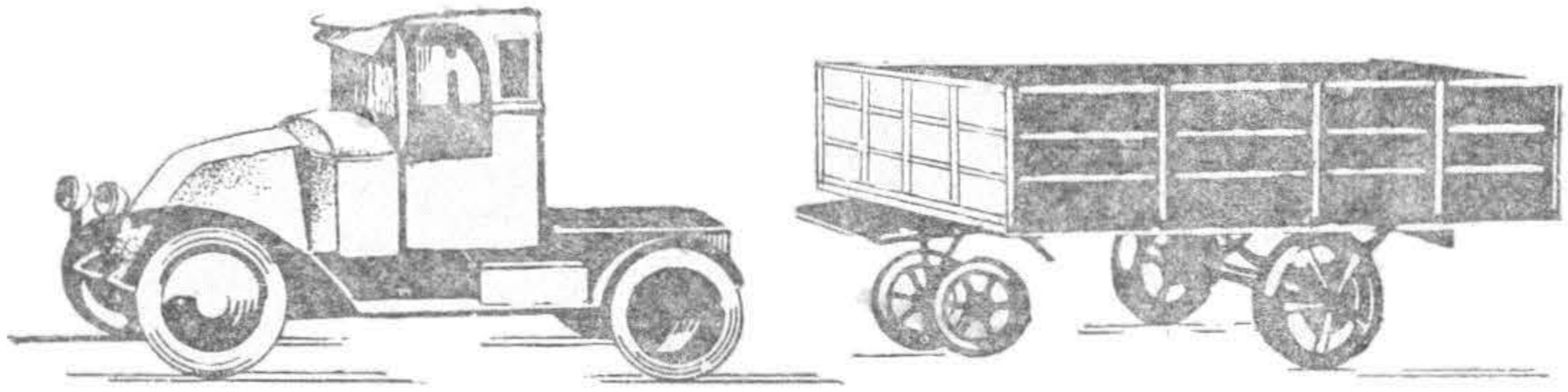


Рис. 33. Тягач с полуприцепом.
Полуприцеп при движении опирается передним концом на тягач. Передние колеса полуприцепа опускаются только на время стоянки без тягача.

Наряду с выгодами от увеличения полезного груза, применение грузопоездов ограничивается: а) тяговыми условиями — мощностью двигателя и сцеплением движущих колес с дорогой; б) проходимостью поездов по закруглениям; в) условиями торможения.

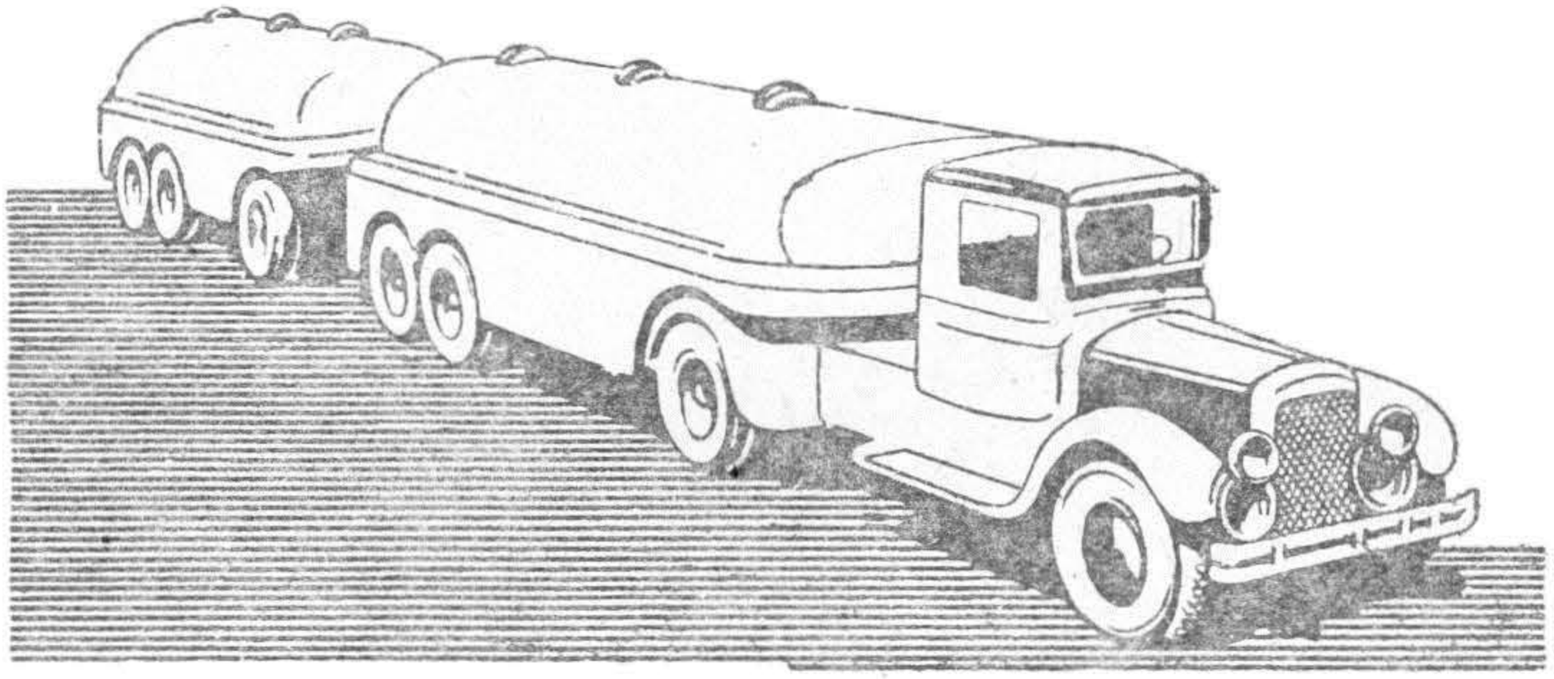


Рис. 34. Тягач с двумя прицепными цистернами для перевозки бензина.

По тяговым условиям число и вес прицепов к тягачу или трактору определяется уравнениями:

$$F_{max} = (P + nQ)(w + i);$$

$$F_{max} < \varphi P',$$

где F — сила тяги тягача или трактора в кг определяется из условия $F = \frac{270\,N\eta}{V}$, причем N — мощность на валу в л. с. при нормальном числе оборотов и соответствующей скорости V км/час

НБ УДУНТ (ДІІТ)

при коэфициенте полезного действия передачи η; P — вес тягача или трактора; nQ — вес прицепов (n — число прицепов, Q — вес прицепа с грузом); P' — сцепной вес тягача или трактора т. е. нагрузка на движущую ось; φ — коэфициент сцепления (табл. 13).

Таблица 13

Коэфициент сцепления для тягачей и тракторов

Характер поверхности, по которой движется повозка	Тягачи на резиновых (пневматических) шинах	Колесные тракторы на железных колесах с прицепами	Гусеничные тракторы
Сыпучий песок	—	0,1—0,5	0,2—0,5
Свежая пашня . .	—	0,2—0,8	0,25
Сухой луг или дерн .	0,15—0,6	0,7—1,0	1,0
Грунтовые дороги			
Плохая, глинистая, влажная	0,07—0,2	0,2—0,7	0,4—0,8
Плотная, сухая, супесчаная	0,16—0,25	0.5—0,9	0,8—1,0
Каменные дороги			
Булыжная мостовая	0,03—0,6	0,3—0,7	—
Шоссе	0,5—0,7	0,2—0,5	—

Пример. Нормальная мощность трактора на валу $N = 60$ л. с. при скорости на второй передаче $V = 4{,}2$ км/час; вес $P = 5$ т, дорога грунтовая, подъем 0,04.

Сила тяги по мощности

$$F = \frac{270\,N\eta}{V} = \frac{270 \cdot 60 \cdot 0{,}8}{4{,}2} \approx 3100 \text{ кг.}$$

Для возможности осуществления такой силы тяги необходим коэфициент сцепления ведущих колес с дорогой

$$\varphi = \frac{3100}{5000} = 0{,}62,$$

что осуществимо при сухой грунтовой дороге, хотя бы посредственного качества.

Наибольший возможный вес прицепов при сопротивлении движению для трактора $W_1 = 0{,}10$ и для повозок $W_2 = 0{,}06$ определяется из уравнения

$$F_{max} = P(w_1 + i) + nQ(w_2 + i),$$

Сила тяги на крюке на подъеме $i = 0{,}02$

$$F_{max} - P(w_1 + i) = 3100 - 5000(0{,}10 + 0{,}04) = 2400 \text{ кг.}$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Вес прицепов

$$nQ = \frac{2400}{0{,}06 + 0{,}04} = 24 \text{ т.}$$

Если вес прицепа с грузом равен 8 т, то трактор может тянуть 3 прицепа.

Таким образом, в то время, как подъемная способность двухосного грузовика ограничена 5—7 т, грузоподъемность тракторного поезда может составить нормально 15 — 20 т. Есть грузопоезда, поднимающие до 100 т (на 14 колесах, из которых 10 спаренных).

Развитие применения грузопоездов встречает трудности:

1. В необходимой мощности двигателя. В приведенном выше расчете скорость была принята $V = 4{,}2$ км/час. Если для значительных нагрузок (например вес поезда 150 т) применять большую скорость, например $V = 30$ км/час, то получатся весьма значительные мощности

$$N = \frac{FV}{270\,\eta} = \frac{(P + nQ)(w + i)\,V}{270\,\eta} = \frac{150 \cdot 1000\,(0{,}03 + 0{,}02) \cdot 30}{270 \cdot 0{,}8} = 1050 \text{ л. с.}$$

Для этого потребовался бы не тягач, а дорожный локомотив с мощным дизельным двигателем или электровоз.

2. Во вписывании поездов на закруглениях в полосу определенной ширины на проезжей части; для этого оси грузопоезда должны быть соединены между собой системой тяг; в последнее время за границей были сделаны опыты применения направляющих бетонных рельсов.

3. В торможении прицепов при движении по уклону вниз. Сила торможения должна быть достаточна для противодействия спуску и для погашения живой силы. Из анализа на стр. 67—69 следует

$$\frac{B}{P + nQ} > \frac{v^2}{2gs} + i - w.$$

При $V = 20$ км/час, $v = 5{,}5$ м/сек.; $w = 0{,}03$; $i = 0{,}05$; $s = 20$ м

$$\frac{B}{P + nQ} > 0{,}075 + 0{,}05 - 0{,}03;$$

или

$$\frac{B}{P + nQ} > 0{,}1.$$

Такую силу торможения можно получить только при автоматических тормозах, приложенных к осям прицепных повозок.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Разрешение проблемы многотоннажных поездов на дорогах представляет довольно значительные трудности. Однако они могут быть разрешены научно-исследовательской работой и развитием техники авто- и тракторостроения. Поэтому дорожное строительство не должно забывать об экономической целесообразности использования таких поездов, а для этого необходимо предвидеть возможность смягчения подъемов до 0,02—0,03.

28. Общие выводы о значении подъемов со строительной и транспортной точек зрения

Сопоставляя все изложенное в § 23—27 о подъемах, можно вывести такое заключение:

1. С увеличением подъема уменьшается стоимость постройки дороги. В пересеченной местности, с увеличением подъемов до 6—7% уменьшается количество земляных работ, чем облегчается проложение прямолинейной трассы. В горной местности с увеличением подъема до 7—8% сокращается длина развития линии, уменьшается число зигзагов.

В равнинной местности снижение подъема даже до 3—4% не дает заметного удорожания постройки дороги. Вообще говоря, стоимость земляных работ составляет: 20—40% стоимости постройки грунтовых дорог; 10—20% стоимости бетонных, каменных и черных дорог.

Поэтому уменьшение количества земляных работ, например на 30%, дает общее снижение стоимости дороги всего на 3—10%.

2. Для автомобильного транспорта увеличение подъема до 0,06—0,08 не представляет особых неудобств, за исключением: а) дорог, на которых должно быть гарантировано движение с большими скоростями 120—150 км/час. По условиям торможения в этом случае лучше не допускать подъемов более 0,03—0,04; б) для линий, где по условиям развития массовых перевозок целесообразно применение прицепов к автомобилям или к тягачам, необходимо снижать подъем до 0,02—0,03.

3. Для гужевого транспорта с увеличением подъема возрастает стоимость перевозок. Поэтому там, где гужевое движение интенсивно, следует уменьшать подъемы. На дорогах, покрытых булыжной мостовой, до 0,05—0,06, на усовершенствованных дорогах до 0,03—0,05.

4. Если движение в двух направлениях не одинаково, то для грузового направления следует допускать меньшие подъемы.

5. Сочетание строительных и транспортных условий определяет наиболее целесообразную величину уклона в каждом случае.

Практически при выборе подъема следует руководствоваться нормами классификации дорог, приведенными в табл. 5 и 6, в § 16 на стр. 31—32.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

6. Частные виды уравнения движения для разных видов тяги могут быть обобщены:

$$F = (P + nQ)(w + i + j) + W_в,$$

причем можно принять:

для конной тяги $n = 1$; $j = 0$; $Pw = 0$; $W_в = 0$

$$F = Q(w + i) + Pi,$$

для автомобиля без прицепов $n = 0$

$$F = P(w + i + j) + W_в;$$

для трактора с прицепами $j = 0$; $W_в = 0$

$$F = (P + nQ)(w + i).$$

Величина наибольшего подъема i_{max} является решающей для величины груза Q в первом и третьем случаях, т. е. для конной и тракторной тяги. Во втором случае, для автомобильной тяги без прицепов, величина Q не входит в уравнение и, кроме того, величина Pi невелика сравнительно с $Pj + W_в$, силой инерции при разгоне автомобиля и сопротивлением воздуха.

7. Качество трассы—продольный профиль, план (о котором подробно будет изложено в гл. IV) и, в особенности, отсутствие пересечений имеют громадное значение для условий тяговой работы автомобиля.

Так, в одном случае, дорога старого типа (с условиями примерно III класса) длиной 162 км была заменена магистралью I класса, которая между теми же начальным и конечным пунктами имела длину всего 146 км. При сопоставлении результатов опытных пробегов одного и того же автомобиля получились данные [1], указанные в табл. 14.

Таблица 14

Элементы измерений	Измеритель	Дорога	
		старая III класса	новая I класса
Длина дороги между конечными пунктами	км	162	146
Средняя скорость	км/час	70	119
Время хода	час	2 ч. 20 м.	1 ч. 15 м.
Расход бензина	л	27	14
Акселератор применялся	раз	597	5
Тормоза применялись		491	3
Сцепление выключалось		105	4
Рулевой штурвал поворачивался		5700	10

[1] „Revue Generale des Routes". Fevr 1938 г., стр. 35.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таким образом, хорошая трасса дала возможность: 1) сократить длину дороги на 16 км или на 10%; 2) увеличить скорость на 70% и сократить время хода на час; 3) вдвое сократить расход горючего и 4) значительно упростить и облегчить работу водителя по управлению автомобилем. Эта таблица прекрасно иллюстрирует смысл строительства автомобильных дорог нового типа и отличие их от старых гужевых дорог.

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

ГЛАВА III

ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛЬ ДОРОГИ

29. Ширина проезжей части

Поверхность дорожного полотна состоит из: проезжей части *в* (рис. 35) и двух боковых полос *а*—обочин.

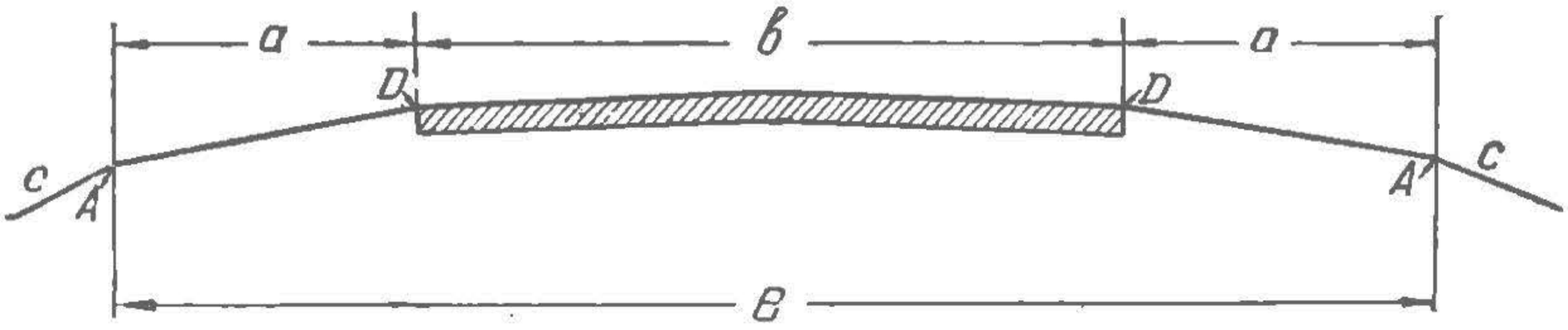


Рис. 35. Элементы земляного полотна дороги.

Ширина проезжей части *в* зависит от числа полос движения. Ширина обочины *а* обычно 2 м; в гористой местности 1 м. Общая ширина земляного полотна *B*; *C* — откосы, ограничивающие земляное полотно. Линии *A'*. отделяющие обочины от откосов, называются бровками земляного полотна. Линии *D*, отделяющие проезжую часть от обочин, называются кромками проезжей части.

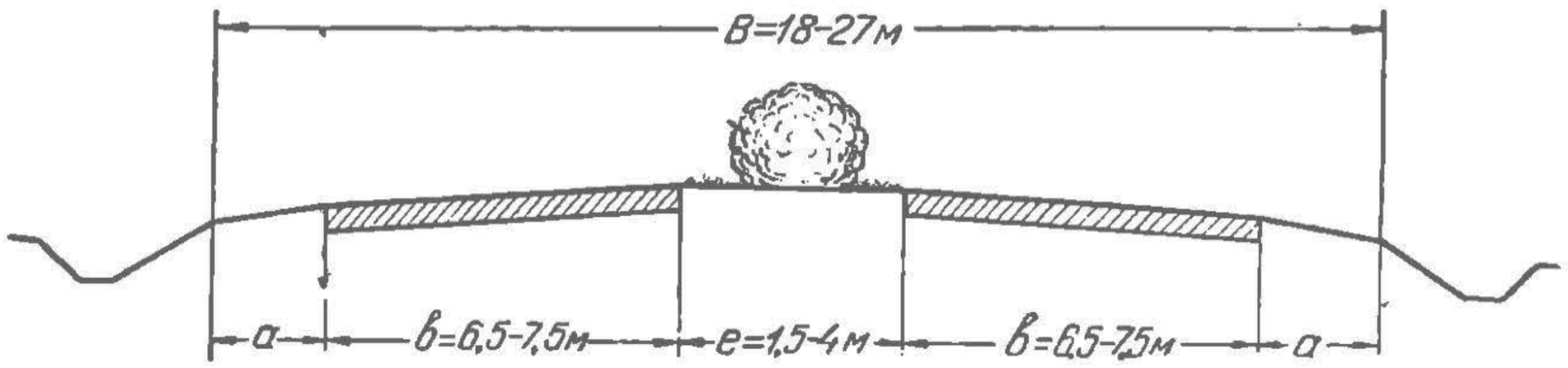


Рис. 36. Дорога с четырьмя полосами движения и разделительной полосой, покрытой газоном.

а — обочины; *в* — проезжие части, *е* — разделительная полоса с зелеными насаждениями.

Если проезжая часть не укреплена камнем или гравием, то дорога носит название грунтовой; в этом случае проезжая часть не отделяется от обочин, составляя с ними одно целое. При значительном движении требуется укрепление проезжей части каменными материалами, т. е. устройство покрытий.

НБ УДУТ (ДІІТ)

Движение автомобилей по дороге происходит обыкновенно по двум полосам. При сильном движении дорога устраивается в четыре (рис. 36 и 37) или шесть полос. Иногда на пригородных участках применяются трехполосные дороги, причем третья полоса используется различно для преобладающего в разные часы дня направления. Ширина полосы движения определяется

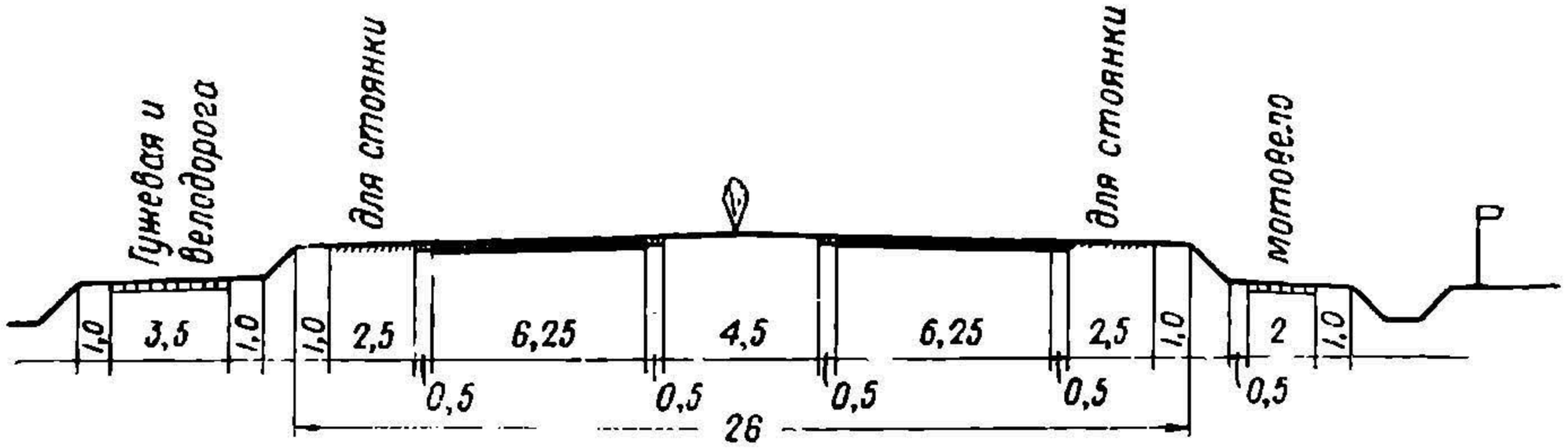


Рис. 37. Профиль автомагистрали в Голландии.

габаритом автомобилей и запасом, необходимым для безопасности скрещения с встречными автомобилями. Ширина двух полос движения определяется из условия:

$$b = 2y + c + d + x$$

(рис. 38), где y — расстояние от крайнего колеса автомобиля до кромки проезжей части, обычно принимаемое 0,5 м; c — ширина колесного хода, равная для грузового автомобиля 1,7 — 2,0 м,

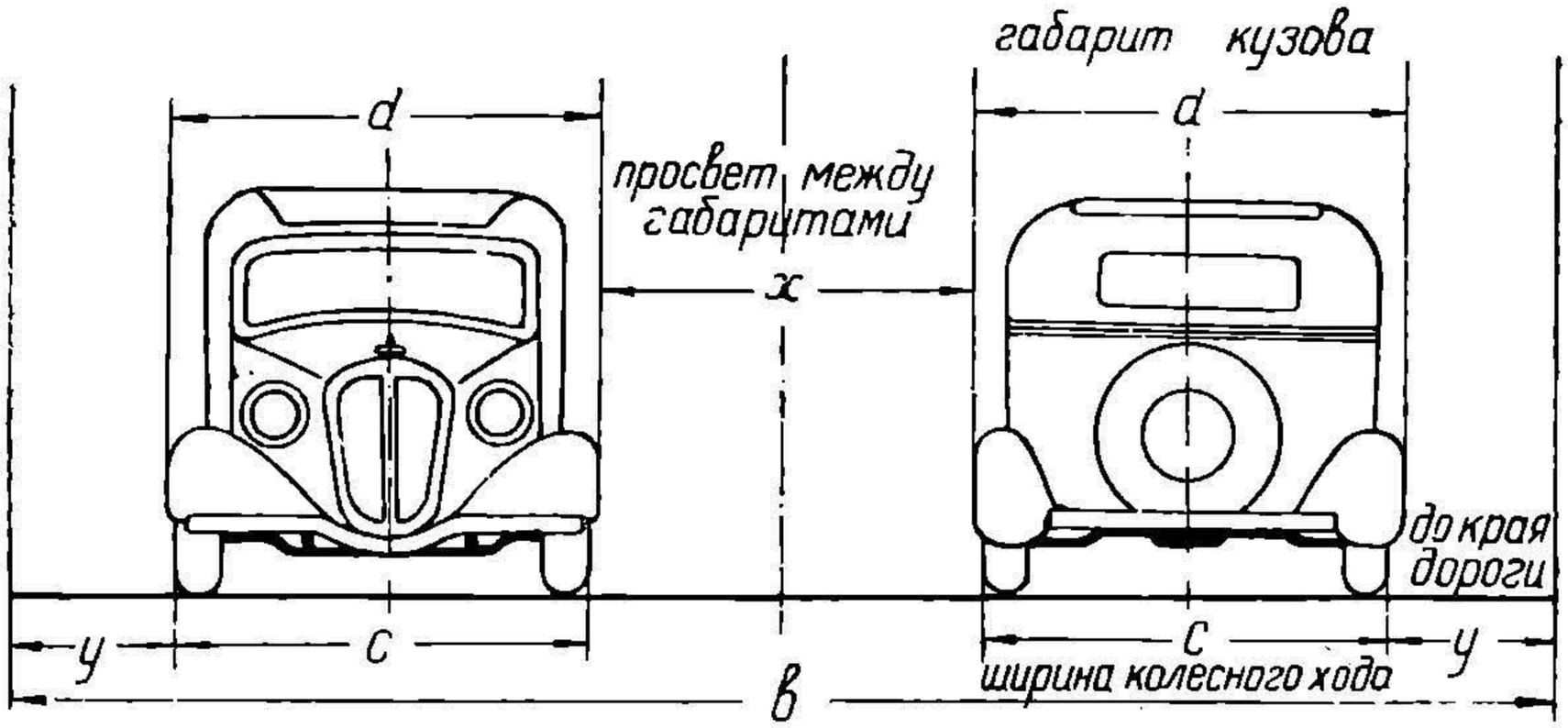


Рис. 38. Схема расположения встречных автомобилей.

для легкового 1,5 м; d — ширина кузова: грузового автомобиля 2,4 м; легкового автомобиля 1,75—2 м; x — зазор, необходимый для безопасности движения.

Этот зазор $x = \gamma + 2\eta$ включает:

1) полосу наката η, т. е. пределы возможного отклонения траекторий движения колес автомобиля от нормального положения;

НБ УДУНТ (ДІІТ)

2) просвет между кузовами γ встречных автомобилей. При возрастании скорости автомобили вызывают вихревые движения в прилегающей воздушной среде, поэтому чем больше скорость, тем больше должен быть просвет.

Величина зазора принимается: при скорости движения 40 км/час — 1,0 м, при скорости 80 км/час — 1,7 м, при скорости 120 км/час — 2,7 м (ориентировочно).

Таким образом, ширина одной полосы движения $\frac{b}{2}$ получается (с округлением): для грузовых автомобилей, движущихся со скоростью до 40 км/час и легковых автомобилей со скоростью до 80 км/час 3,0 м; для грузовых автомобилей, движущихся со скоростью от 40 до 80 км/час и легковых автомобилей со скоростью от 80 до 120 км/час 3,5—3,7 м.

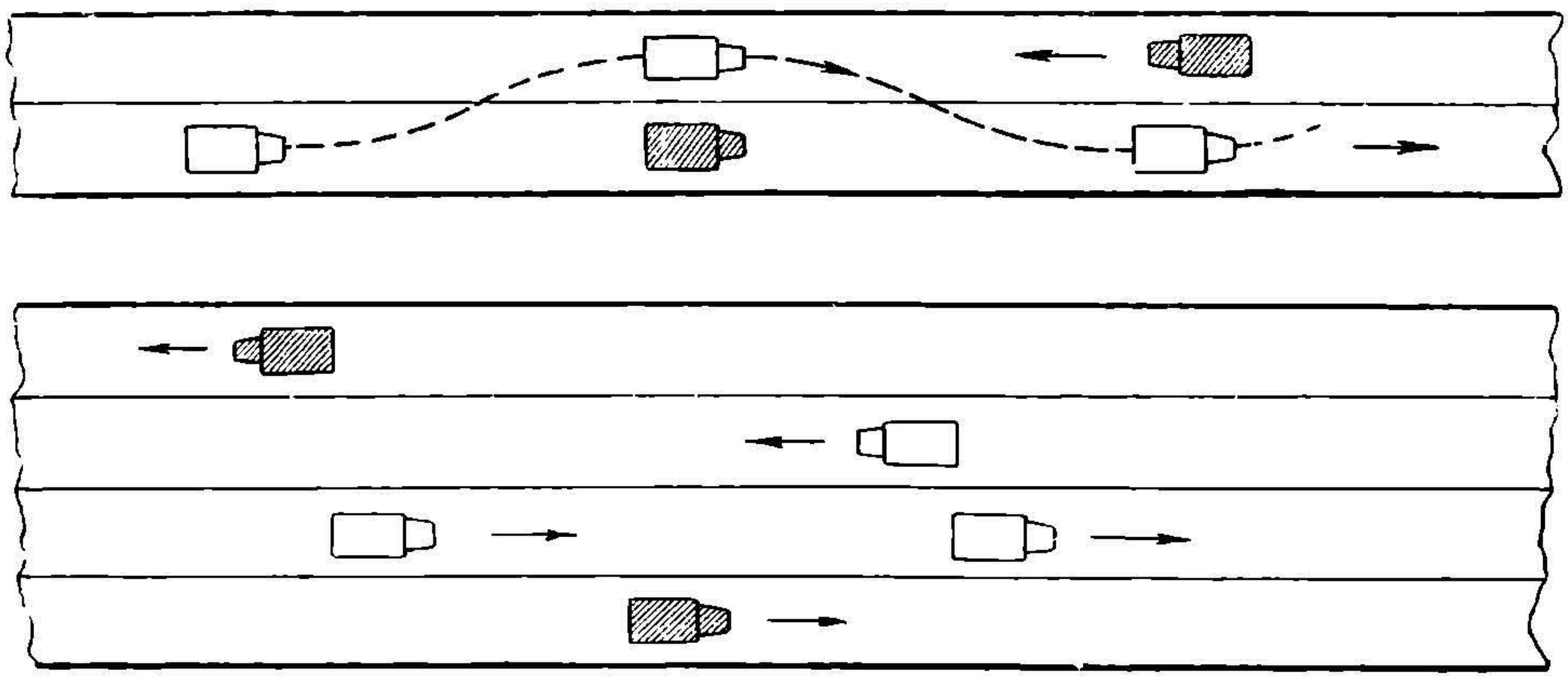


Рис. 39. Скрещение и обгон на двухполосной и четырехполосной дороге. Машины, идущие с меньшей скоростью, заштрихованы.

Скорость движения, допускаемая на дороге, зависит от качества трассы дороги и типа покрытия проезжей части. Поэтому на дорогах III класса, проектируемых для движения со скоростями 60 км/час и менее, ширину проезжей части для двух полос движения устраивают в 6 м, а на дорогах II и I классов 7 и 14 м.

Переход к четырехполосной дороге с шириной проезжей части 14 или 15 м делается в тех случаях, когда задано движение в две или три колонны в одном направлении или колонное движение с обгоном легковых машин. Четырехполосная дорога может оправдать себя также удобством и безопасностью движения быстроходных легковых машин, при наличии грузовых машин, идущих с меньшей скоростью. На двухполосной дороге при обгоне (рис. 39) машина должна обойти медленно идущую слева и потом опять пойти по правой полосе для безопасного скрещения. Это движение по извилистой траектории затрудняет

НТБ УДУИТ (ДИТ)

водителя и опасно при известных условиях (резких поворотах и скользкой дороге). Движение по четырехполосной дороге, наоборот, допускает безопасное развитие больших скоростей и в то же время требует меньшего расхода горючего.

Таким образом, для автомагистралей, с интенсивным движением автомобилей большой скорости, двухполосные дороги шириной в 6 или даже 7 м оказываются недостаточными и требуется переход к трем и четырем полосам. В то же время имеется значительное протяжение дорог, на которых ширина 6 м может считаться избыточной при слабом движении (например при движении менее 50 машин в сутки). К числу таких дорог относятся малонапряженные участки дорог III класса, многие дороги районного значения, пионерные дороги в мало освоенных местностях и т. д. С целью уменьшения первоначальных затрат на строительство таких дорог делают более узкую проезжую часть, рассчитывая нормально обеспечить движение в одну полосу. При разъезде встречных автомобилей в этом случае допускают уменьшение скорости и съезд одним колесом на обочину.

На таких дорогах ширина проезжей части, покрытой каменной одеждой, может быть уменьшена до 3,5 м. При этом ширина земляного полотна делается сразу такой, чтобы можно было расширить проезжую часть до 6 м, когда это потребуется по размерам движения.

30. Поперечные уклоны проезжей части

Поверхность проезжей части делают с поперечными уклонами от середины в сторону обочин, чтобы вода не застаивалась на дороге. Условия быстрого стока воды с поверхности дороги требуют увеличения поперечного уклона. Чем более шероховата поверхность дороги, тем больше сопротивление сбеганию воды. Однако при крутом поперечном скате движение автомобилей делается не безопасным, так как возникает возможность поперечного скольжения автомобиля. Чем более ровной и скользкой может быть поверхность дороги, тем опаснее крутой поперечный уклон. Кроме того, высоко груженые конные повозки на крутом поперечном уклоне теряют устойчивость и езда поэтому сосредоточивается на средней полосе дороги, а у автомобилей перегружаются колеса, ближайшие к кромке. Поэтому на современных дорогах поперечный уклон делается возможно меньшим и назначается в зависимости от ровности поверхности проезжей части.

Очертание поверхности проезжей части в поперечном профиле делается выпуклым по дуге параболы (рис. 40, *а*) или по двум наклонным прямым, сопряженным по середине дугой круга (рис. 40, *б*).

Радиус сопрягающей кривой может быть определен из

НБ УДУИТ (ДИТ)

условия, чтобы длина кривой равнялась 2 м, что равносильно $R = \frac{100}{i}$; при поперечном уклоне $i = 2\%$, $R = 50$ м.

При меньшем радиусе и длине кривой (рис. 41, *а*) повороты на дороге и переходы автомобилей с одной стороны

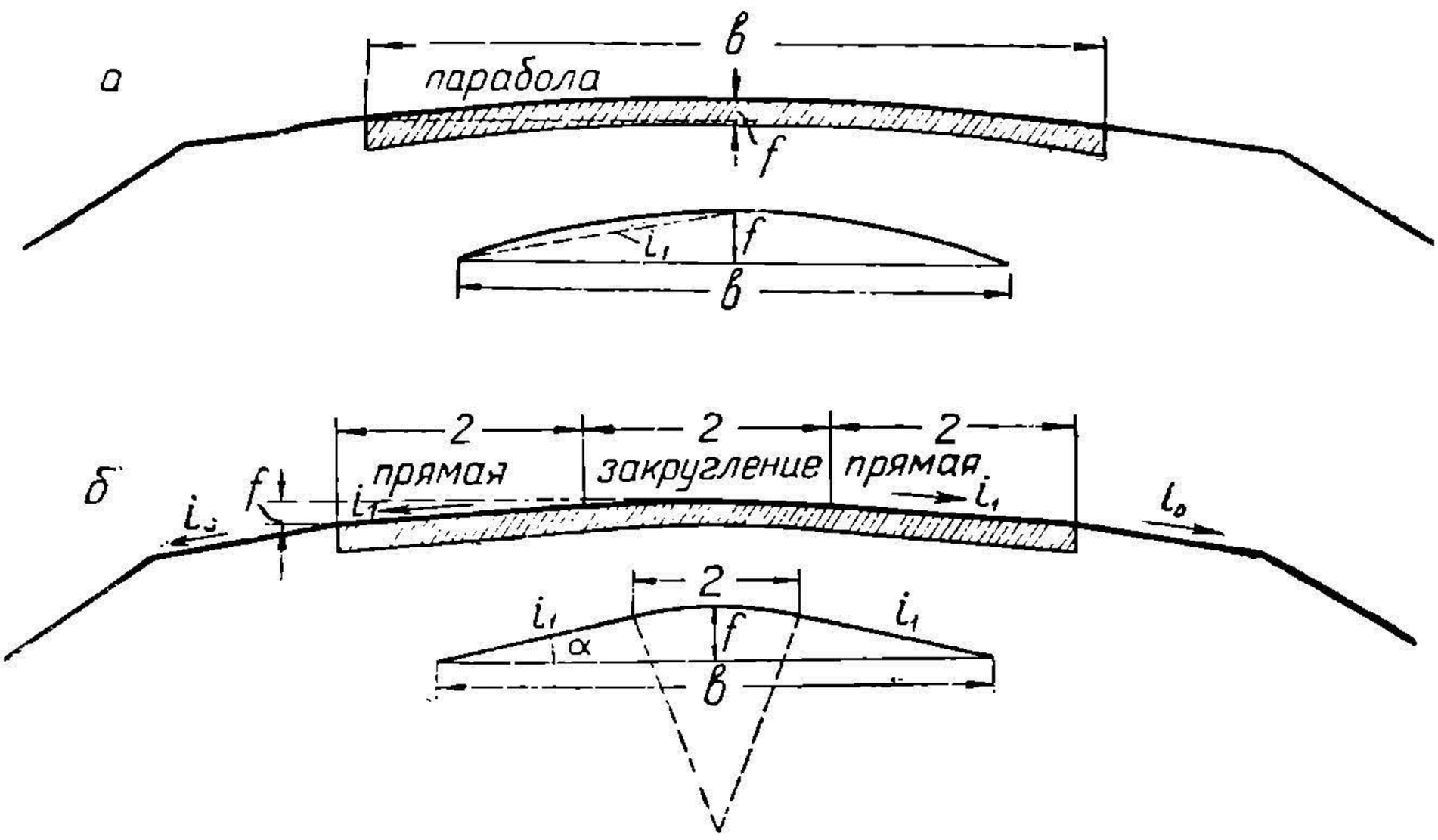


Рис. 40. Выпуклость проезжей части.

Очертания: *а* — по параболе; *б* — с двумя плоскими скатами; *f* — стрела выпуклости.

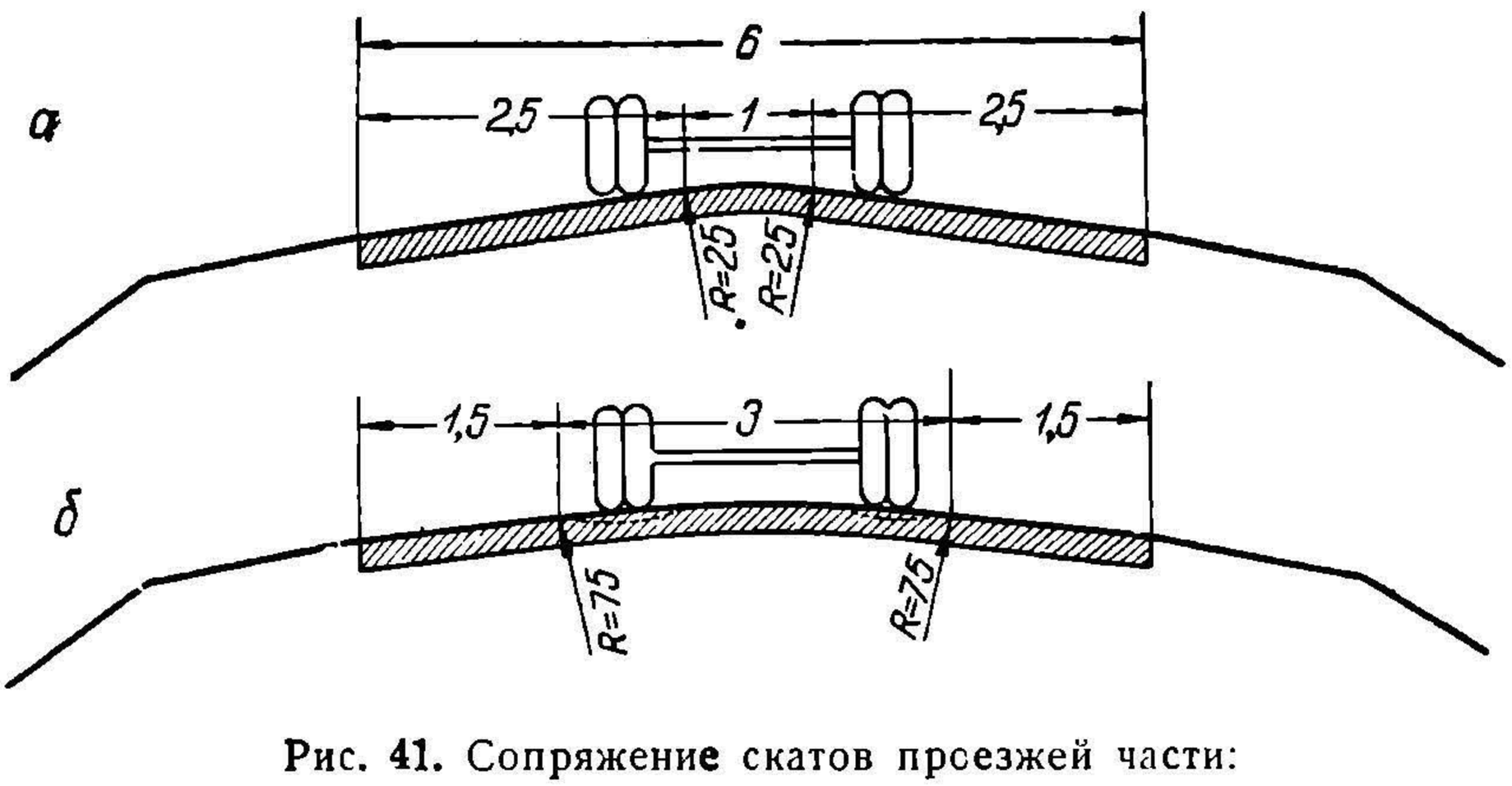


Рис. 41. Сопряжение скатов проезжей части:

а—радиус сопрягающей кривой мал, неравномерная нагрузка сдвоенных шин;
b—радиус велик—езда сосредоточивается на средней полосе, в результате чего там образуются колеи.

на другую становятся неудобными. При езде по средней полосе получается неравномерная нагрузка сдвоенных шин. При большем радиусе (рис. 41, *б*) и тем более при параболическом очертании средняя полоса становится менее выпуклой, езда посредине

НБ УДУГТ (ДПТ)

становится удобнее, чем по краям. Помимо опасности столкновения, это вызывает усиленный износ и образование колей на средней полосе. Поэтому схема по рис. 40, *б* из прямых, сопряженных дугой 1,5 — 2 м, более целесообразна.

Возвышение оси проезжей части над кромками f носит название стрелы выпуклости. Выпуклость поперечного профиля для параболического очертания характеризуется средней величиной поперечного уклона

$$i_1 = \operatorname{tg} \beta = f \quad \frac{b}{2} = \frac{2f}{b}.$$

Величина поперечного уклона назначается в зависимости от типа покрытия согласно табл. 15.

Таблица 15

№ п/п.	Тип покрытия	Величина поперечного уклона в процентах
1	Бетонные дороги .	1,5 — 2
2	Асфальтобетон	1,5 — 2
3	Брусчатая и мозаиковая мостовая .	2 — 2,5
4	Черное шоссе .	2 — 3
5	Шоссе белое . .	3
6	Гравийная дорога . .	3 — 4
7	Клинкерные мостовые .	2 — 3
8	Булыжная мостовая . .	3 — 4
9	Грунтовая улучшенная дорога .	3 — 5
10	Грунтовая глинистая дорога	5
11	Грунтовая дорога, обработанная черными вяжущими веществами . .	2,5 — 3,5

Правильность очертания выпуклости проезжей части проверяется шаблоном с уровнем. Вычисление стрелы выпуклости посредине производится с учетом биссектрисы сопрягающей кривой, величина которой при $l = 2$ м приблизительно равна $\frac{i}{2}$ м, почему $f = (b - 1)\frac{i}{2}$; промежуточные ординаты профиля легко определяются расчетом.

При постройке гравийных и грунтовых дорог иногда увеличивают стрелу на 25% с тем, чтобы по мере осадки полотна выпуклость приняла нормальную величину.

31. Обочины

Обочины необходимы для укрепления кромки проезжей части (рис. 42). При ширине обочин по 2 м они могут быть использованы для вынужденной остановки автомобилей в случае неисправности. Этим избегается опасное для движения загромо-

НБ УДУИТ (ДИТ)

ждение проезжей части. При выполнении мелкого ремонта проезжей части на обочине могут быть временно размещены запасы материалов, инструменты и оборудование, необходимые для выполнения ремонтных работ.

Рис. 42. Отпорная призма в обочине, удерживающая дорожную одежду.

В горной местности для сокращения объема земляных работ (а в скальных грунтах — взрывных работ) ширину обочин уменьшают до 1 м. Этот минимальный размер обочины необходим для прочности прилегающей части одежды (отпор или пассивное давление земли). Для стока воды поверхности обочин придают уклон в сторону от проезжей части. Так как поверхность обочин имеет всегда большую шероховатость, чем проезжая часть, то уклон поверхности обочин делается на 2% больше, чем уклон проезжей части, т. е. от 4 до 6%.

Поверхность обочины в случае надобности может быть укреплена местными материалами: гравием, щебнем, булыжным камнем и т. п.

Под обочиной для стока воды из основания проезжей части устраивают песчаные воронки; сплошной песчаный слой или иные дренирующие сооружения.

В населенных местах, где съезд экипажей на обочину для стоянки может быть частым, поверхность обочин укрепляется каменной или гравийной одеждой. Иногда, кроме того, устраиваются тротуары. В этих случаях вдоль проезжей части устанавливаются поребрики (рис. 43). Водоотвод осуществляется подземной канализацией.

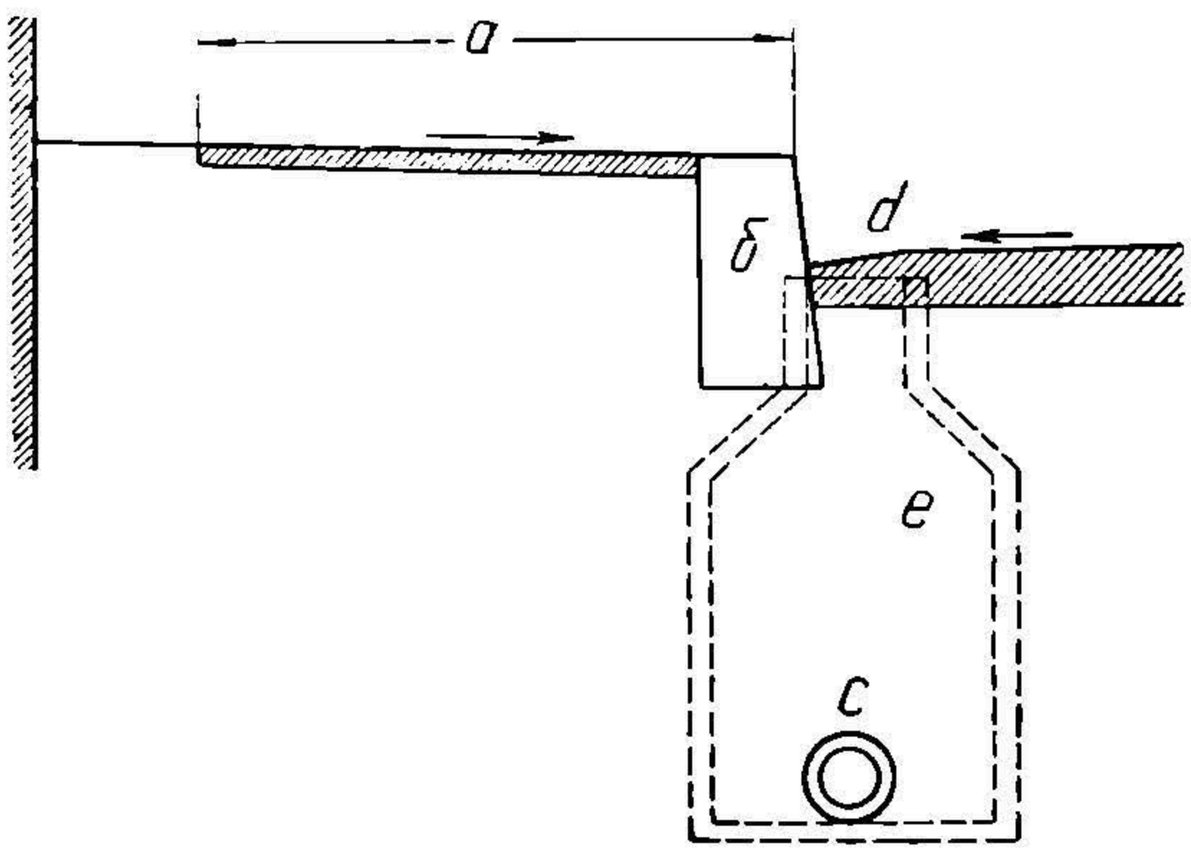


Рис. 43. Устройство тротуара *а*—с поребриком *б*; *с* — подземная труба (коллектор канализации для стока ливневых вод); *d* — решетка для стока воды в ливнеприемный колодец *е*.

32. Разделение полос проезжей части

Широкая проезжая часть (четыре или более полосы движения) может быть устроена в виде сплошной проезжей части и с разделительной полосой посередине (см. рис. 36). Основное

НБ УДУТ (ДІТ)

назначение этой полосы — обеспечить безопасность движения в разных направлениях и не допустить случайного переезда автомобиля на полосу, назначенную для встречного движения. Кроме того, на разделительной полосе устраиваются насаждения кустарника, назначение которого защитить водителя от ослепляющего действия фар встречных автомобилей. Ширина разделительной полосы делается от 1,0 (США) до 4,2 м (Германия). При устройстве проезжей части с разделительной полосой шириной 1,5 — 4 м увеличивается ширина земляного полотна на 5 — 10% и объем земляных работ. На наиболее напряженных участках магистралей устраивается освещение дороги сверху (подвешенными фонарями), исключающее необходимость пользоваться сильными фарами автомобиля для освещения поверхности дороги.

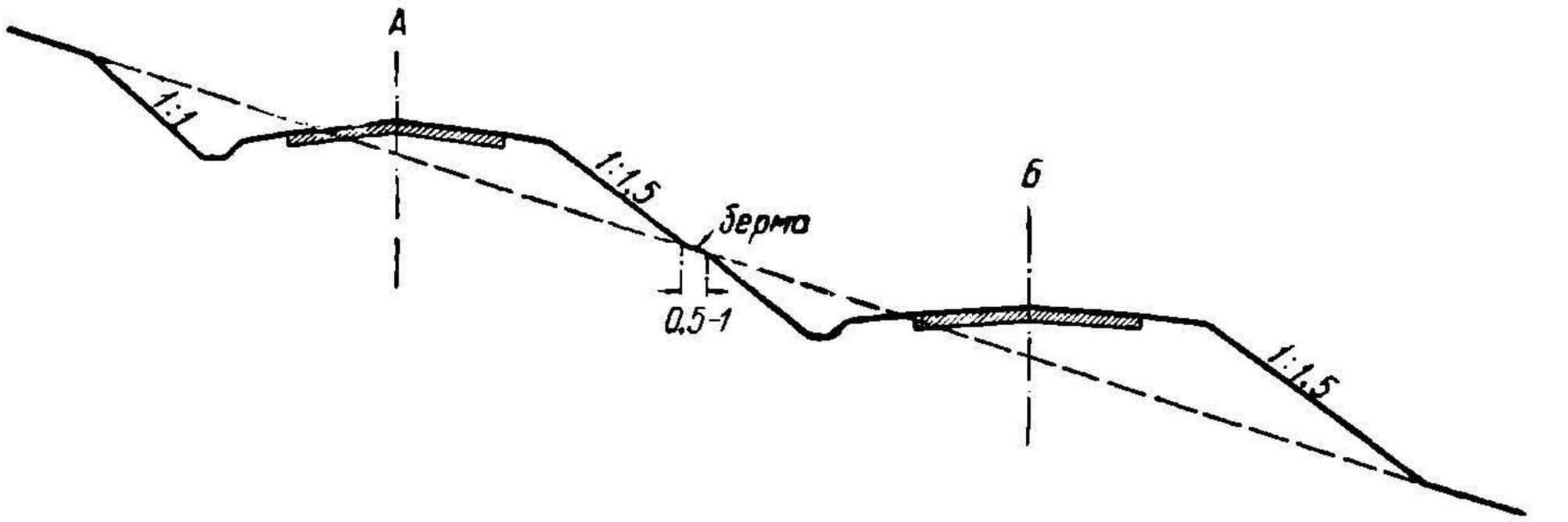


Рис. 44. Земляное полотно на косогоре в виде двух отдельных дорог:

А — для левого движения, *Б* — для правого движения. Таким разделением и приспособлением к рельефу местности достигается уменьшение объема земляных работ.

В некоторых случаях при сложном рельефе и на косогорах иногда выгодно земляное полотно разделять, устраивая проезжую часть каждого направления движения на независимом земляном полотне в виде двух отдельных дорог (рис. 44).

33. Ширина земляного полотна. Насыпи и выемки

Ширина земляного полотна, т. е. расстояние между бровками, складывается из ширины проезжей части и обочин:

$$B = b + 2a.$$

Ширина проезжей части зависит от ширины и числа полос движения, а ширина обочин в равнинной и пересеченной местности 2 м, а в гористой местности 1 м. Таким образом, по классификации государственных автомобильных дорог, ширина земляного полотна, в зависимости от ширины проезжей части и характера рельефа местности, установлена в соответствии с данными табл. 16.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таблица 16

Класс дороги	I	II			III		
Характер рельефа	равнинный	равнинный	пересеченный	гористый	равнинный	пересеченный	гористый
Ширина проезжей части в м	14	7	7	6	6	6	6
Ширина земляного полотна в м	18	11	11	8	10	10	8

Насыпи и выемки. Земляное полотно состоит (рис. 45) из дорожного полотна, откосов и кюветов или резервов.

Рис. 45. Устройство дорожного полотна с кюветами.
ACE и *BDF*—кюветы.

Дорожное полотно *AB* заключено между бровками и состоит из проезжей части и двух обочин.

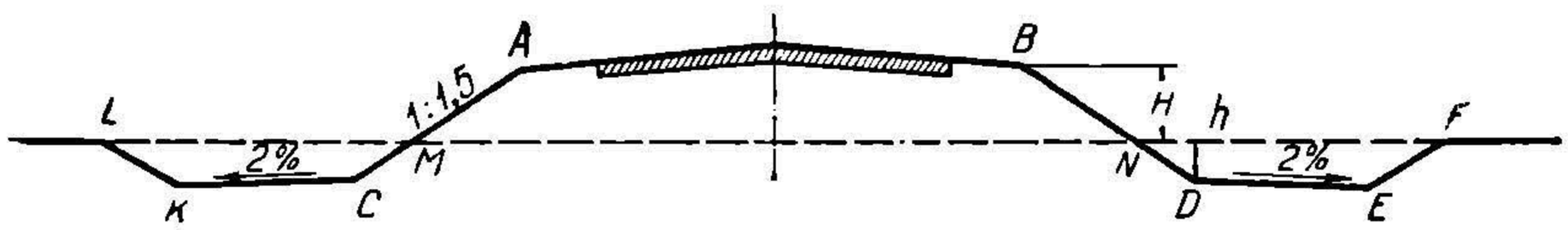


Рис. 46. Устройство полотна дороги в насыпи в равнинной местности с односкатными резервами.
H—высота насыпи; *LKCM* и *NDEF*—резервы.

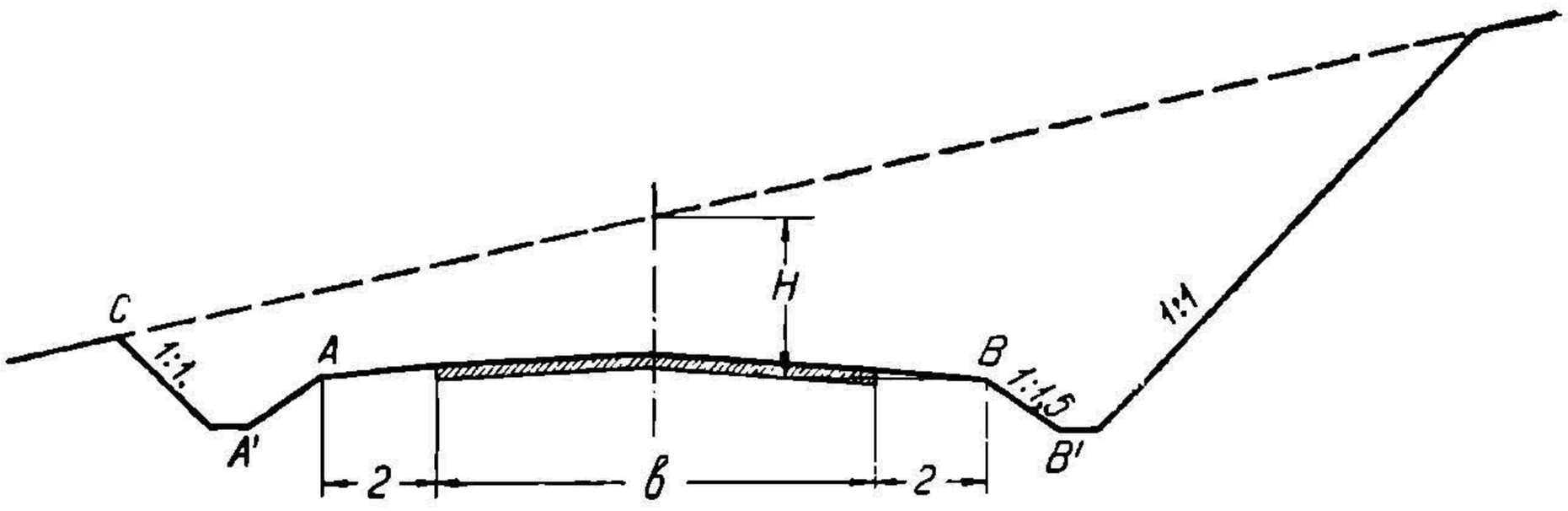


Рис. 47. Дорожное полотно в выемке на косогоре. Глубина выемки *H*.

Земляное полотно состоит из насыпей и выемок. Если дорогу требуется устроить выше поверхности земли — делается насыпь (рис. 46), если ниже поверхности земли — делается выемка (рис. 47).

НБ УДИТ (ДИТ)

На косогоре земляное полотно может быть устроено в полунасыпи-полувыемке (рис. 48).

Наклонные части земляного полотна *AC* и *BD* называются откосами. Пологие откосы создают устойчивость земляного полотна. При прямой оси дороги откосы представляют плоскости, при криволинейной оси—поверхности вращения. Ширина

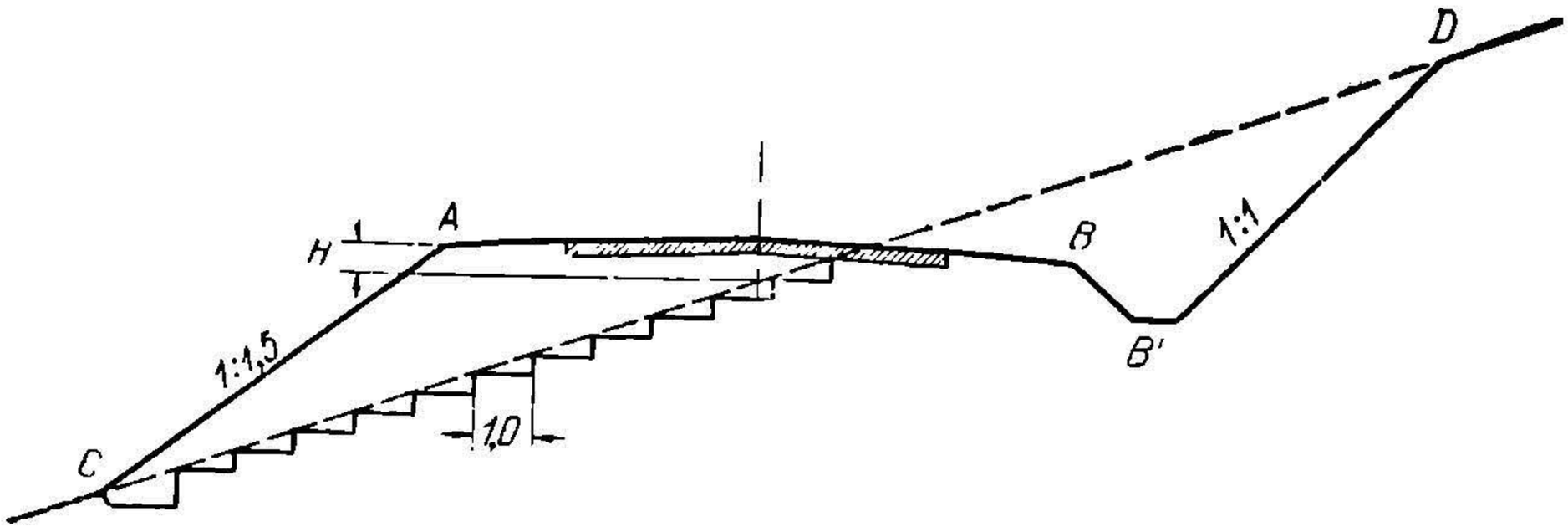


Рис. 48. Устройство полотна на косогоре в полунасыпи-полувыемке.

Рабочая отметка *H* считается по оси до уровня бровки; эта отметка необходима для разбивки полотна, но не характерна для объема земляных работ.

земляного полотна измеряется между бровками *A* и *B*. Правильная и ровная поверхность откосов и отчетливое очертание бровок являются показателями качества постройки и содержания земляного полотна.

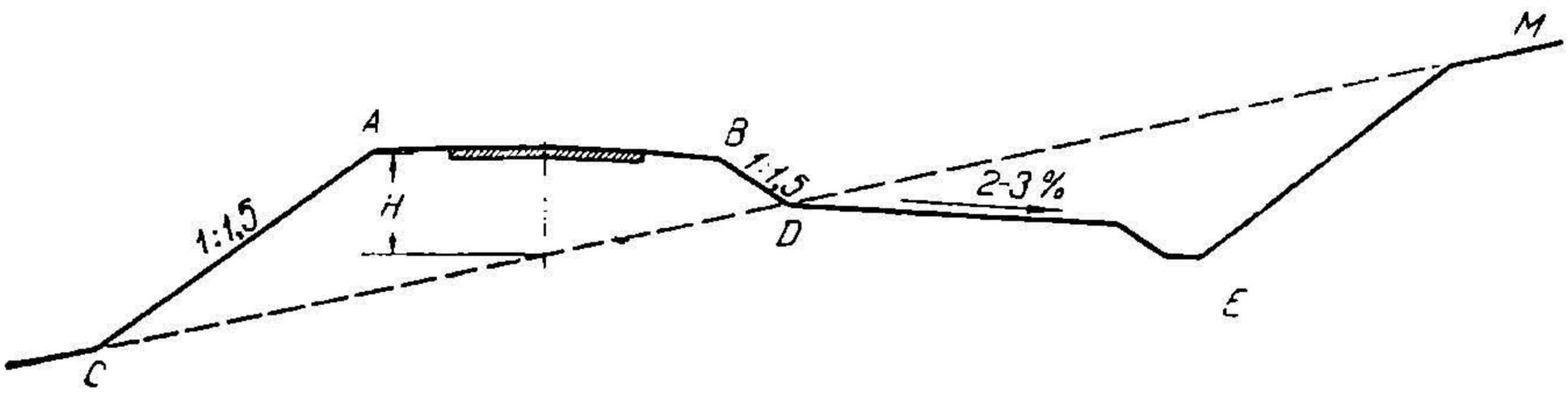


Рис. 49. Устройство полотна дороги в насыпи на местности, имеющей поперечный скат.

AB—дорожное полотно, *AC* и *BD*—откосы, *DEM*—резерв с нагорной стороны.

Кюветы устраиваются для отвода воды от полотна дороги; кюветам придается правильное трапецоидальное (а иногда и треугольное) очертание и правильный продольный уклон, во избежание застоя воды. Грунт для устройства насыпей берется или из смежных выемок или из резервов *DFM* (рис. 49), которые закладываются с нагорной стороны вдоль дороги. При малом поперечном уклоне местности резервы закладываются

НБ УДУНТ (ДІІТ)

с обеих сторон дороги (рис. 46) и в этом случае резервы заменяют кюветы.

Верхней части земляного полотна для обеспечения стока воды (см. § 30) придается очертание: а) для бетонных, черных, гравийных и мощеных дорог в виде ломаной линии (рис. 45) со скатами: для проезжей части $i_1 = 2-4\%$, для обочин $i_0 = 4-6\%$; б) для грунтовых дорог в виде треугольника с постоянными скатами от 3 до 5% (рис. 50).

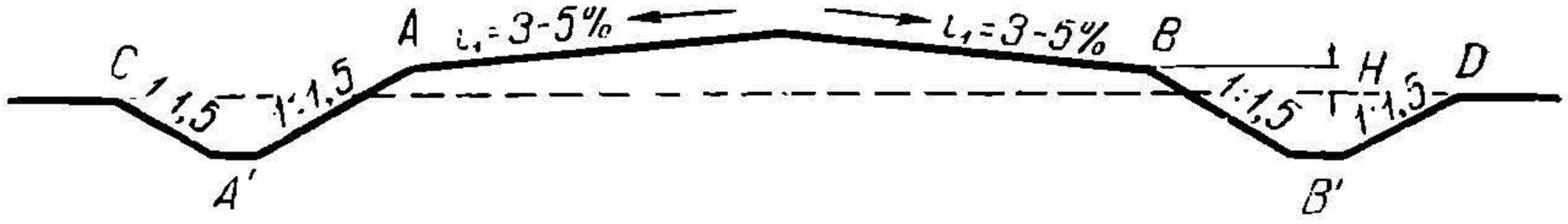


Рис. 50. Устройство полотна грунтовой дороги. H — высота насыпи.

Следует различать:

1. Очертание земляного полотна, заложенного в черновом виде (по окончании земляных работ до начала постройки одежды, рис. 51). Такой вид имеет земляное полотно до момента постройки дорожной одежды.

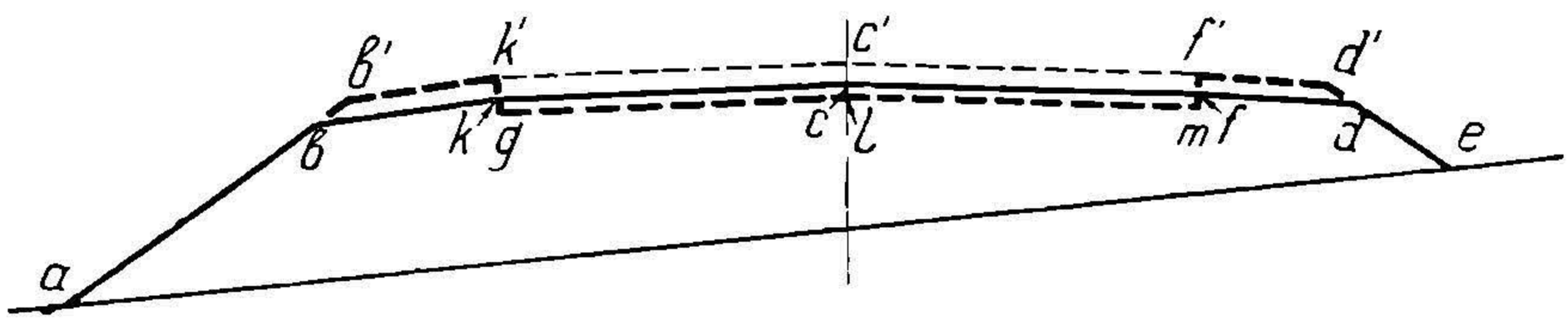


Рис. 51. Очертание земляного полотна, построенного вчерне (*abcde*).

Пунктиром показано очертание законченного полотна *ab'k'glmf'd'e* и проезжей части *k'glmf'*. Площадь $bb'k'k = kglc$ и $clmf = ff'd'd$.

2. Очертание ящика или корыта, подготовленного в земляном полотне непосредственно перед укладкой дорожной одежды (рис. 52).

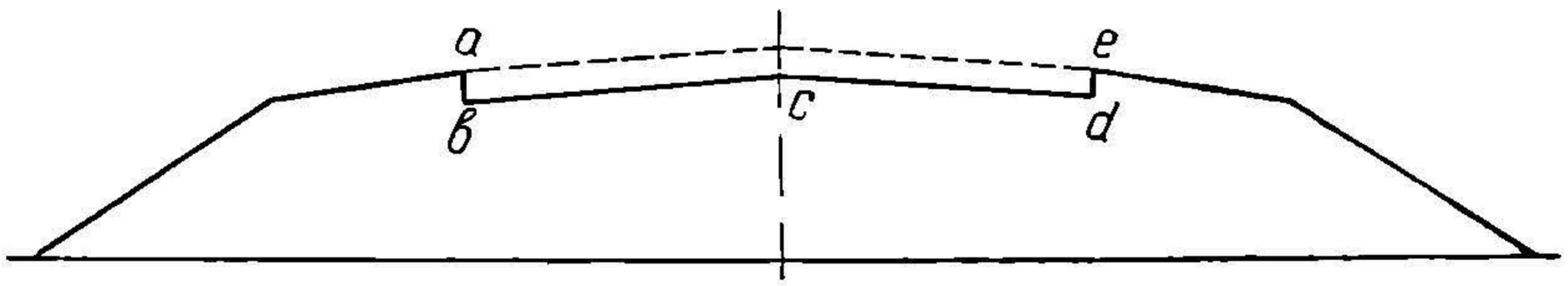


Рис. 52. Очертание ящика или корыта земляного полотна *abcde* перед укладкой дорожной одежды.

Пунктиром показано очертание готовой проезжей части.

3. Очертание полотна дороги в законченном виде вместе с дорожной одеждой (см. рис. 45).

Обыкновенно, когда говорят о поперечном профиле полотна дороги, имеют в виду последний случай; когда говорят об

НБ УДУНТ (ДІІТ)

устройстве земляного полотна имеют в виду первый случай — очертание полотна вчерне.

Высотой насыпи H или глубиной выемки — H называется разность отметок бровки дорожного полотна в законченном виде и поверхности земли по оси дороги (см. рис. 46 и 47). Эта величина называется также рабочей отметкой и указывается на продольном профиле (см. § 51).

На косогоре (рис. 48) рабочая отметка имеет условный характер, так как при малой или даже нулевой рабочей отметке земляное полотно может представлять частью значительную насыпь, частью значительную выемку.

Основным типом земляного полотна в равнинной местности является невысокая насыпь (см. рис. 46).

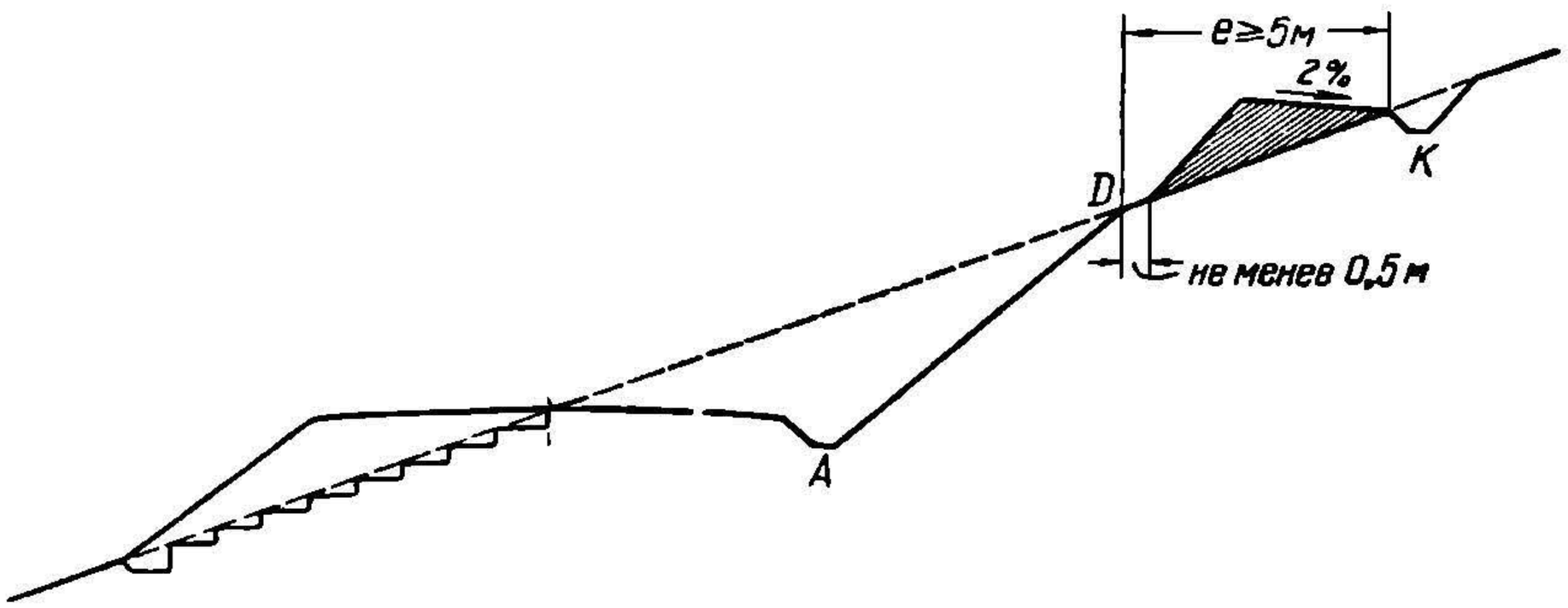


Рис. 53. Нагорная канава k в расстоянии от наружной бровки откоса выемки не менее 5 м.

Высота насыпи над поверхностью земли зависит от продольного профиля и от местных грунтовых и гидрологических условий. Отвод воды от насыпи осуществляется кюветами или резервами.

Полотно, устроенное в такой невысокой насыпи, быстро просыхает после дождя и таяния снега, вследствие стока воды, а также действия солнца и ветра.

Высокие насыпи (более 2 — 3 м) требуют больших затрат ручного и машинного труда на их возведение и уплотнение, поэтому их устраивают только на переходах рек, оврагов, болот, пересечениях с железными дорогами. В выемках полотно дороги находится в неблагоприятных условиях — меньше нагревание солнцем и проветривание, а потому и просыхание идет медленнее. Кроме того, в выемках иногда приходится считаться с неблагоприятным действием грунтовых вод и неустойчивостью откосов. Неглубокие выемки зимой заносятся снегом, что требует усиленных расходов на борьбу со снегом. Поэтому, как правило, выемок следует избегать, устраивая их лишь там, где это совершенно необходимо по условиям проектирования продольного профиля.

НТБ УДУИТ (ДІІТ)

Для предохранения откоса от размыва водой, стекающей с нагорного склона, устраиваются нагорные канавы (рис. 53).

Устройство земляного полотна на косогоре при мягких (не скальных) грунтах и пологом косогоре представляет относительно легкую работу. Работа становится трудной при скальном грунте и крутом или обрывистом косогоре. Кроме того, в некоторых случаях на косогорах необходимо принимать особые меры для устойчивости насыпи против сползания и просадки, выемки — против сползания откосов.

34. Крутизна откосов насыпей и выемок

Крутизна откосов измеряется отношением высоты откоса к заложению. При отношении высоты к заложению 1 : 1,5 откос называется полуторным, при отношении 1 : 1 — одиночным и т. д.

Крутизна откоса, необходимая для его устойчивости, зависит от свойств грунта.

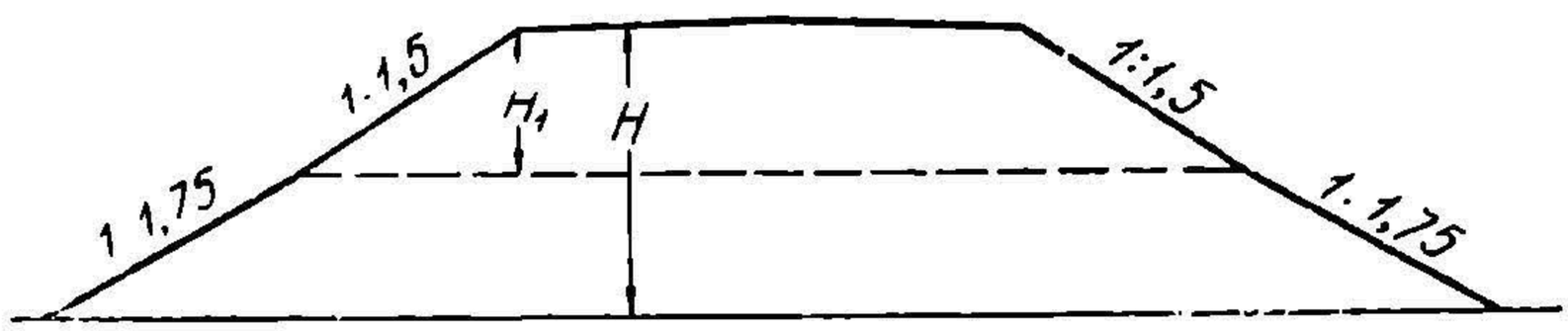


Рис. 54. Крутизна откоса высоких насыпей в верхней части делается $1:1^1/_2$, в нижней $1:1^3/_4$.

В обычных землистых грунтах—песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых—крутизна откосов насыпей и выемок назначается 1 1,5.

При устройстве выемок эта крутизна назначается независимо от глубины выемки. При устройстве высоких насыпей крутизна откосов делается 1 : 1,5 только в верхней части насыпи, нижняя часть для большей устойчивости делается крутизной 1 1,75 (рис. 54). Переход от полуторного откоса к 1 : 1,75 делается на высоте H, считая от бровки вниз (в м):

при пылеватых и глинистых грунтах .	6
„ суглинистых и мергелистых грунтах	7
„ песчаных и супесчаных грунтах . .	8
„ гравелистых и щебенистых грунтах	12

При устройстве насыпей из камня крутизна откосов назначается от 1 1,25 до 1 0,75, в зависимости от крупности и формы каменного материала и способов производства работ.

На поймах рек, в пределах длительного стояния высоких вод и при сильном течении, уклон откосов назначается 1 2.

При устройстве выемок в плотных щебенистых и скальных грунтах откосам придается большая крутизна, а именно:

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в щебенистых и мергелистых грунтах, в зависимости от их свойств и плотности	1	1—1	0,5
в лёссе в сухих выемках	1	0,1	
в выветривающихся скальных грунтах, в зависимости от их свойств и степени выветриваемости	1	0,5—1	: 0,2
в невыветривающихся скальных грунтах	1	0,1	

В массивных невыветривающихся скалах при наклоне слоев в сторону косогора могут быть допущены вертикальные и даже нависающие откосы (рис. 55).

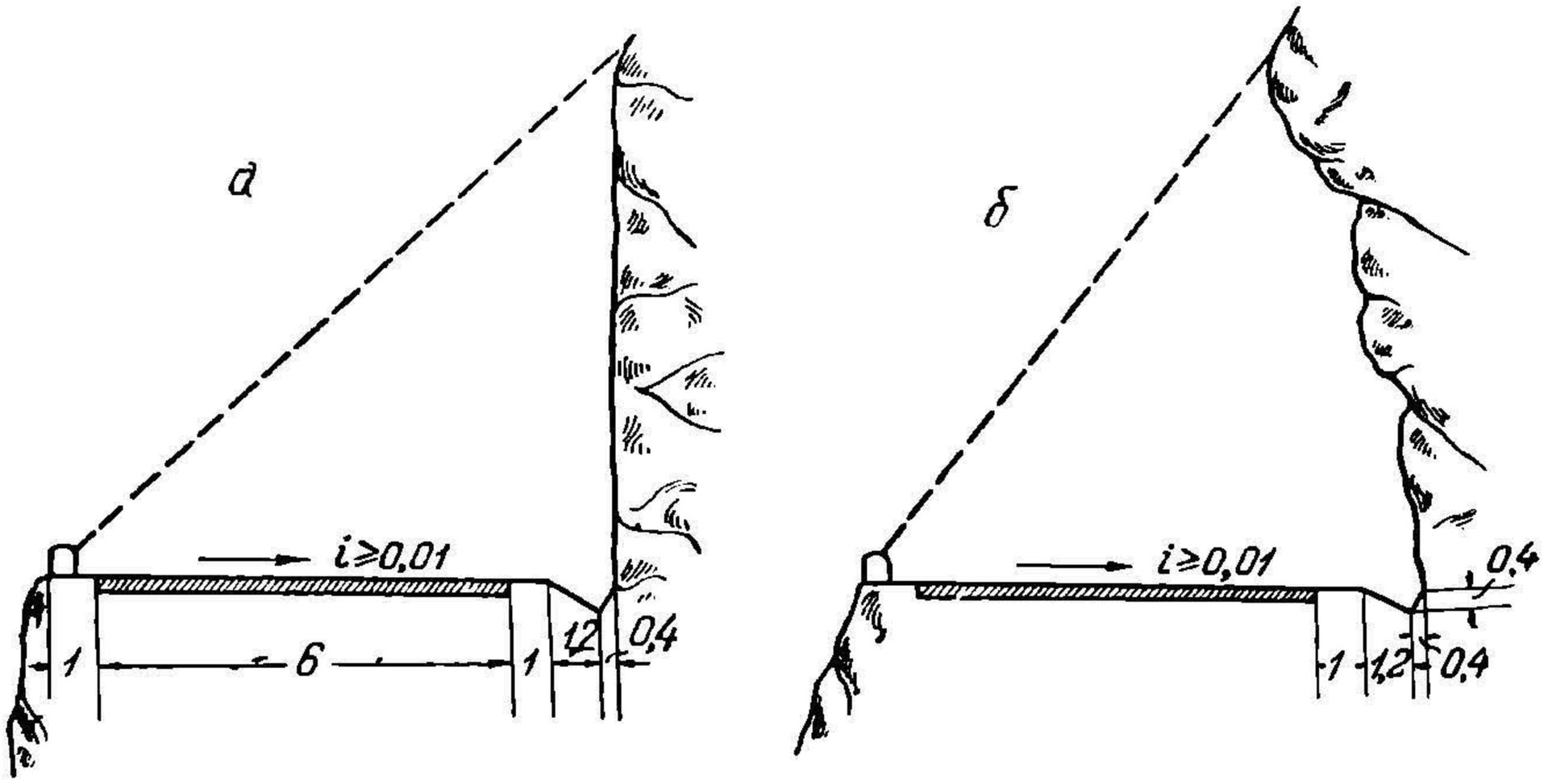


Рис. 55. Откос выемки в скальных невыветривающихся грунтах:
а—вертикальный; *b*—нависающий при наклоне слоев в сторону косогора:

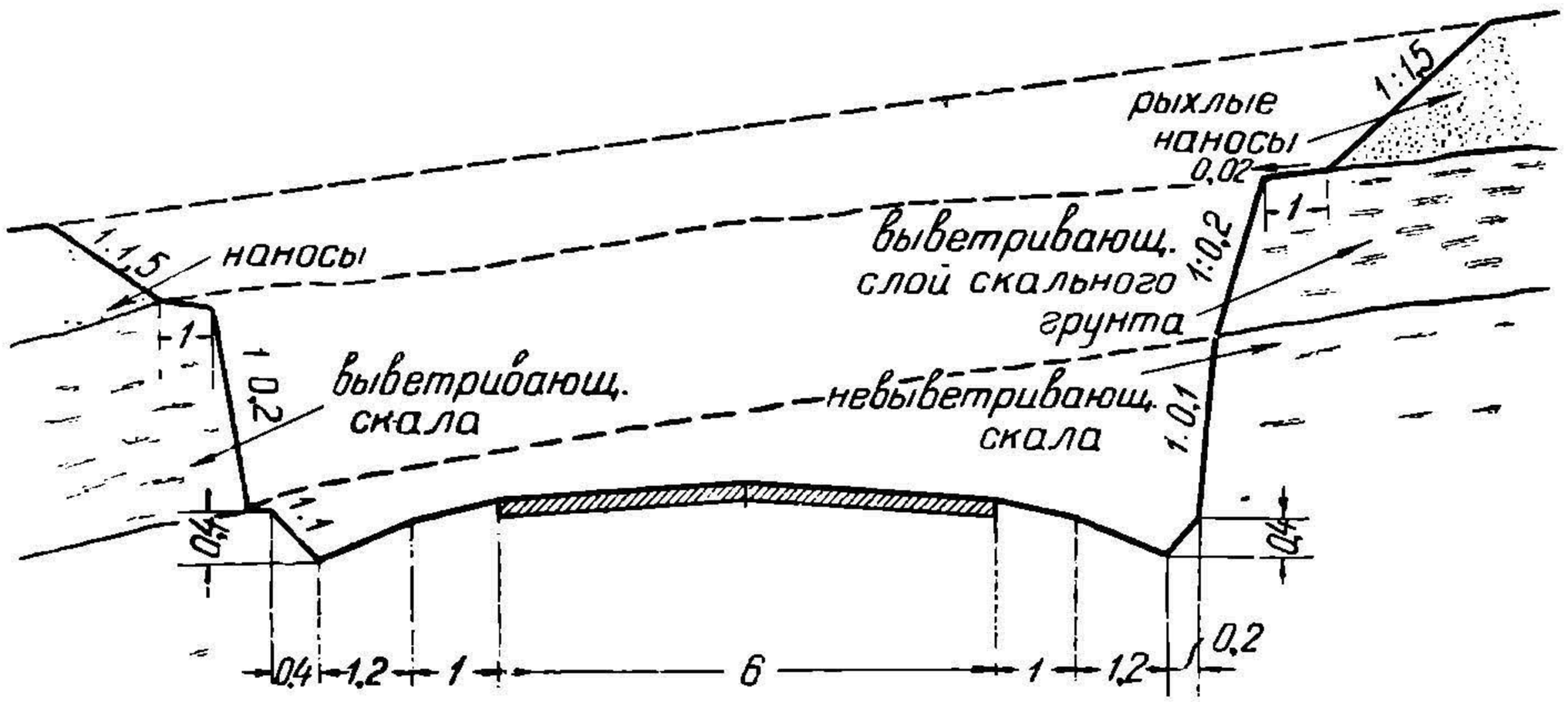


Рис. 56. Откосы выемки при грунтах неодинаковой прочности.

Между рыхлыми породами и коренными породами, при переходе к откосу большей крутизны, устраивается берма шириной 1,0 м с уклоном 2% в сторону кювета.

Выемки, прорезающие неоднородные по своим физическим свойствам грунты, могут иметь ломаные откосы (рис. 56). В выемках и лёссовых и скальных выветривающихся грунтах

НБ УДУНТ (ДІІТ)

между подошвой откоса и внешней бровкой кювета устраиваются бермы шириной не менее 0,5 м. Уклон берм делается 2% в сторону кювета (рис. 57).

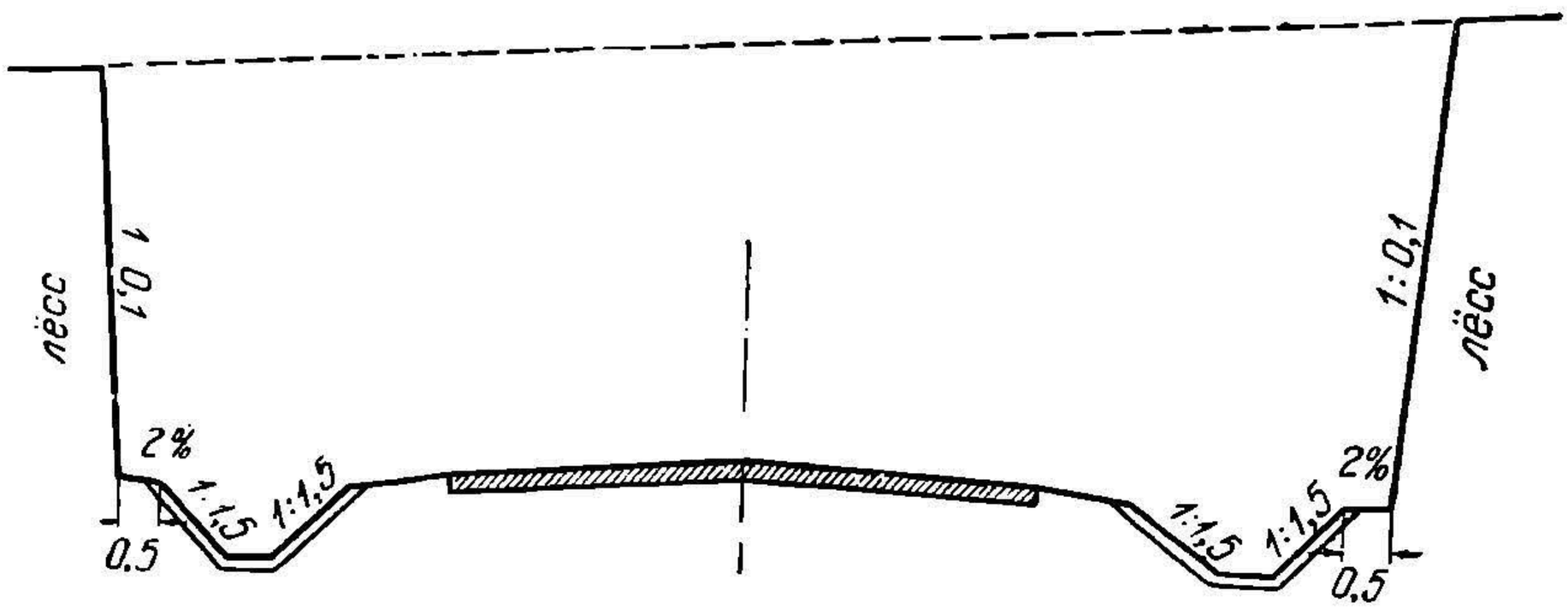


Рис. 57. Выемка в сухих лёссовых грунтах.

Если в откос выемки выходит пласт слабых выветривающихся пород, то для предохранения откоса от выветривания устраиваются одевающие стенки из каменной кладки на растворе (рис. 58), а в случае наличия слоев неустойчивых грунтов для поддержания откосов устраиваются подпорные стенки (рис. 59).

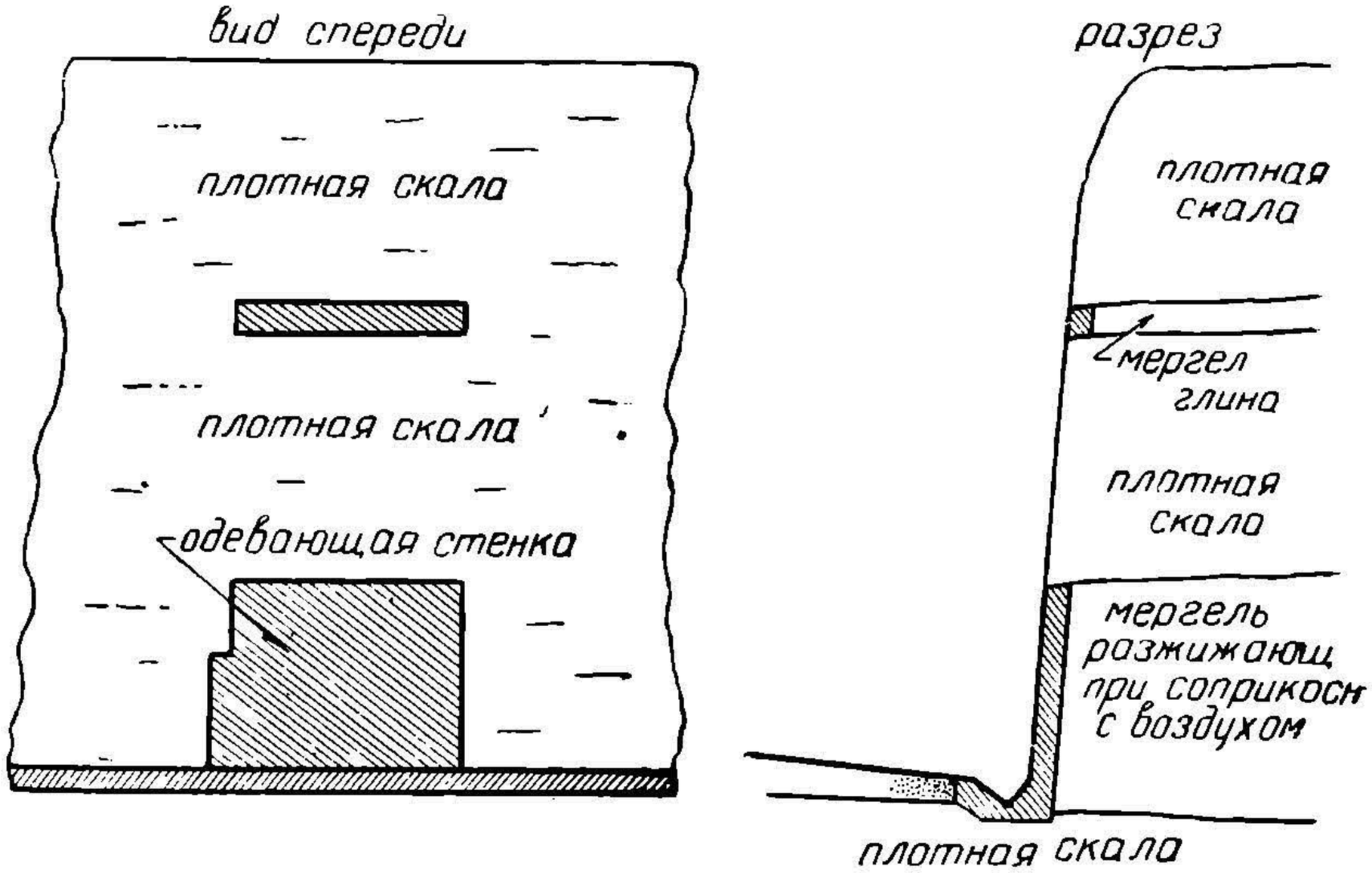


Рис. 58. Одевающие стенки для защиты слабого грунта (в данном случае прослойки мергелей).

При устройстве насыпи на косогоре для предотвращения скольжения насыпи: а) при крутизне косогора более 1 : 10, но менее 1 5 в основании насыпи срезается дерн; б) при крутизне косогора более 1 5 поверхность косогора в основании насыпи планируется уступами шириной не менее 1,0 м. Поверхность

НВ УДУТ (ДІІТ)

уступов делается горизонтальной (рис. 60), а при водопроницаемых грунтах поверхности уступов придается уклон 1—2% в сторону косогора.

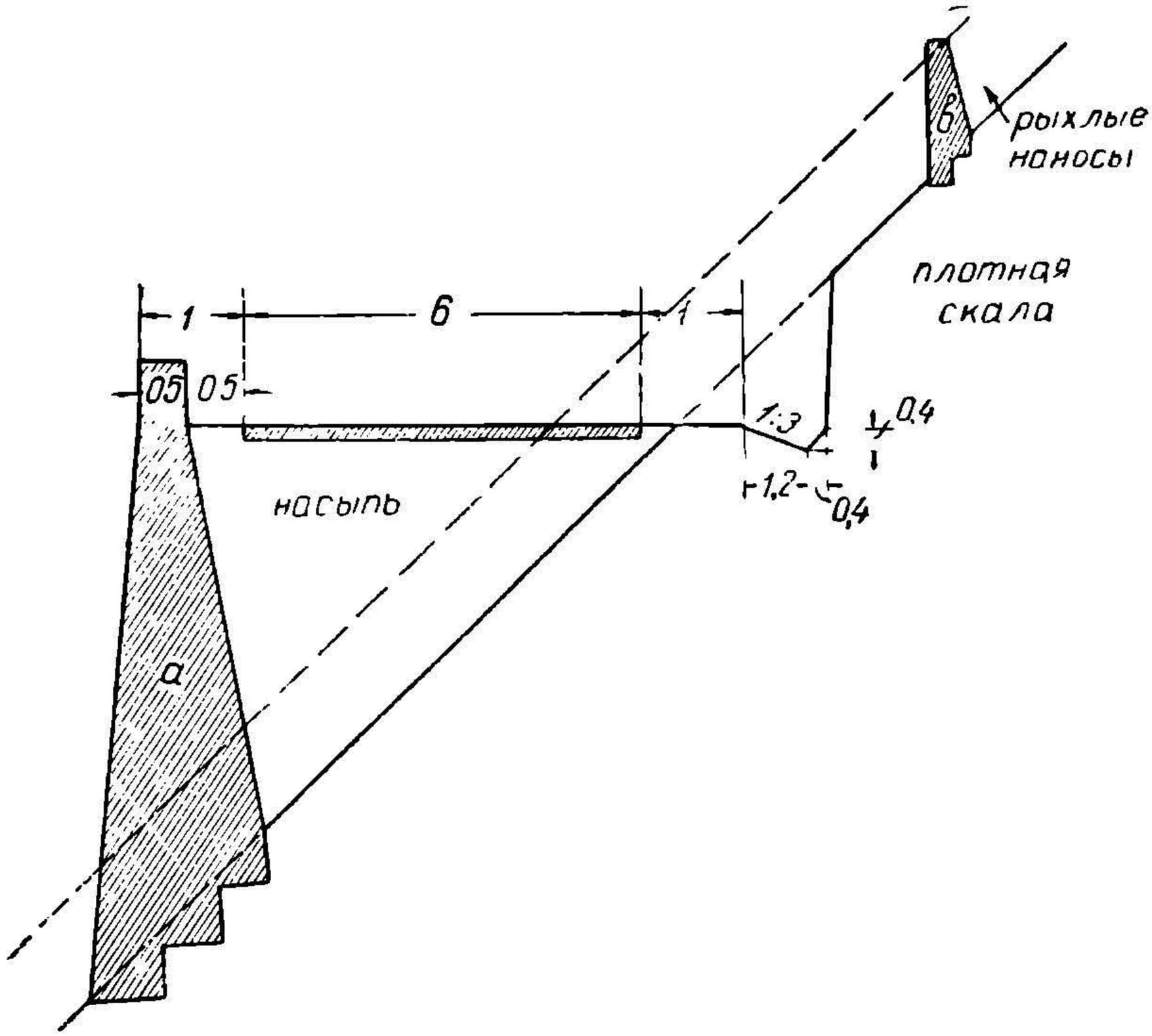


Рис. 59. Подпорные стенки, поддерживающие неустойчивые откосы насыпи (*а*) и выемки (*b*) на крутом косогоре.

Рис. 60. Насыпь на косогоре.

В основании насыпи поверхность косогора спланирована уступами, шириной 1 м, с горизонтальной поверхностью.

В местах, подверженных снежным заносам, мелкие выемки (глубиной до 1,5 м) устраиваются раскрытыми или разделываются „под насыпь“ (рис. 61). Получаемый при этом грунт используется для устройства смежных насыпей.

НБ УДИТ (ДІТ)

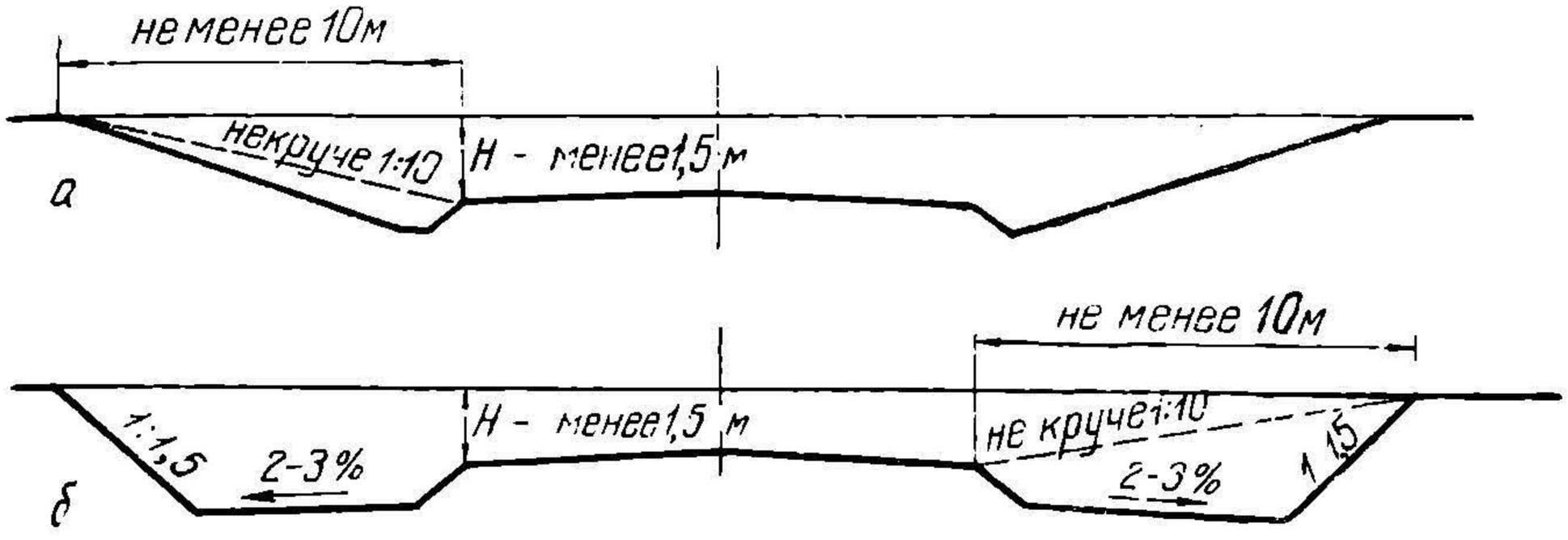


Рис. 61. Раскрытые выемки (мелкие выемки глубиной до 1,5 м в местах, подверженных снежным заносам):

а—раскрытая выемка; *b*—выемка, разделанная под насыпь.

35. Кюветы, резервы и их очертание

В выемках, а также вдоль невысоких насыпей, устраиваются боковые канавы, называемые кюветами. Эти канавы служат для отвода воды, стекающей с проезжей части и обочин. В выемках кюветы принимают также воду, стекающую с откосов. Кюветы (а также резервы) способствуют осушению части земляного полотна, расположенной непосредственно под основанием дорожной одежды (рис. 62). Эта часть земляного полотна может быть названа несущей — от ее плотности зависит прочность дорожной одежды и основания в смысле сопротивления просадкам.

Просыхание насыпей происходит под влиянием ветра и солнечного нагрева. Чем глубже кюветы или резерв, тем большую величину имеет откос и тем интенсивнее происходит просыхание земляного полотна. Пористые песчаные грунты быстрее прогреваются и легче теряют воду, чем пылеватые и плотные глинистые грунты.

Чем больше ширина земляного полотна, тем, очевидно, медленнее происходит просыхание грунтов несущей части, так как усовершенствованные, воздухонепроницаемые покрытия (асфальт, черные дороги и пр.) затрудняют просыхание находящегося под ними полотна.

Отсюда, как следствие, для устойчивости дороги является необходимым глубину кюветов устраивать различной, в зависимости от рода грунта и ширины земляного полотна.

Кроме того, вода, проникая в земляное полотно при оттаивании грунта весной или после дождей, устанавливается по некоторой кривой поверхности (рис. 62). Чем больше возвышение h бровки полотна над дном кювета или резерва, тем вершина кривой поверхности находится глубже под дорожной одеждой, т. е. тем величина z больше. Только при глубоком понижении вершины поверхности, т. е. при достаточно большом z,

РБ УДИНТ (ДИТ)

несущая часть полотна является сухой и может выдержать давление от проходящих колес тяжелых автомобилей.

В грунтах водопроницаемых очертание кривой осушения положе, в грунтах непроницаемых круче. Чем больше ширина земляного полотна, тем, очевидно, больше возвышение кривой осушения в средней части полотна над ее нижними точками около кювета или резерва.

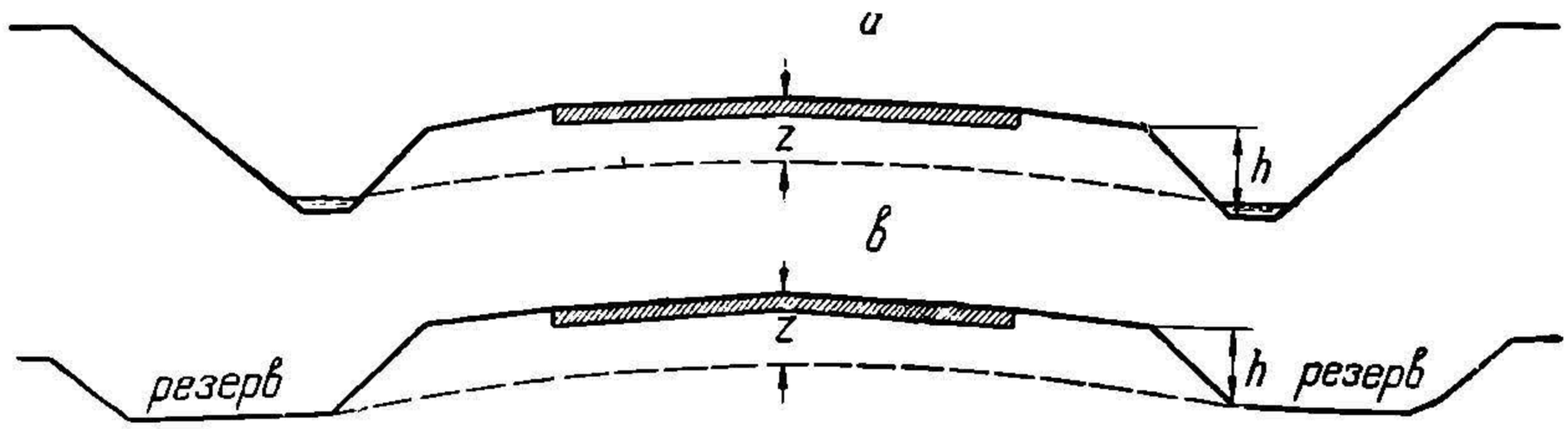


Рис. 62. Осушение несущей части земляного полотна кюветами:
а—в выемке; *b*—в невысокой насыпи.
Пунктиром показана граница осушенной части полотна.

Учитывая все эти условия осушения дорожного полотна, глубину кювета, т. е. возвышение бровки полотна над дном кювета, назначают согласно данных табл. 17.

Таблица 17

Наименование грунта	Измеритель	Ширина земляного полотна	
		более 11 м	11 м и менее
Пески, супеси, гравелистые грунты .	м	0,5	0,4
Мелкие супеси, пылеватые пески . .		0,8	0,6
Суглинки, тяжелые суглинки, глины .		1,0	0,8
Пылеватые суглинки, пылеватые грунты		1,2	0,9
Скальные грунты (лотки) .		—	0,4

Непосредственный отвод воды из-под дорожной одежды осуществляется при помощи фильтрующего песчаного слоя (иногда каменного). Из этого песчаного слоя выходы устраиваются в виде воронок под обочинами (рис. 63). Иногда вместо воронок над обочинами устраивается выход в виде сплошного песчаного слоя. Эти выходы—воронки или сплошной песчаный слой не должны затопляться водой, протекающей в кюветах. Поэтому глубина кюветов во всяком случае должна быть такова (рис. 63), чтобы низ дренажных воронок возвышался над дном кювета не менее 0,2 м при хорошо проницаемых грунтах (пески, супеси) и не менее 0,3 м над грунтами трудно фильтрующими (суглинки и глины).

УДУИТ (ДІІТ)

Кюветам, как правило, придается трапецоидальная форма. Ширина дна кювета делается 0,4 м, а при широком земляном полотне (например 18 м на дорогах I класса) — 0,5 м. Крутизна откосов делается 1 : 1,5 (рис. 64, *А*).

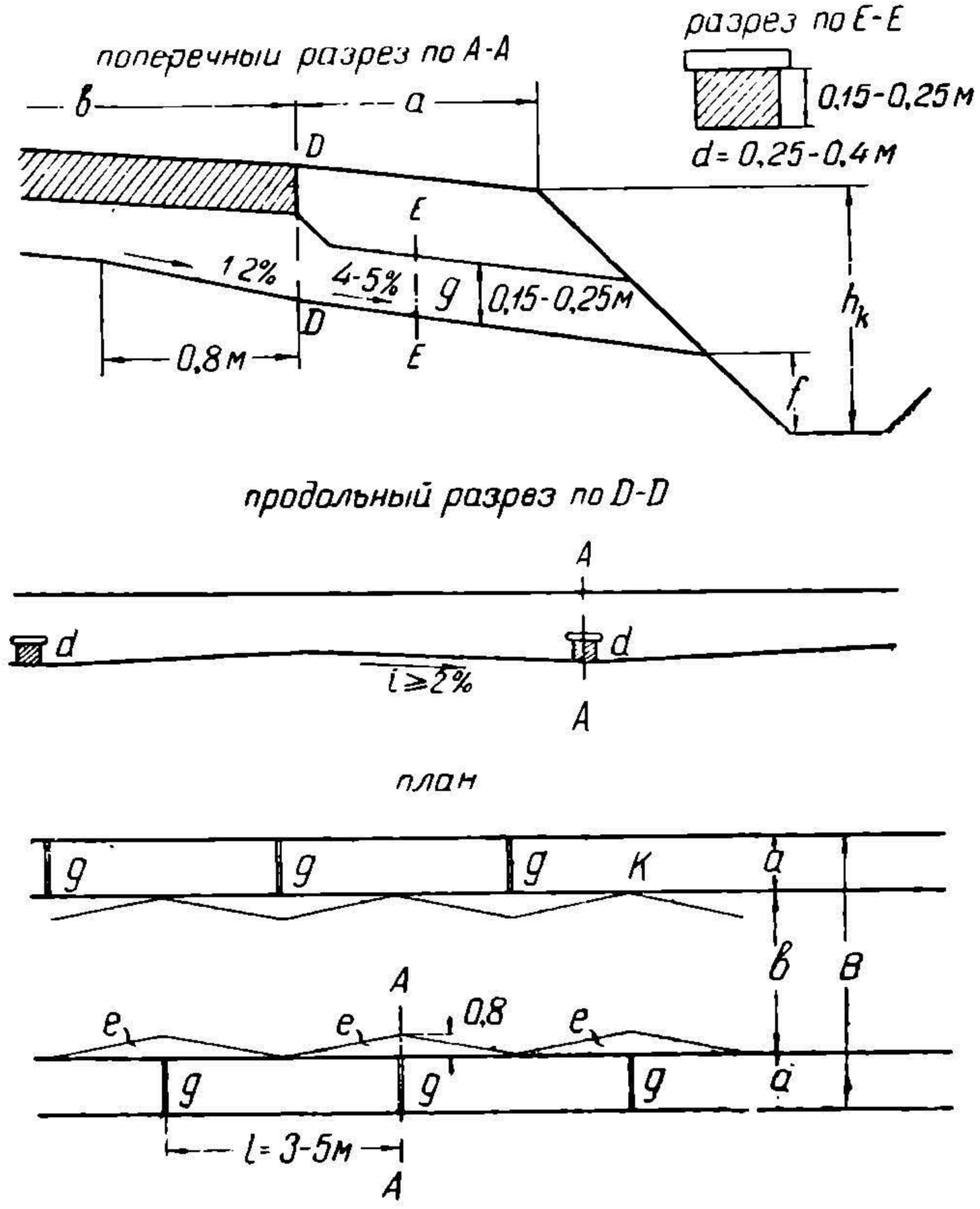


Рис. 63. Воронки для выпуска воды из корыта в местности со слабым уклоном:

g — воронка; *e* — ровики для стока воды; $h_к$ — глубина кювета; *f* — возвышение выхода воронки над дном кювета должно быть не менее 0,2—0,3 м.

В водопроницаемых грунтах (пески, супеси) значительная часть воды не стекает по поверхности, а просачивается в грунт, поэтому кюветы заменяются лотками треугольного сечения (рис. 64, *В*). Кюветы треугольного сечения устраиваются также на дорогах, обслуживающих местное движение при постройке земляного полотна (профилировании) простейшими машинами — канавокопателями и грейдерами (при отсутствии откосников).

Лоткам в скальном грунте придается очертание согласно рис. 65. Уклон наружного откоса делается 1 1—1 0,5, в зависимости от прочности скалы.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При устройстве выемок наружный откос кювета служит продолжением откоса выемки. Исключением являются случаи устройства крутых откосов в выемке в некоторых недостаточно прочных грунтах (лёсс в сухих местах, выветривающиеся скальные грунты); в этих случаях между кюветом и откосом выемки оставляется берма шириной 0,5 м (см. рис. 57).

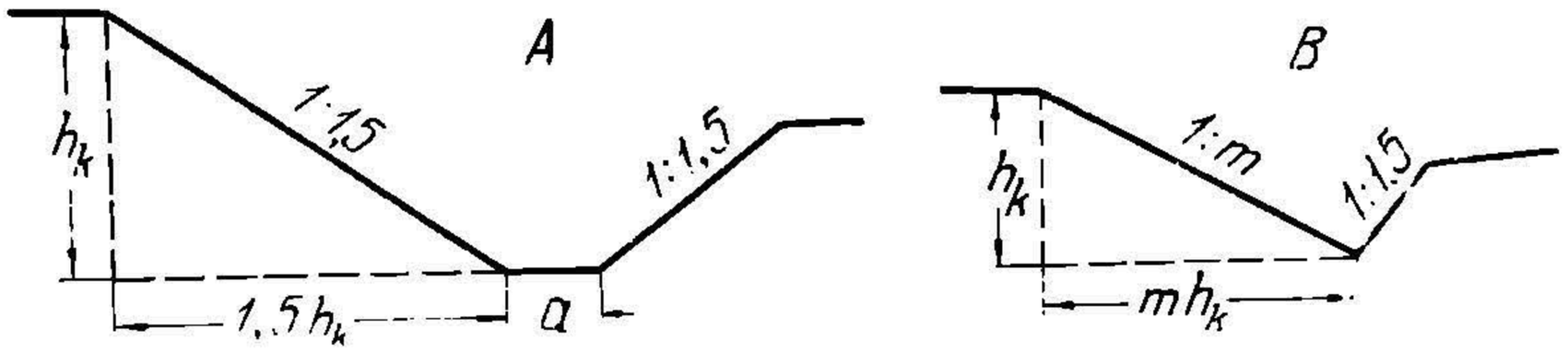


Рис. 64. Очертание кюветов.

А—трапецоидального сечения; $a = 0{,}4$—0,5 м; глубина кювета $h_к$ измеряется от бровки земляного полотна до дна кювета. Крутизна откосов 1:1,5; *В*—треугольного сечения—лотки. Глубина лотка измеряется от бровки земляного полотна. Уклон внутреннего откоса делается 1:2—1:5, наружного 1 1,5.

Внутренние откосы кюветов разрешается делать более пологими—1 2 и 1 3, если это вызывается условиями производства работ (например, применение грейдеров при профилировании).

Резервы. Резервы, расположенные около насыпи, способствуют ее осушению. Это происходит в том случае, если дно резерва правильно спланировано с уклоном от полотна дороги и в самом резерве вода не застаивается.

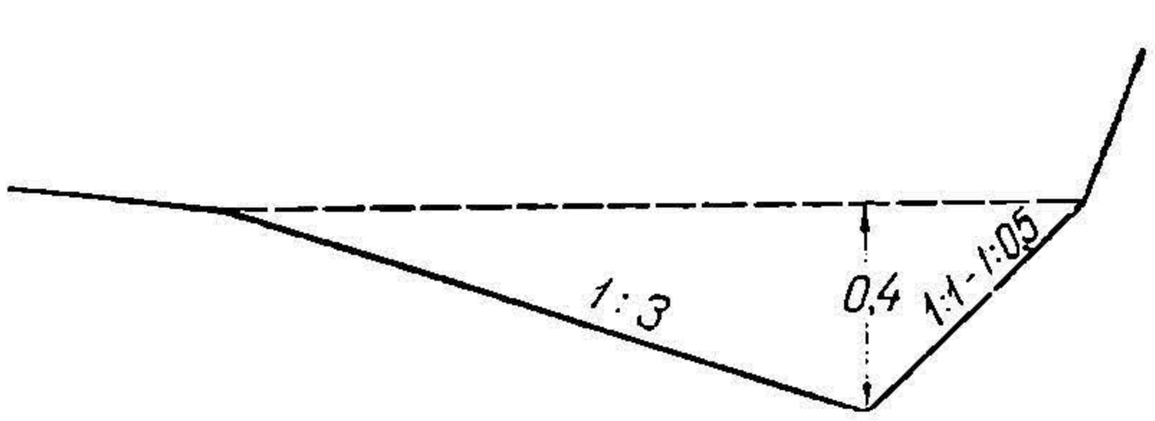


Рис. 65. Очертание лотков в скальном грунте.

Глубина резерва, т. е. возвышение бровки насыпи над дном резерва, должна быть не менее той, которая указана в табл. 17 для глубины кювета.

В условиях равнинного рельефа, где водоотвод затруднен, глубина резерва должна обеспечивать осушение основания насыпи (т. е. естественного грунта под насыпью) и нижней части насыпи. Возвышение бровки полотна над дном резерва следует принимать по табл. 18.

Таблица 18

Род грунта земляного полотна	При ширине земляного полотна	
	более 11 м	11 м и менее
Песок, супесок	1,0 — 1,2	0,8 — 1,0
Суглинок и глина	1,2 — 1,8	1,0 — 1,5
Пылеватый суглинок, пылеватый грунт	1,5 — 2,0	1,2 — 1,8

НБ УДУ ЧТ (ДІІТ)

Откосы резервов устраиваются крутизной 1 1,5. Для стока воды дну резерва придается уклон 2 — 3% в сторону от земляного полотна, а при широких резервах (более 6 м) к середине резерва (рис. 66). Продольный уклон дна резерва делается от 0,3 до 2%. Внутренний откос резерва служит обычно продолжением откоса насыпи (см. рис. 46). Если разница отметок

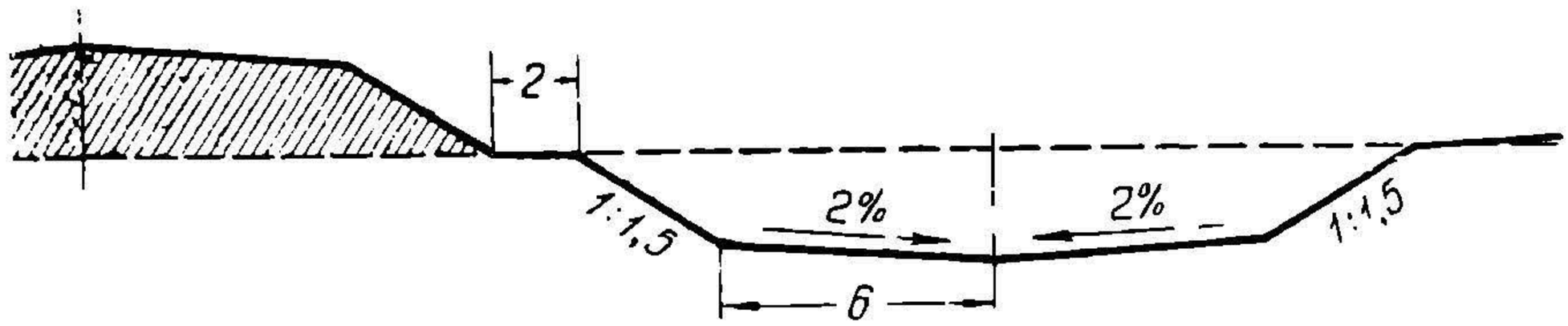


Рис. 66. Очертание дна резерва шириной более 6 м (двухсторонний скат).

бровки земляного полотна и дна резерва превышает 2,0 м, то с целью увеличения устойчивости откоса устраивается берма или банкет шириной 2 м с уклоном поверхности в 2—3% в сторону резерва (рис. 67). При высоте насыпи более 6 м берма делается шириной не менее 4,0 м.

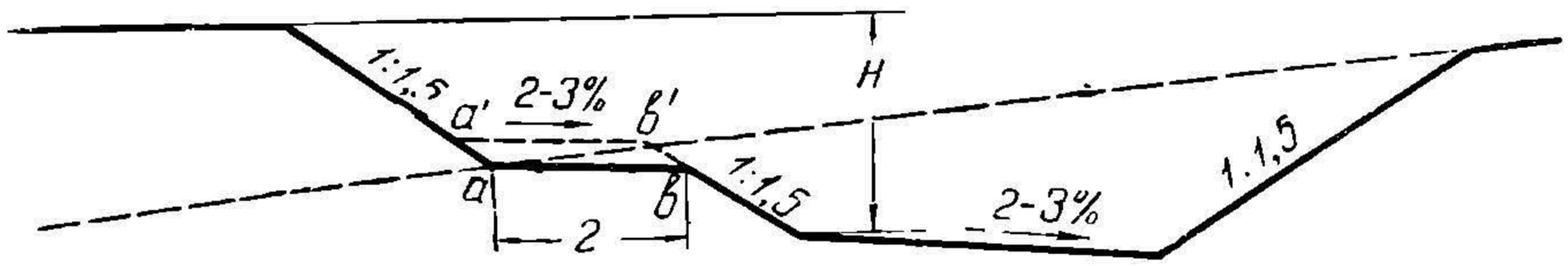


Рис. 67. Устройство бермы *ab* или банкета *a'b'* между насыпью и резервом при высоте насыпи более 2 м.

36. Габариты мостов

Габаритом моста называется предельное его очертание в поперечном разрезе, внутрь которого не должна вдаваться ни одна деталь моста. Для мостов с ездой по верху габарит (рис. 68, *а*) дает ширину проезжей части (между колесоотбойными брусьями) и полную ширину моста между перилами.

Для мостов с ездой по низу (рис. 68, *б*) габарит дает, кроме ширины, еще и высоту проезда. Ширина проезда на мосту для дорог III класса, как правило, делается 6,5 м, т. е. на 0,5 м больше, чем ширина проезжей части дороги. На дорогах I и II класса ширина проезда делается такой же, как ширина проезжей части дороги, т. е. 14 и 7 м. Это увеличение на дорогах III класса требуется потому, что некоторая часть кузовов и груза может свешиваться над обочиной, а на мосту этого допустить нельзя, так как к проезжей части непосредственно примыкают или ферма или тротуары.

На коротких мостах (для II и III класса 20 м и менее, а для I класса 100 м и менее) проезжая часть на мосту делается шире

НБ УДУНТ (ДІІТ)

нормальной (именно на 1,5 м у́же ширины земляного полотна), имея в виду гарантию достаточного простора движения без понижения скорости.

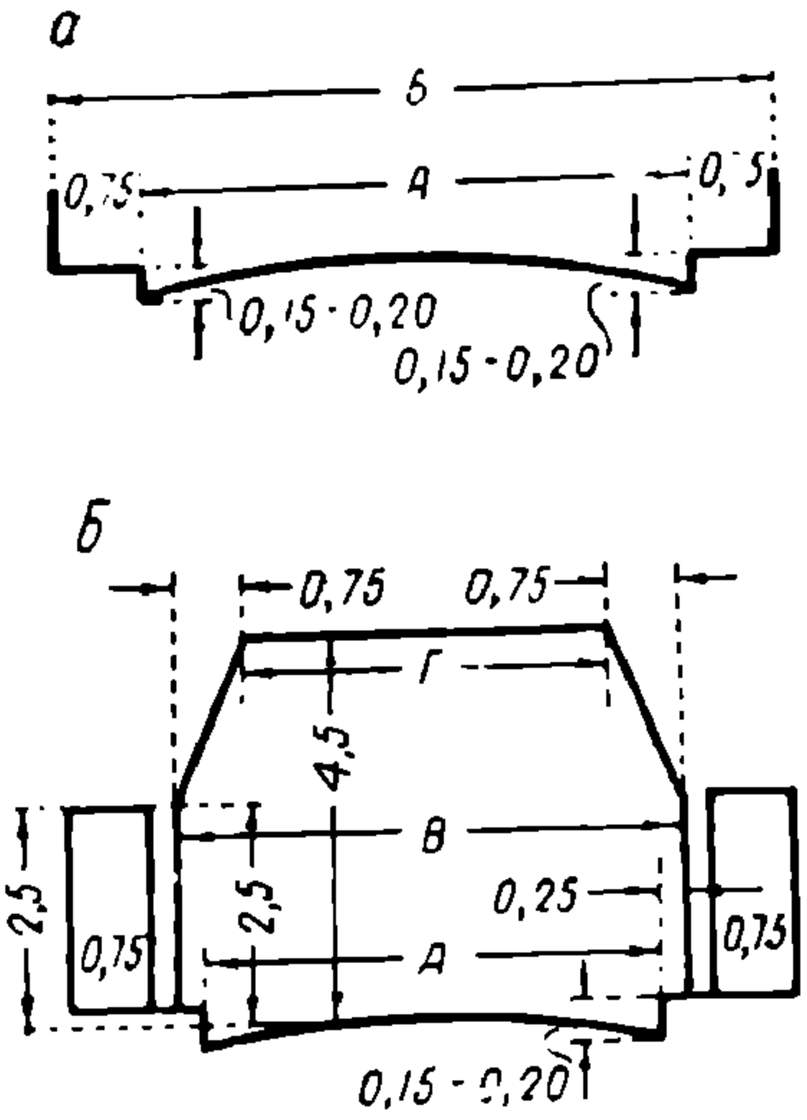


Рис. 68. Габариты мостов:
а — с ездой по верху, *б* — с ездой по низу.

Таким образом, если, например, на дороге II класса ширина земляного полотна 11 м, а проезжей части 7 м, то ширина проезда по мосту длиной более 20 м делается 7 м, а моста длиной 20 м и менее — 9,5 м.

Габариты в этом случае условно обозначаются — соответственно Г-7 и Г-9,5. Аналогично на дорогах I класса применяются габариты Г-14 и Г-16,5, а на дорогах III класса — Г-6,5 и Г-8,5. На дорогах II и III класса в горной местности применяется габарит Г-6,5 независимо от длины моста.

Нормальный габарит, размеры которого указаны на рис. 68, *б*, пропускает грузовики, высота которых с грузом достигает 4,5 м. В случаях, если на дорогах предполагается движение двухэтажных автобусов или троллейбусов, габариты мостов с ездою по низу должны быть соответственно увеличены.

37. Гужевые и тракторные пути

Движение гужевого транспорта по скорости резко отличается от движения автомобилей, поэтому гужевые повозки мешают скоростному автомобильному движению и могут служить причиной аварий при встрече и обгоне. Движение тракторов на колесах с шипами и гусеницах разрушает покрытия автомобильных дорог. Поэтому гужевое и тракторное движение должны быть удалены с полотна автомобильных дорог. Для этой цели устраиваются тракторные пути на независимом дорожном полотне. Эти тракторные пути могут быть в отдельных случаях совмещены с существующими грунтовыми и гравийными дорогами совпадающего направления, а на отдельных участках устроены вновь, по техническим правилам, составленным в соответствии с особенностями движения тракторных поездов.

Гужевой транспорт также может быть перенесен на существующие дороги, обслуживающие местное движение совпадающего направления, а в отдельных случаях может быть пропущен по летнему пути, устраиваемому в пределах полосы отвода автомобильных дорог. С этой целью может быть использована

НБ УПУНТ (ДИТ)

временная грунтовая дорога, сооружаемая перед началом постройки автомобильной дороги для служебных перевозок в период постройки магистральной дороги.

38. Мотовелодорожки и тротуары

На пригородных участках дорог, вблизи крупных городов и промышленных центров, сильно развито пешеходное движение и езда на велосипедах и мотоциклах. Для удобства и безопасности движения на таких дорогах устраиваются отдельные мотовелодорожки и тротуары для пешеходов. Ширина велодорожки для проезда одного велосипеда достаточна 1 м, для мотоцикла 1,25 м. Для проезда двух велосипедов в одном направлении рядом или обгона необходима ширина не менее 2 м, а при движении в двух направлениях от 2 до 2,5 м (рис. 69-б и в. Разделение направлений движения на две полосы весьма желательно.

Рис. 69-а. Устройство велосипедной дорожки и тротуара.

Ширина тротуара требуется из расчета полосы для одного пешехода—0,75 м. При значительном движении ширина тротуара делается 1,5, или 2,25 м и более. Тротуар обычно отделяется от проезжей части дороги или велодорожек (рис. 69-в) поребриками или газонами и устраивается выше лотка проезжей части на 0,20—0,30 м. Для стока поверхностной воды поперечный профиль тротуаров делается односкатным с уклоном 2 — 3% в сторону лотка.

39. Насаждения на дорожной полосе

Зеленые насаждения деревьев и кустарника на дорожной полосе могут устраиваться с целью: а) декоративной — придания дороге красивого вида; б) защиты дороги от снежных заносов; в) маскировки дороги.

Декоративные насаждения устраиваются на туристских и курортных дорогах и пригородных участках с оживленным пешеходным и легковым движением. Для устройства насаждений

НБ УДУНТ (ДІІТ)

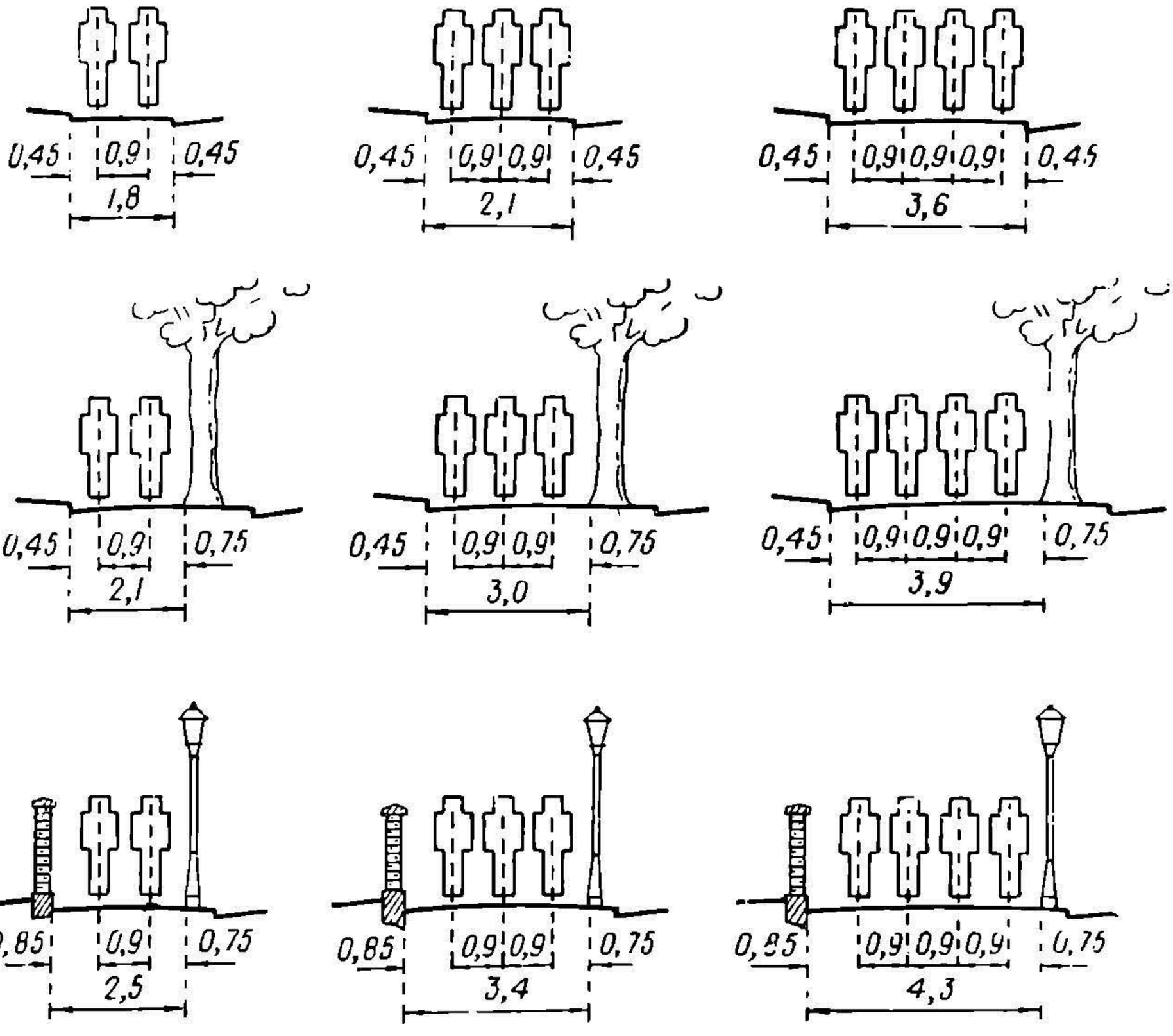
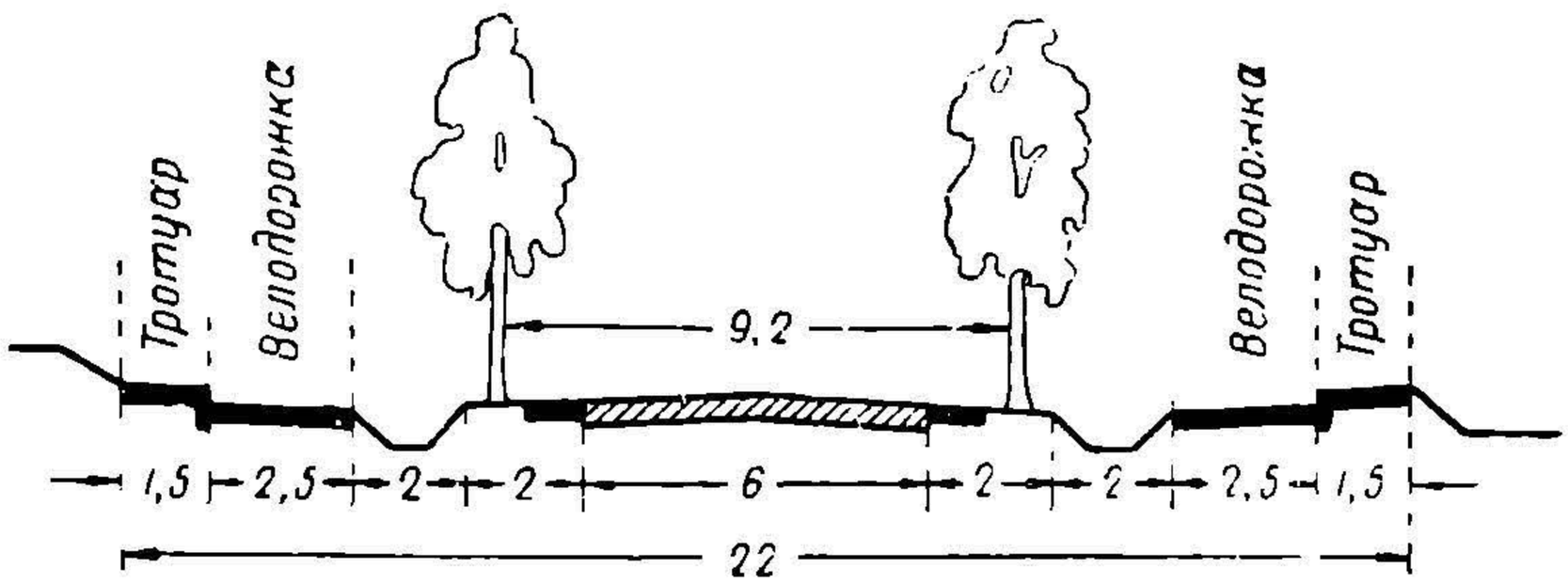


Рис. 69-б. Габариты велосипедной езды, применяемые в Дании.



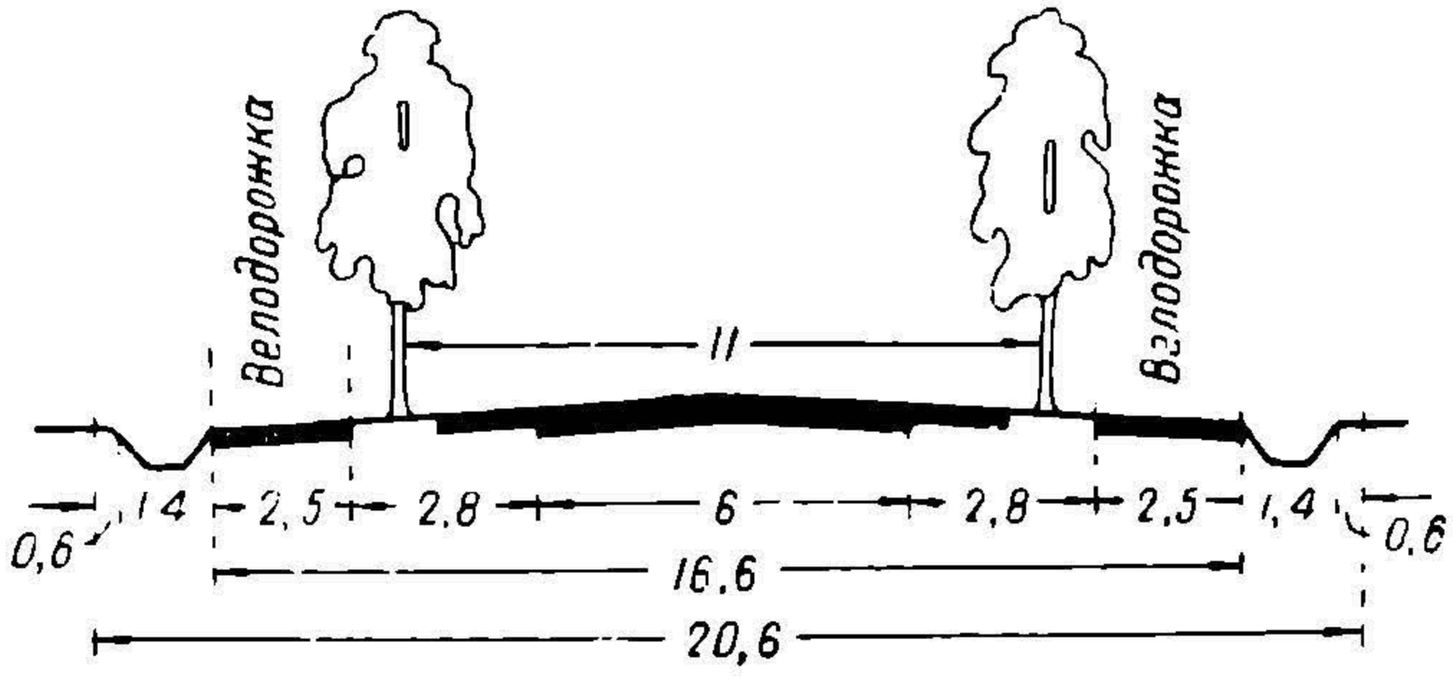


Рис 69-в. Поперечные профили дорог в Дании с велодорожками.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

пригодны высокоствольные деревья — дуб, клен, ясень, липа, береза и кустарники — кротекус, акация, шиповник (рис. 70).

Снегозащитные насаждения устраиваются широкой полосой и комбинируются из деревьев, имеющих крону, и кустарников, образующих густые заросли у поверхности земли. Ширина снегозащитной полосы 15 — 30 м.

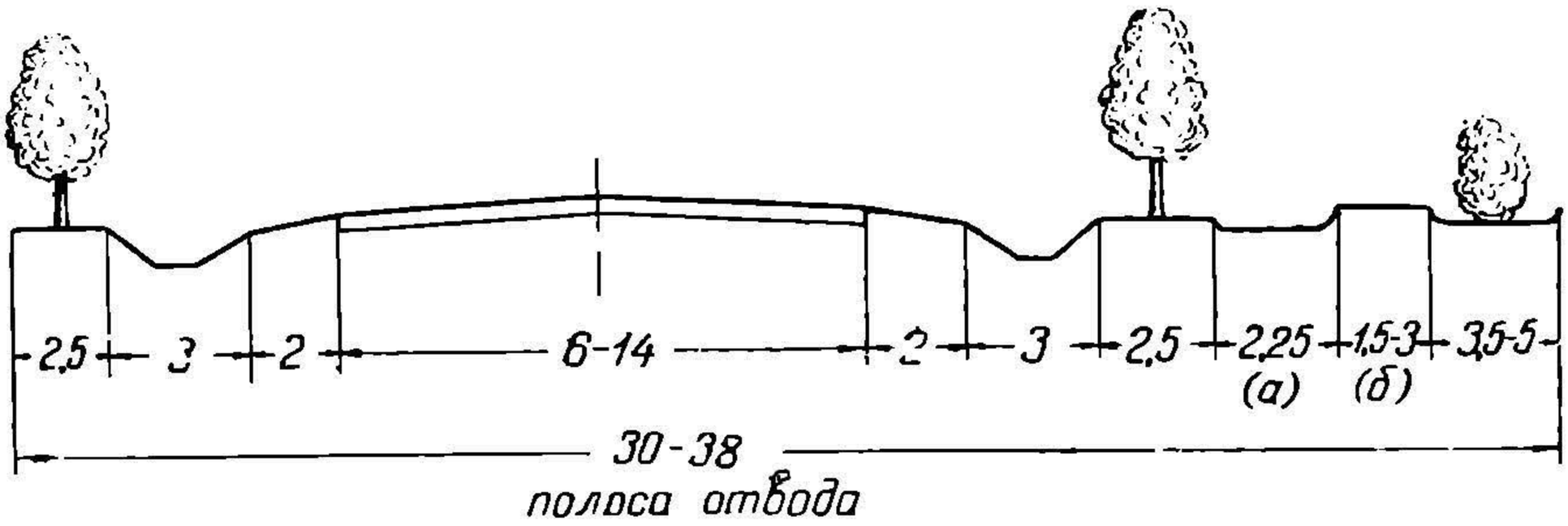


Рис. 70. Поперечный профиль дороги с насаждениями, дорожкой для велосипедов (*а*) и тротуаром (*б*).

40. Полоса отвода

Для устройства дороги отводится полоса земли, на которой размещаются все дорожные сооружения и которая находится в полном хозяйственном заведывании дорожных органов. Эта полоса называется полосой отвода (рис. 71). Части полосы отвода, находящиеся за пределами дорожного полотна и боковых кюветов, называются обрезами. На обрезах располагаются кавальеры, закладываются резервы и размещаются нагорные канавы и водоотводные планировки. Ширина полосы отвода для государственных автомобильных дорог назначается согласно табл. 19.

Таблица 19

Класс дороги	Ширина полосы отвода в м	Площадь отвода на 1 км дороги в га
Для дорог I класса .	48,0	4,8
„ II .	38,0	3,8
III .	30,0	3,0

В зависимости от действительной необходимости в отдельных местах ширина полосы отвода может быть увеличена за счет уменьшения в других местах, но отвод дорожной полосы должен быть выполнен так, чтобы не было ущерба для сельскохозяйственных земель, в особенности занятых под ценные культуры. Для размещения необходимых для службы эксплоатации дороги построек: жилых домов для ремонтеров и дорожных мастеров, гаражей и мастерских для стоянки и ремонта

НВ УДИТ (ДІТ)

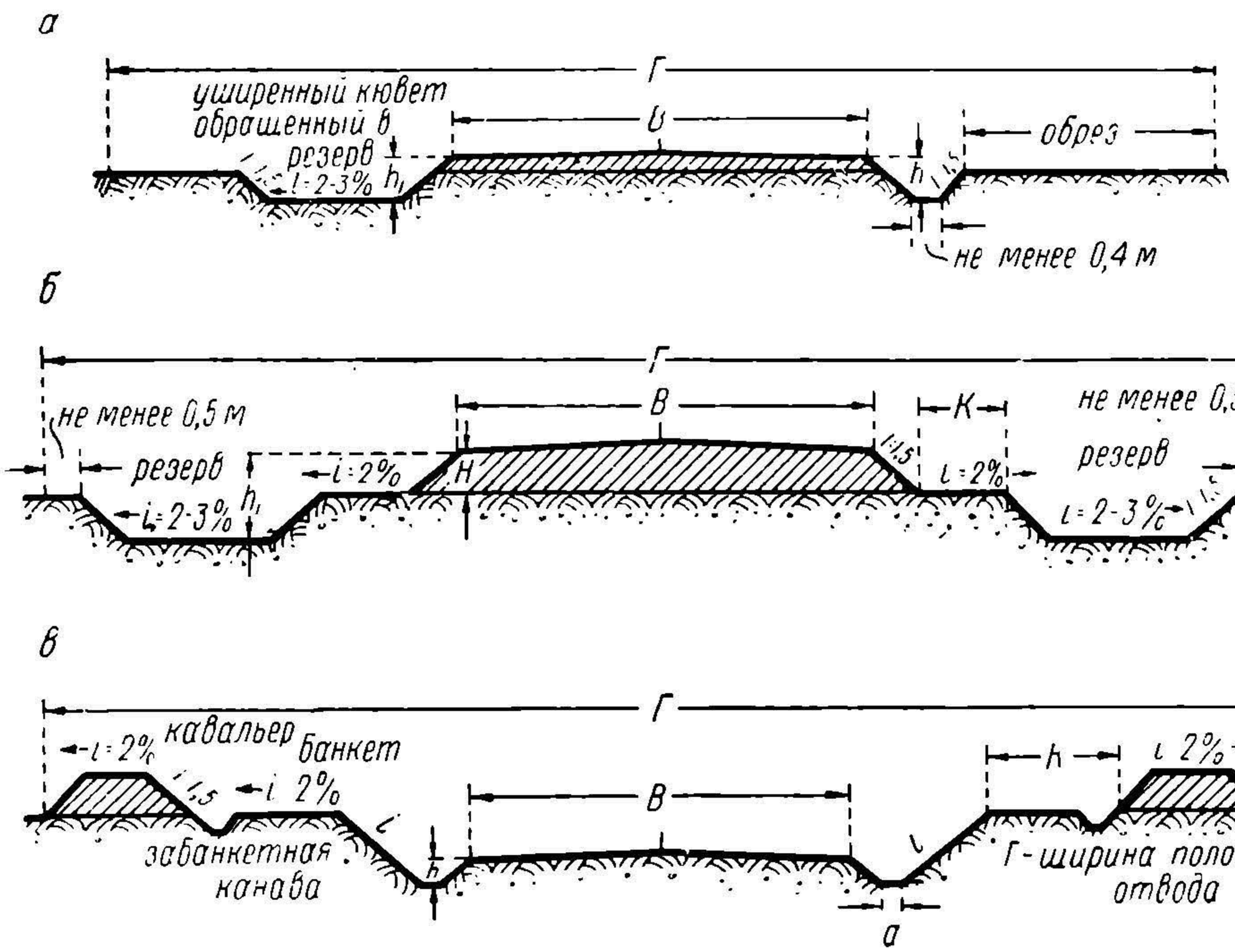


Рис. 71. Полоса отвода и расположение земляного полотна:
а — при незначительном возвышении бровки полотна; *б* — при насыпях с резервами; *в* — при выемках с кавальерами.

дорожных машин, а также для устройства больших резервов и кавальеров и устройства гужевого и тракторного пути, на основе утвержденных проектов, могут быть отведены дополни-

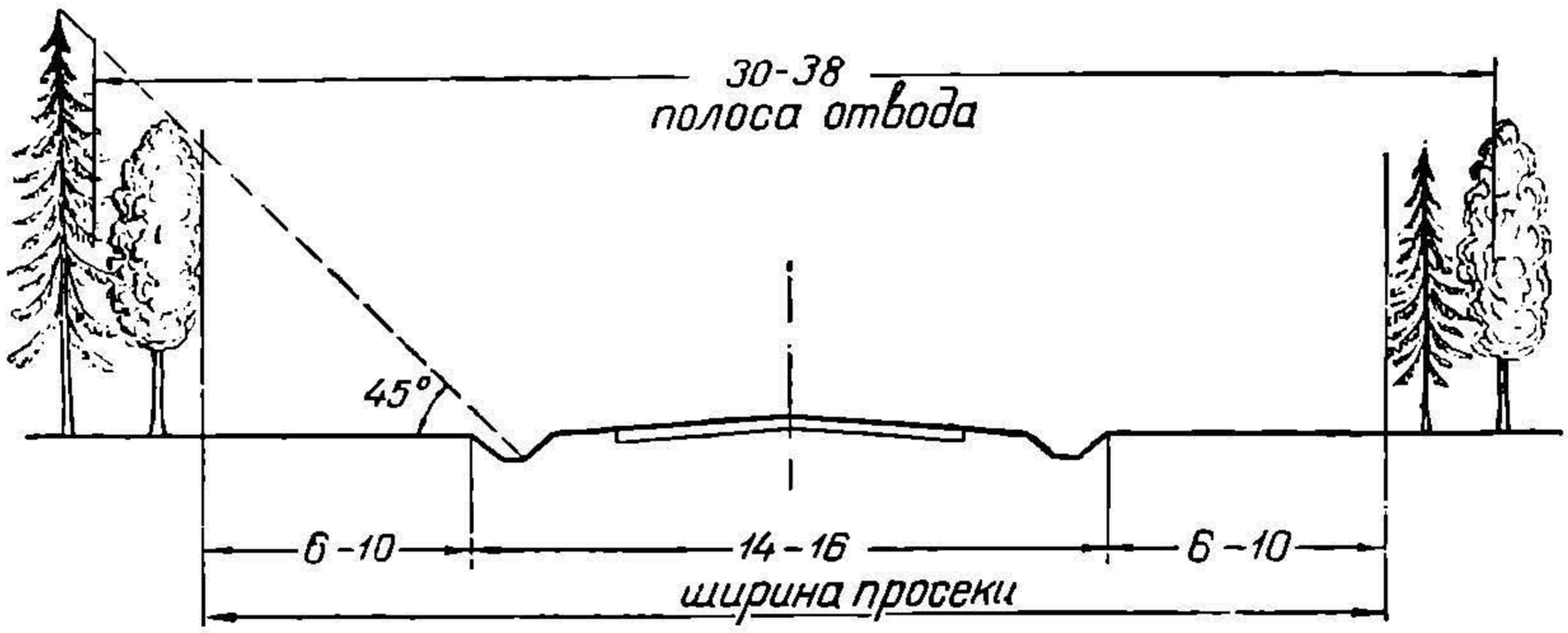


Рис. 72. Ширина просеки в сухих местах.

тельные участки земли. Установка временных снегозащитных ограждений (щиты, лапник) разрешается на землях смежных землепользователей. Для устройства защитных насаждений

НБ УДУНТ (ДІІТ)

(живых изгородей), также на основе проектов, может быть произведен дополнительный отвод земли.

В населенных пунктах ширина полосы отвода ограничивается линией застройки („красной чертой"). При прохождении дороги лесом ширина полосы отвода определяется шириной просеки. Ширина просеки зависит от высоты окружающего леса и гидрологических условий. В сухих местах ширина просеки может быть принята достаточной, если расстояние от основания откоса до края просеки не менее высоты леса (рис. 72).

В заболоченных местах в полосе отвода размещаются осушительные канавы и просека может быть уширена для лучшего проветривания и просушки дорожного полотна (рис. 73).

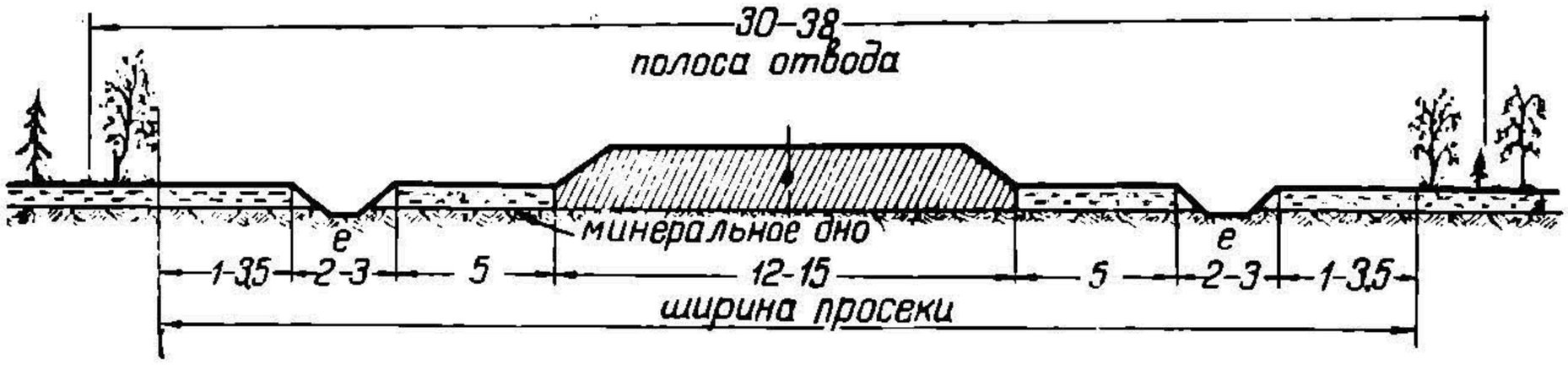


Рис. 73. Ширина просеки в заболоченных местах.

В период эксплоатации дороги обрезы используются для склада ремонтных материалов и устройства объездных путей.

В период постройки дороги на обрезе устраивается временная грунтовая дорога, необходимая для подвоза строительных материалов, связи участков строительства с управлением и прочих хозяйственных надобностей.

Оформление отвода дорожной полосы производится местными земельными органами на основе проекта, составляемого дорожными организациями и утверждаемого в установленном порядке.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ГЛАВА IV

РАСПОЛОЖЕНИЕ ДОРОГИ В ПЛАНЕ

41. Прямые и кривые

При проведении дороги между заданными пунктами прокладывать дорогу по кратчайшему направлению, т. е. по прямой — не всегда целесообразно. Между конечными заданными пунктами обычно имеется еще ряд промежуточных пунктов, так называемых контрольных точек (рис. 74). Эти контрольные точки могут

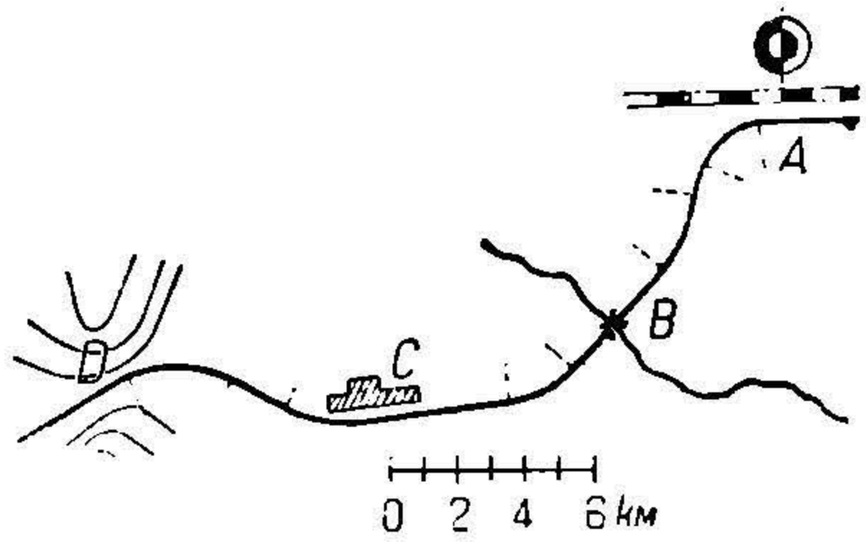


Рис. 74. Контрольные точки, определяющие общее направление дороги и заставляющие отклонить трассу от прямой линии.

A — заданное примыкание к железнодорожной станции; *B* — выбранное место для перехода реки; *C* — промышленный пункт; *D* — седло при перевале через хребет (показано горизонталями).

быть: 1) такими, через которые линия должна пройти, например, избранное место для перехода реки, проход в горах, в ущельи, перевал через седло между двумя возвышенностями, выбранное место пересечения с железной дорогой; 2) такими точками, которые линия должна обойти, например: глубокие болота, овраги, застроенные места. Из-за контрольных точек приходится отклоняться от прямого направления, вводить углы поворота и проходить ломаной линией.

На рис. 75 представлен план трассы[1] дороги II класса на участке длиной около 18 км. Кроме начального и конечного пунктов, контрольными точками являются наилучшее место перехода реки и селение (Майкопское). Для возможности проведения трассы по более благоприятному участку реки и для обхода селения даны углы *1*, *2* и *3*. Угол *4* дан для уменьшения земляных работ (с целью развития линии). Углы *5* и *6*

[1] Трассой называется положение оси дороги в пространстве; положение это вполне определяется двумя проекциями: горизонтальной (планом) и вертикальной (продольным профилем).

РБ УДУНТ (ДИТ)

даны для возможности примыкания к заданной конечной точке.

Особенно извилистой становится трасса в горной местности. Большие возвышенности, многочисленные и глубокие ущелья, крутые, неровные и во многих случаях неустойчивые склоны редко позволяют трассировать дорогу, даже на сравнительно коротких расстояниях, по прямым.

Поэтому в горной, а отчасти и в холмистой местности для уменьшения работ при сооружении дороги приходится преимущественно пользоваться долинами рек и их притоков, огибать возвышенности, отыскивать наиболее удобные места перевалов через горные хребты. Это заставляет в горной местности вместо одной прямой проходить извилистой линией со многими углами поворота (рис. 76).

Таким образом, проход между заданными конечными пунктами может быть осуществлен по одной прямой линии в исключительно благоприятных случаях (равнина, плато, отсутствие контрольных точек). В большинстве случаев ось дороги в плане состоит из ряда отрезков прямых, соединенных между собой дугами круга для возможности плавного перехода с одной прямой на другую (рис. 77). Точки *B, C, D* называются вершинами углов, дуги *ab, cd* — закруглениями, участки между ними—прямыми. В некоторых случаях дороги примыкают одна к другой и пересекаются непосредственно под углом; например, городские улицы обычно пересекаются под прямыми углами. Однако и в этом последнем случае автомобиль изменяет свое направле-

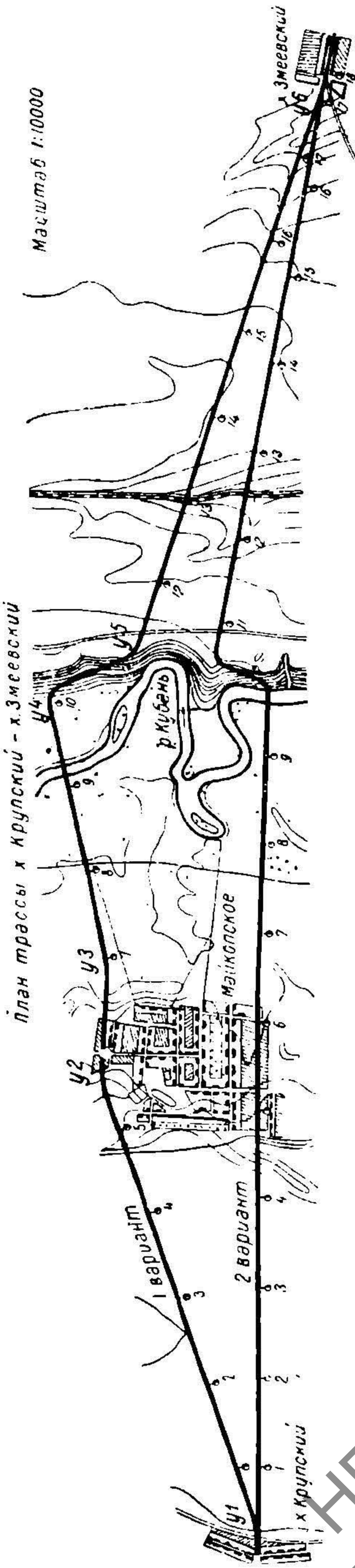


Рис. 75. План трассы дороги II класса.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ние постепенно и фактическая траектория движения представляет собой плавную кривую.

Каждое закругление (рис. 77) характеризуется величиной угла поворота при вершине и радиусом. Чем больше длина

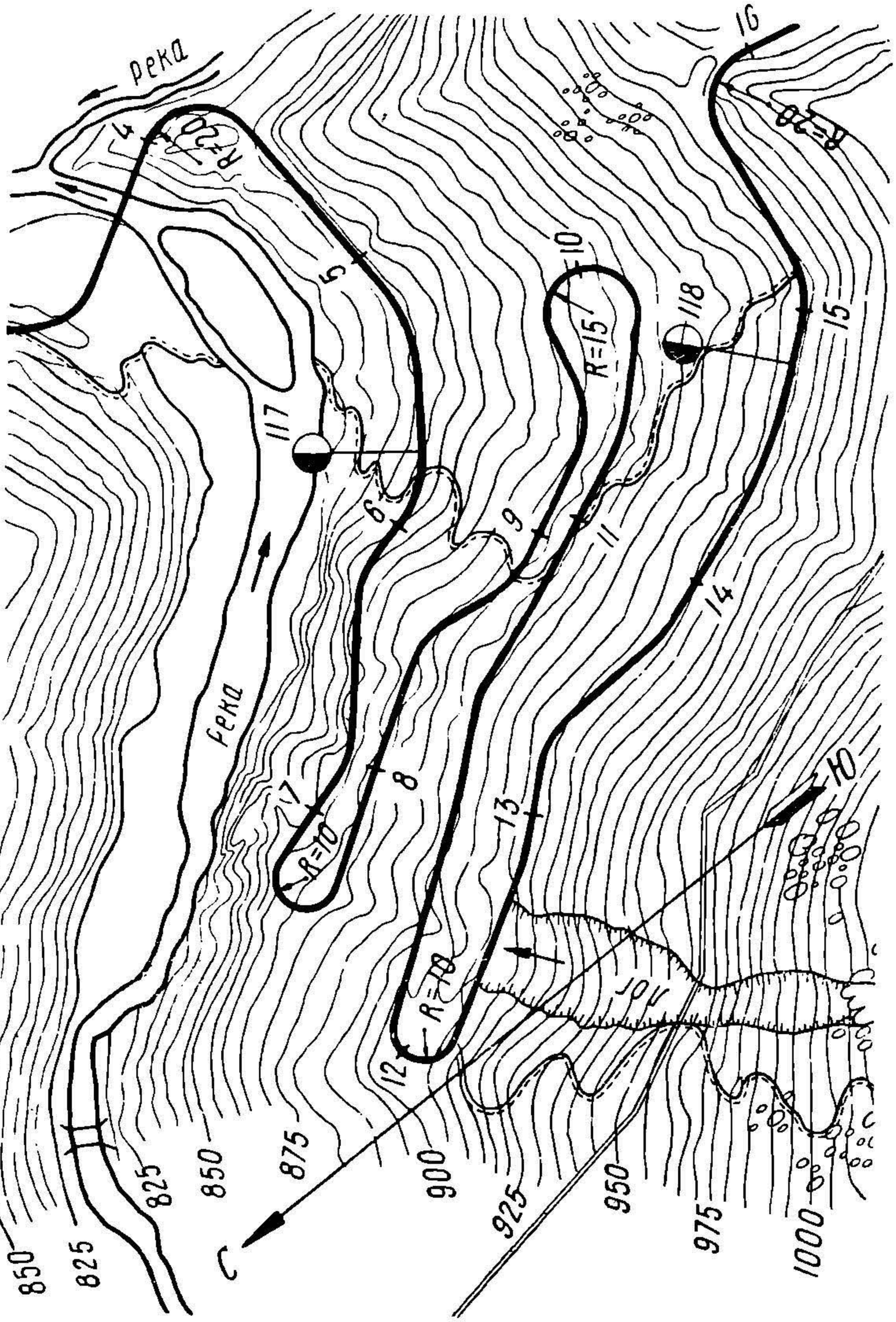


Рис. 76. План участка дороги в горной местности.

закругления при одном и том же угле, т. е. чем больше радиус, тем более постепенно происходит поворот автомобиля. Закругления больших радиусов называют пологими, а малых — крутыми.

Кроме постепенности поворота автомобиля, с увеличением

НБ УДУНТ (ДІІТ)

радиуса сокращается общая длина пути, проходимого автомобилем, как это видно на рис. 78.

Длина пути между точками A и B по кривой радиуса R_1

$$S_1 = \frac{\pi R_1 \alpha}{180}.$$

Длина пути $ABCD$ по кривой радиуса $R_2 < R_1$

$$S_2 = 2\,(R_1 - R_2)\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2} + \frac{\pi R_2 \alpha}{180}$$

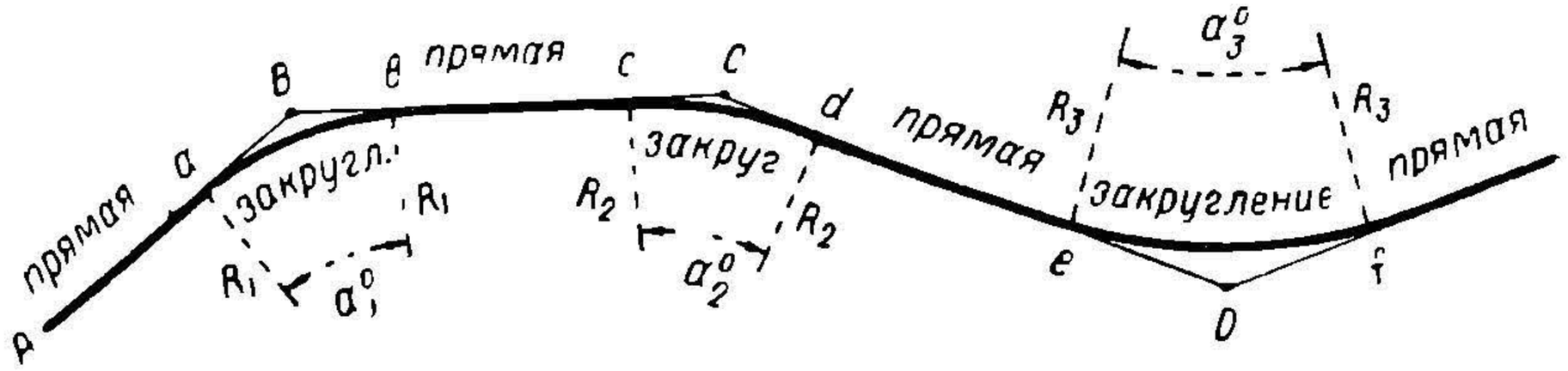


Рис. 77. План участка трассы с прямыми и закруглениями.

Сокращение длины

$$\Delta S = S_2 - S_1 = (R_1 - R_2)\left(2\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2} - \frac{\pi\,\alpha}{180}\right)$$

тем больше, чем больше разность $R_1 - R_2$ и чем больше угол α. Так например, для $\alpha = 90°$ и при увеличении радиуса с 200 до 500 м, сокращение $\Delta S = (500 - 200)\ \ (2 - 1{,}57) = 129$ м.

Наличие закруглений ухудшает условия движения на дороге:

1. При переходе от прямого участка дороги к кривой управление автомобилем осложняется, так как требуется дать соответствующий поворот колесам, иначе возможен вынос автомобиля на полосу проезжей части, предназначенную для встречного движения, а при больших скоростях — даже и за пределы проезжей части.

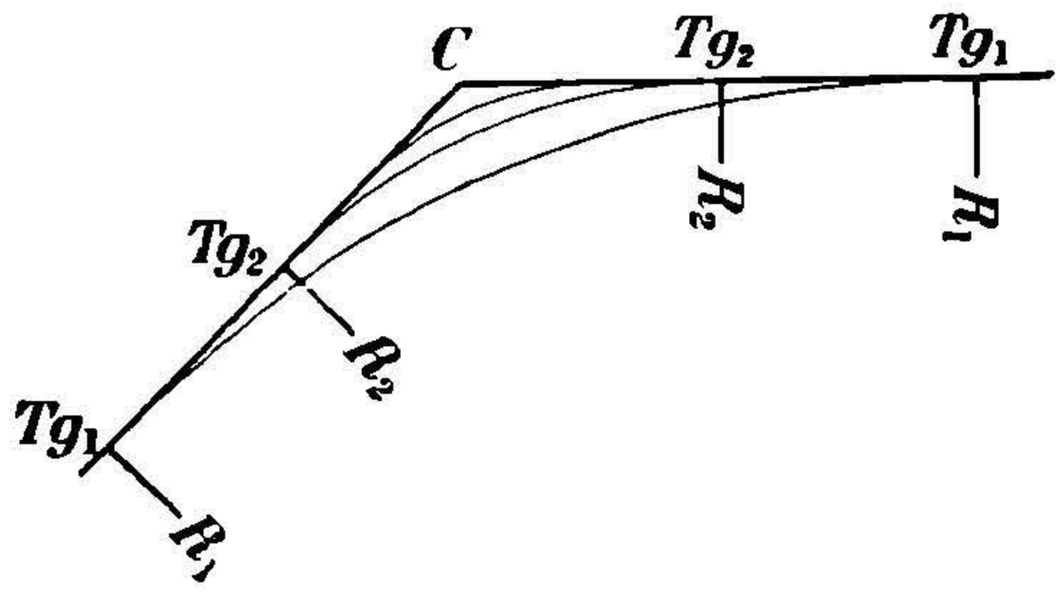


Рис. 78. Сокращение длины пути при увеличении радиуса.

2. При движении по кривой автомобиль находится под действием центробежной силы, нормальной к траектории движения; центробежная сила при большой скорости движения, малом радиусе кривой и гладком покрытии дороги может вызвать скольжение и занос автомобиля вбок, а при некоторых условиях и опрокидывание его, например при высоко расположенном центре тяжести.

3. Видимость пути на поворотах в выемках, в лесу, в застроенной местности ухудшается; этим увеличивается опасность наезда на людей и столкновения автомобилей между собой.

НТБ УДУНТ (ДИТ)

Поэтому закругления представляют неудобные, а иногда и опасные участки трассы. Эта опасность увеличивается с возрастанием скорости и с увеличением крутизны поворотов. Для удобного и безопасного прохождения автомобилей на закруглениях применяют: а) возможно большие радиусы; б) смягчение подъемов; в) уширение проезжей части; г) односкатный поперечный профиль и переходы к нему или так называемые виражи; д) переходные кривые; е) срезку откосов, рубку леса и кустарника и снос отдельных строений.

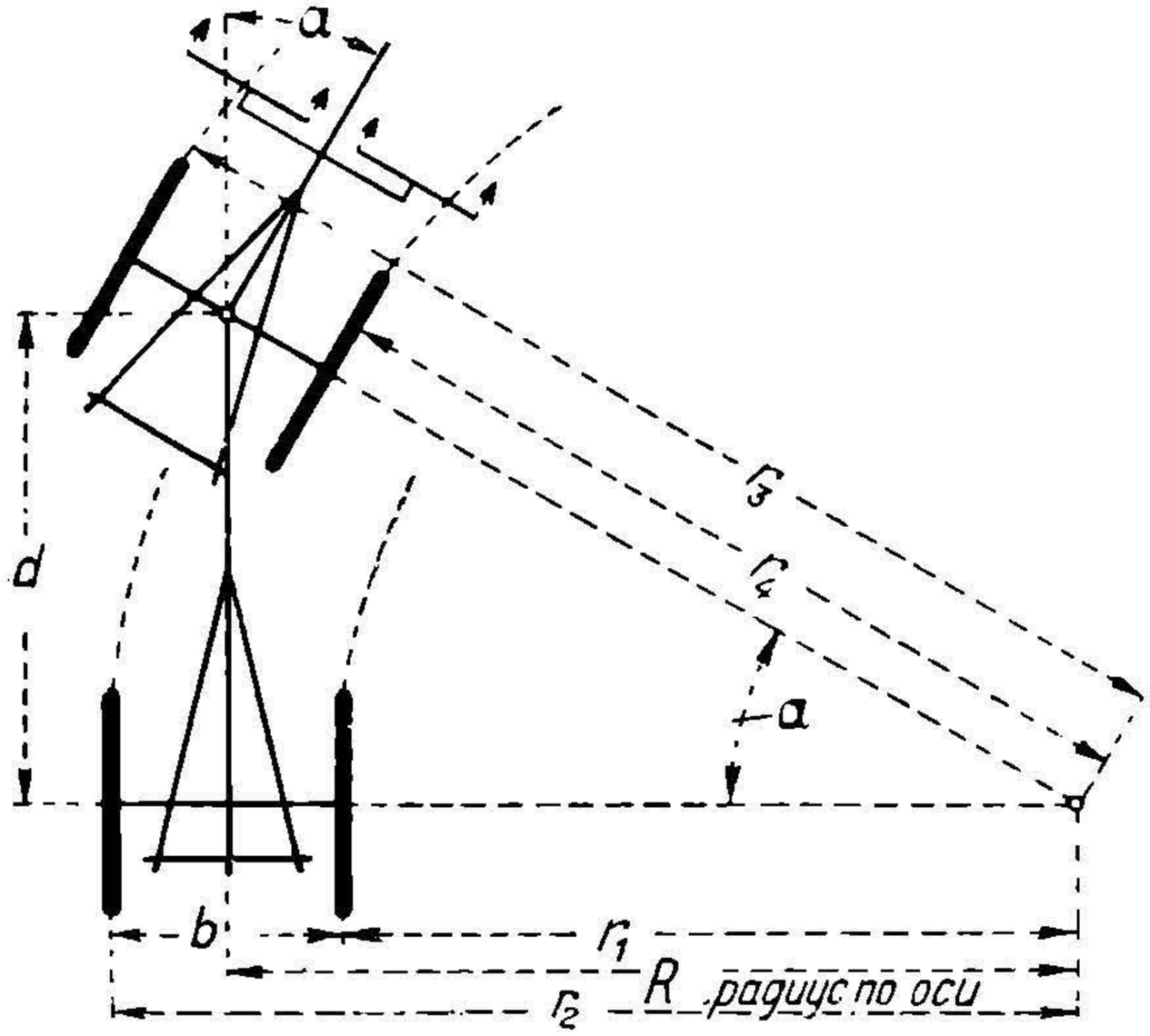


Рис. 79. Схема поворота повозки с пароконной упряжкой в дышле:

R — основной радиус закругления; d — расстояние между осями (база); b — ширина хода; α — угол поворота дышла; r_1, r_2, r_3, r_4 — радиусы траекторий отдельных колес.

В некоторых случаях, на кривых малого радиуса, когда безопасность движения с расчетной скоростью не может быть гарантирована надлежащим устройством дороги, приходится ставить на дороге предупредительные знаки об уменьшении на этих кривых скорости движения. Эта необходимость уменьшения нормальной скорости понижает качество дороги.

42. Движение автомобиля по кривой (кинематика движения)

Поворот экипажей для разных родов тяги совершается различно. При гужевой тяге поворот производится лошадью; передняя ось (рис. 79) становится под углом к задней. От расстояния между осями d и величины наибольшего угла α зависит наименьший радиус поворота R. В легковых экипажах угол α может быть доведен до 90°, но практически к такому повороту, ввиду неудобного положения лошади по отношению к экипажу, прибегают только в редких случаях.

У автомобилей передние колеса могут быть поставлены под углом к оси, с которой они соединены шарнирами (рис. 80). Такая ось называется разрезной, а колеса называются напра-

НВ УДУНТ (ДІІТ)

вляющими или управляемыми. Для того чтобы при проходе по закруглению колеса катились без поперечного скольжения, необходимо, чтобы они перемещались по дугам окружностей, описанным вокруг некоторого центра K, общего для передних и задних колес. Все четыре колеса пойдут при этом по разным траекториям. Передние колеса поворачиваются на разные углы γ_1 и γ_2.

Обозначая расстояние между осями или так называемую базу автомобиля — L, расстояние между колесами или ширину хода — B, получим (рис. 80)

$$L = KM \operatorname{tg} \gamma_1;$$

$$L = KN \operatorname{tg} \gamma_2;$$

$$L (\operatorname{ctg} \gamma_1 - \operatorname{ctg} \gamma_2) = KM - KN = B;$$

$$\operatorname{ctg} \gamma_1 - \operatorname{ctg} \gamma_2 = \frac{B}{L}.$$

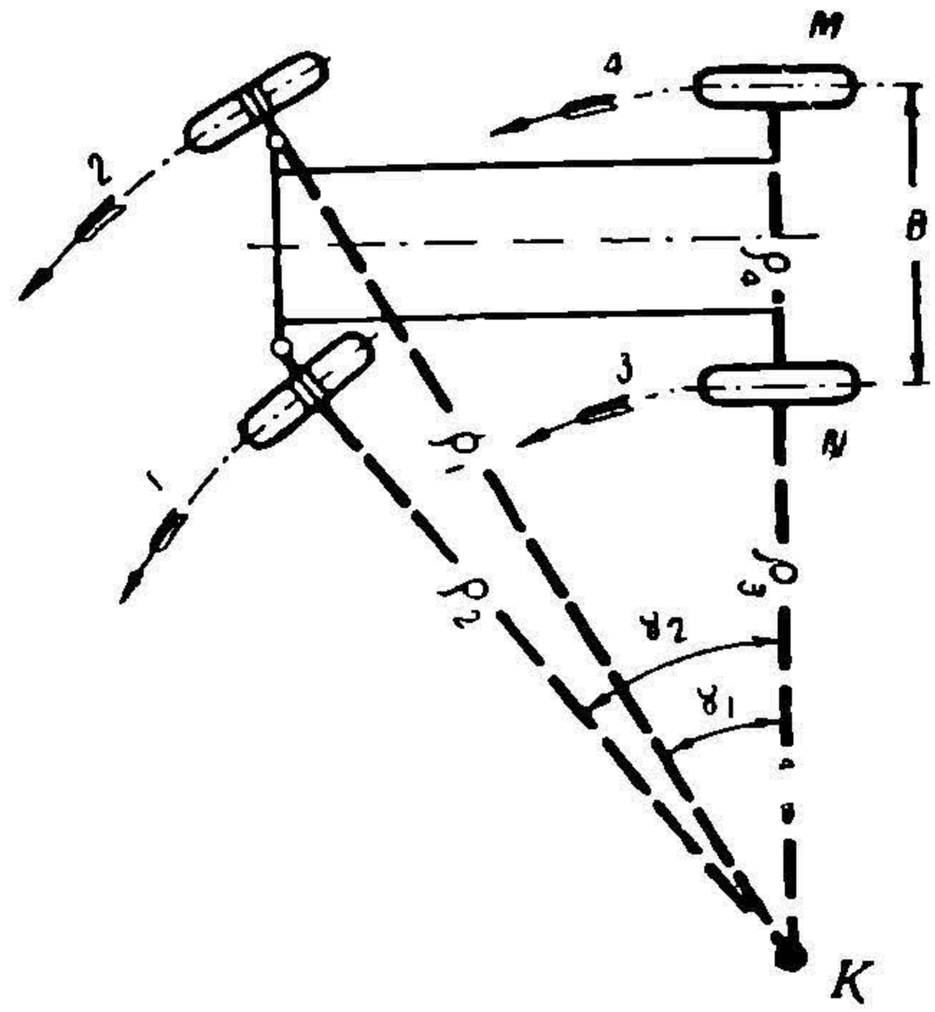


Рис. 80. Схема поворота двухосного автомобиля:

B — ширина хода; K — центр вращения; γ_1, γ_2 углы поворота передних колес; ρ_1, ρ_2, ρ_3, ρ_4 — радиусы поворота отдельных колес.

Только при таком, вполне определенном, соотношении между углами поворота движение направляемых колес будет происходить без скольжения, а весь автомобиль будет вращаться вокруг мгновенного центра K.

Для выполнения этого условия разрезанные части оси (поворотные цапфы) соединены между собой и с рулевой тягой системой рычагов (рис. 81), называемой трапецией Жанто. Условие выполняется при этом с некоторым приближением.

Максимальные углы поворота цапф γ_1 и γ_2 не превышают 40—45°. У тракторов и у прицепных повозок передняя ось делается неразрезной. У трехосных автомобилей (рис. 82) чаще всего передняя ось делается разрезной, а центр вращения находится на прямой, лежащей посредине двух задних осей.

Из рис. 80—81 видно, что радиус поворота автомобиля определяется углами поворота передних колес и соответствующим углом поворота штурвального колеса. При этом условии можно определить средний радиус поворота R, относящийся к центру тяжести кузова, а также некоторый угол поворота γ, средний для обоих направляемых колес. Чем меньше радиус закругления R, тем больше этот угол поворота γ. При переходе автомобиля с прямой на закругление шофер начинает поворачивать штурвальное колесо до положения, соответствующего радиусу поворота. Это вращение происходит не сразу, а постепенно[1]. Авто-

[1] Подробный анализ см. Эрлих. „Рулевое управление автомобиля". Госмашметиздат, 1934 г., § 1 и 2.

РБ УДУНТ (ДИТ)

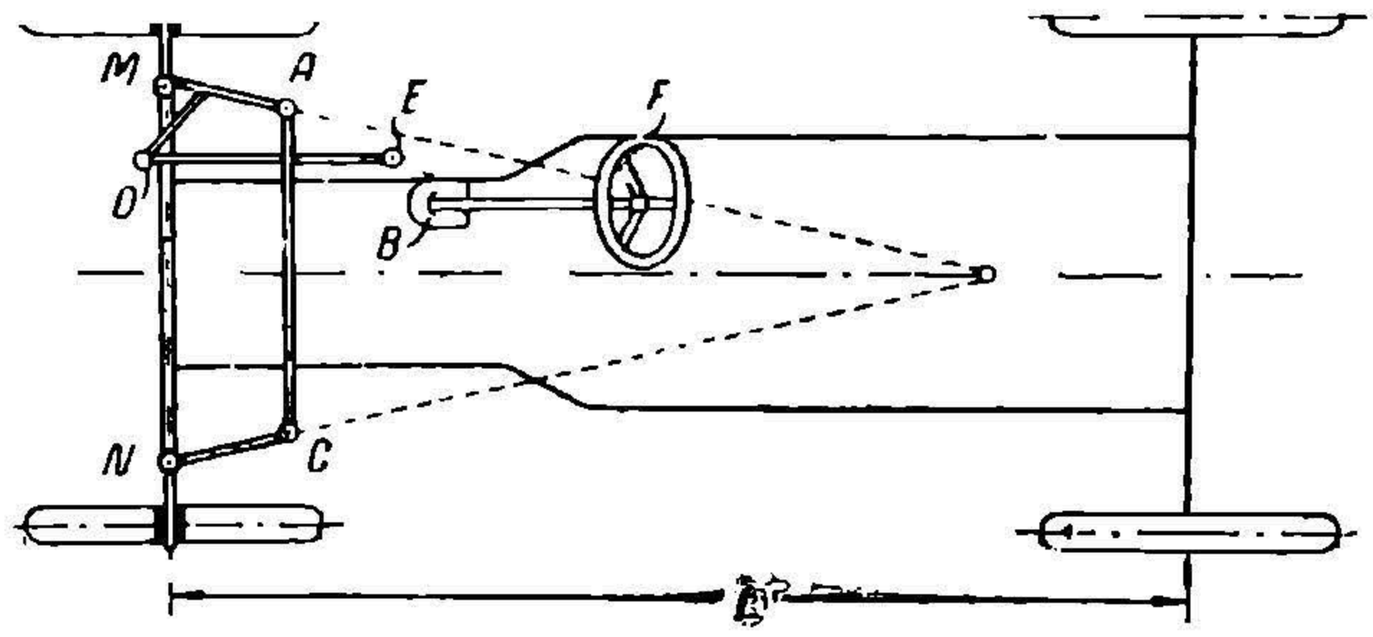
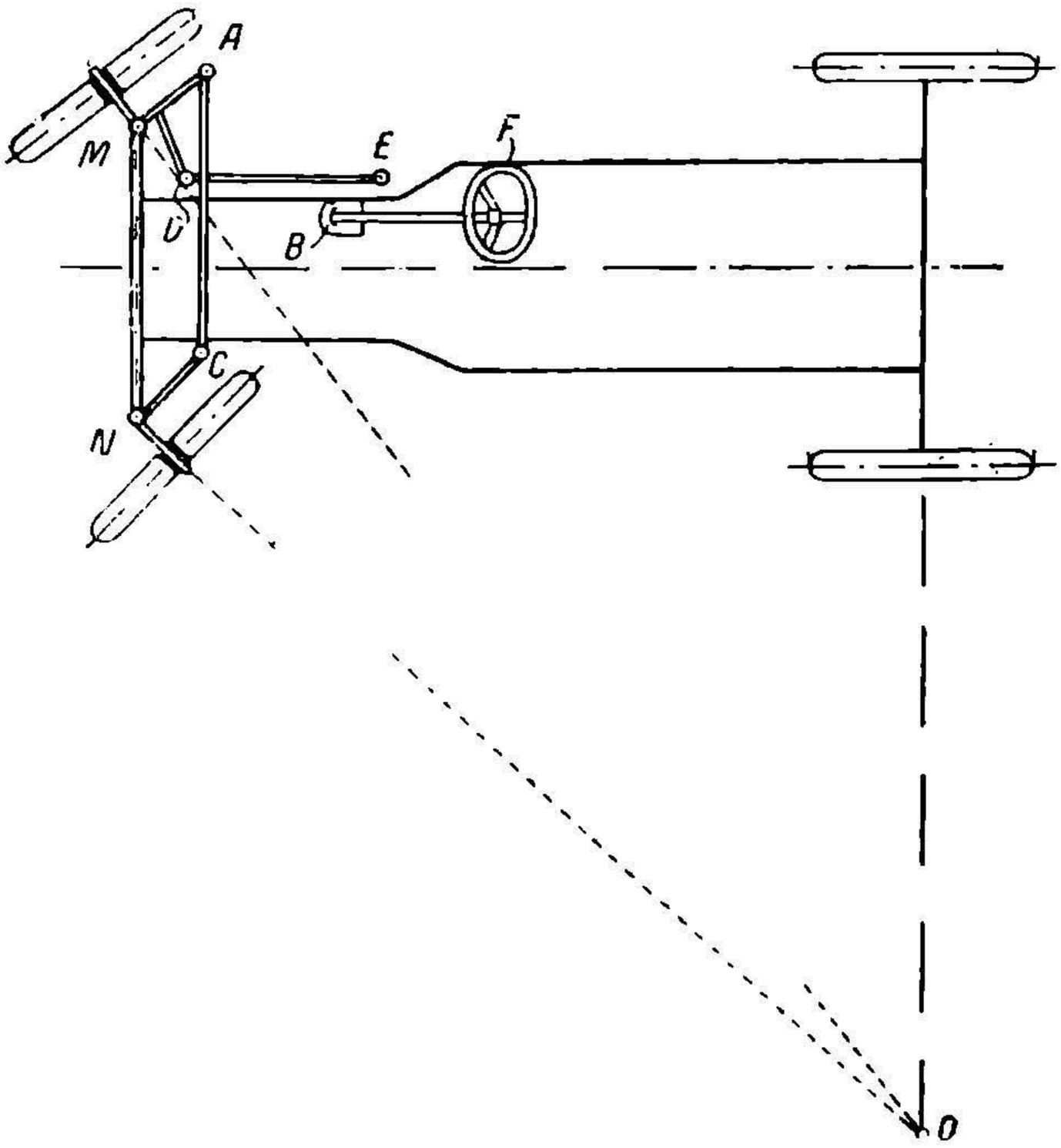


Рис. 81. Схема рулевого управления:

F — штурвал или рулевое колесо; *B* — передача; *ED* — рулевая тяга; *ACNM* — трапеция Жанто. На нижней фигуре колеса и трапеция показаны в повернутом положении.



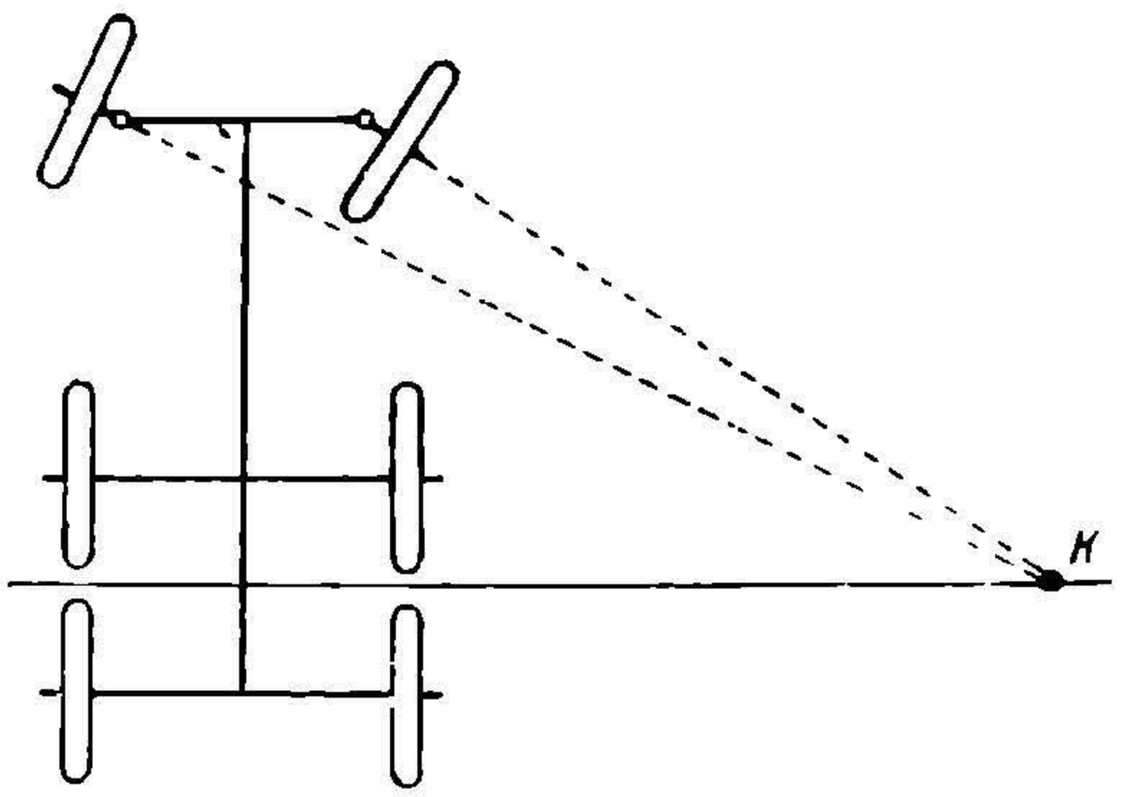


Рис. 82. Схема поворота трехосного автомобиля с направляемыми колесами на передней оси.

НВ УДУНТ (ДІІТ)

мобиль успевает пройти некоторый путь по кривой с постепенно уменьшающимся радиусом (рис. 83), а центр вращения из бесконечности приближается к некоторому положению K_R, соответствующему радиусу закругления R.

Движение автомобиля по закруглению можно условно рассматривать как плоское движение твердого тела.

Как излагается в кинематике [1], это движение происходит таким образом, что линия, представляющая геометрическое место мгновенных центров, связанных с планом автомобиля (подвижная центроида или серполоида), катится без скольжения по другой кривой, представляющей геометрическое место мгновенных центров на плоскости дороги (неподвижная центроида или полоида). В нашем случае, как видно из рис. 83, подвижная центроида представляет прямую, совпадающую с задней осью автомобиля. Неподвижная полоида в пределах перехода автомобиля с прямого пути на закругление представляет некоторую кривую.

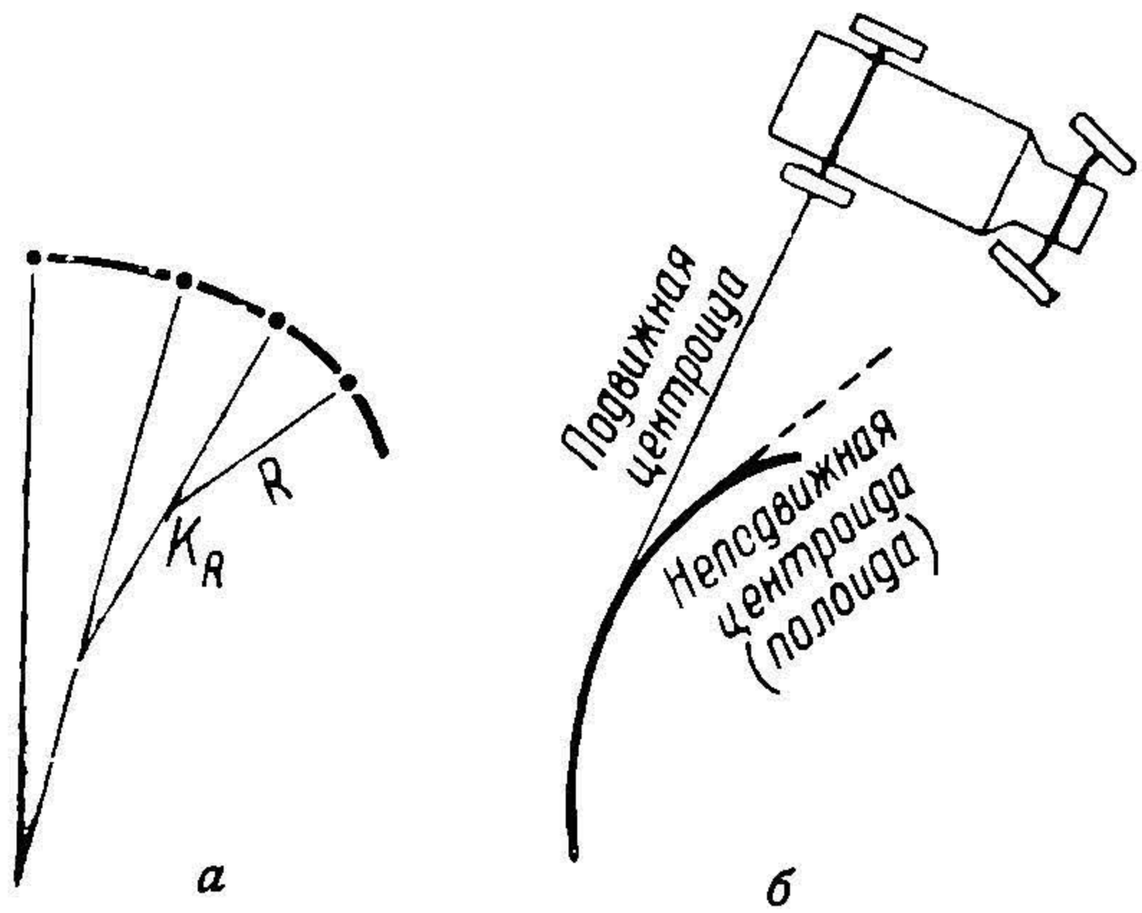


Рис. 83. Движение автомобиля:

а — расположение центров вращения при переходе автомобиля с прямой на закругление; *б* — неподвижная и подвижная центроида вращения автомобиля.

На рис. 84 представлены различные приемы перехода автомобиля с прямой на закругление. Как видно из этого рисунка, очертание траектории движения автомобиля, вообще говоря, не совпадает с очертанием дорожного закругления. Для правильного поворота требуется применение на закруглении уширения с внутренней стороны (§ 70) и переходных кривых (§ 71).

В каждой точке траектория автомобиля характеризуется кривизной

$$\frac{\Delta\alpha}{\Delta S} = \frac{180^\circ}{\pi\rho} = \frac{57{,}3^\circ}{\rho};$$

здесь $\Delta\alpha$ — элементарный угол поворота на длине дуги ΔS, ρ — радиус кривизны в данной точке. Величина 57,3 называется радианом и представляет угол, для которого длина дуги окружности равна радиусу. Кривизну можно измерять величиной угла поворота в градусах на погонный метр пути. Величина

[1] Проф. Е. Л. Николаи. Лекции по теоретической механике, 1934 г., часть 1, § 103, „Центроиды". Эрлих. „Рулевое управление", стр. 6—7.

НБ УДУНТ (ДИТ)

угла поворота в единицу времени, например число градусов в секунду, представляет угловую скорость движения:

$$\frac{\Delta \alpha}{\Delta t} = \omega.$$

Отсюда при равномерном движении с постоянной скоростью

$$v = \frac{S}{t} \text{ м/сек.} = \frac{V}{3{,}6} \text{ км/час;}$$

$$\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t} = \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{57{,}3}{\rho} \cdot \frac{V}{3{,}6} = \frac{16\,V}{\rho}.$$

Так например, при $V = 60$ км/час; $R = 100$ м;

$$\omega = \frac{16 \cdot 60}{100} = 9{,}6 \text{ град/сек.} = 1{,}6 \text{ об/мин.}$$

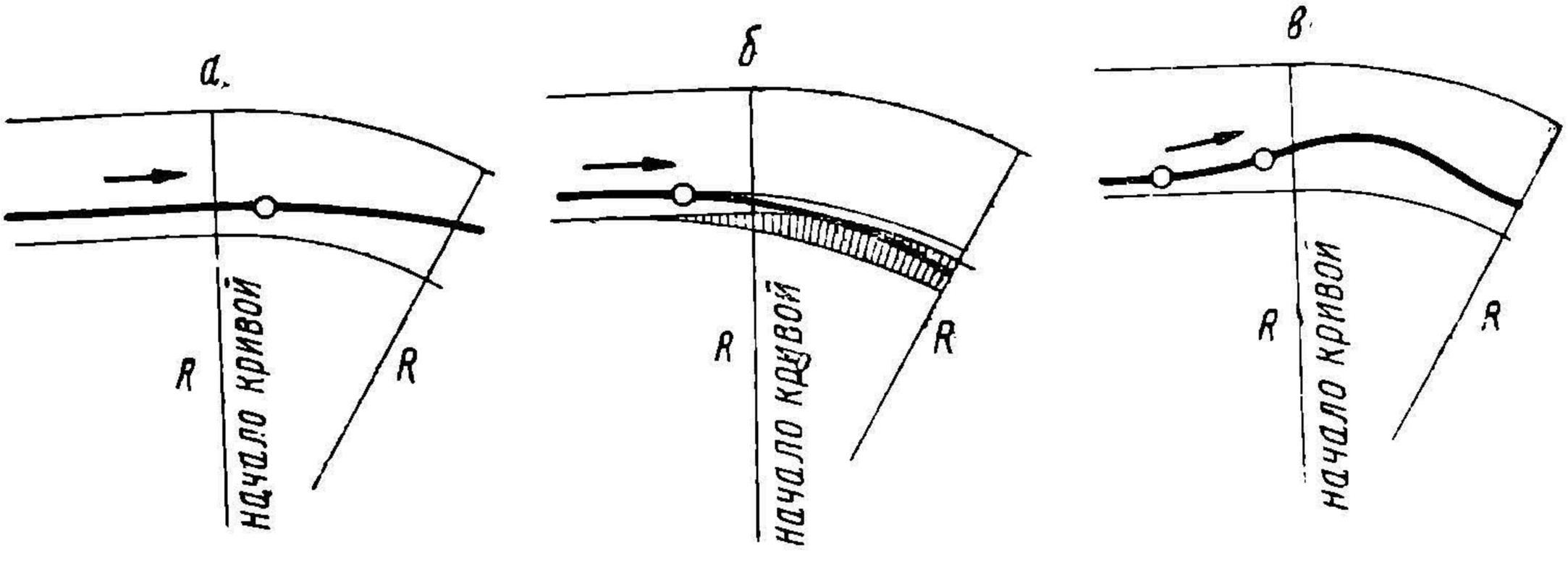


Рис. 84. Положение траектории движения центра автомобиля на дорожном закруглении:

а — поворот штурвала начинается поздно, на кривой; автомобиль направляется к внешней стороне кривой; *б* — поворот начинается рано на прямой; для прохода требуется уширение дороги с внутренней стороны; *в* — движение на дороге без уширения; траектория представляет обратные кривые.
Кружок обозначает начало вращения рулевого штурвала.

Угловая скорость зависит, таким образом, от поступательной скорости и от радиуса закругления.

В начале поворота угловая скорость возрастает постепенно от нуля, а угловое ускорение зависит от быстроты вращения штурвала.

43. Зависимость радиуса закругления от скорости (динамика движения автомобиля на кривой)

В § 41 было указано, что закругления представляют опасные места пути при движении автомобиля с большой скоростью. Действие центробежной силы может вызвать скольжение автомобиля вбок — занос, а при некоторых условиях его опрокидывание.

НТБ УДУИТ (ДІІТ)

Автомобиль при движении на закруглении (рис. 85) находится под действием следующих сил:

1. Собственного веса Q, направленного вертикально.

2. Центробежной силы $C = \frac{Qv^2}{gR}$ направленной горизонтально (нормально к оси Z вращения автомобиля).

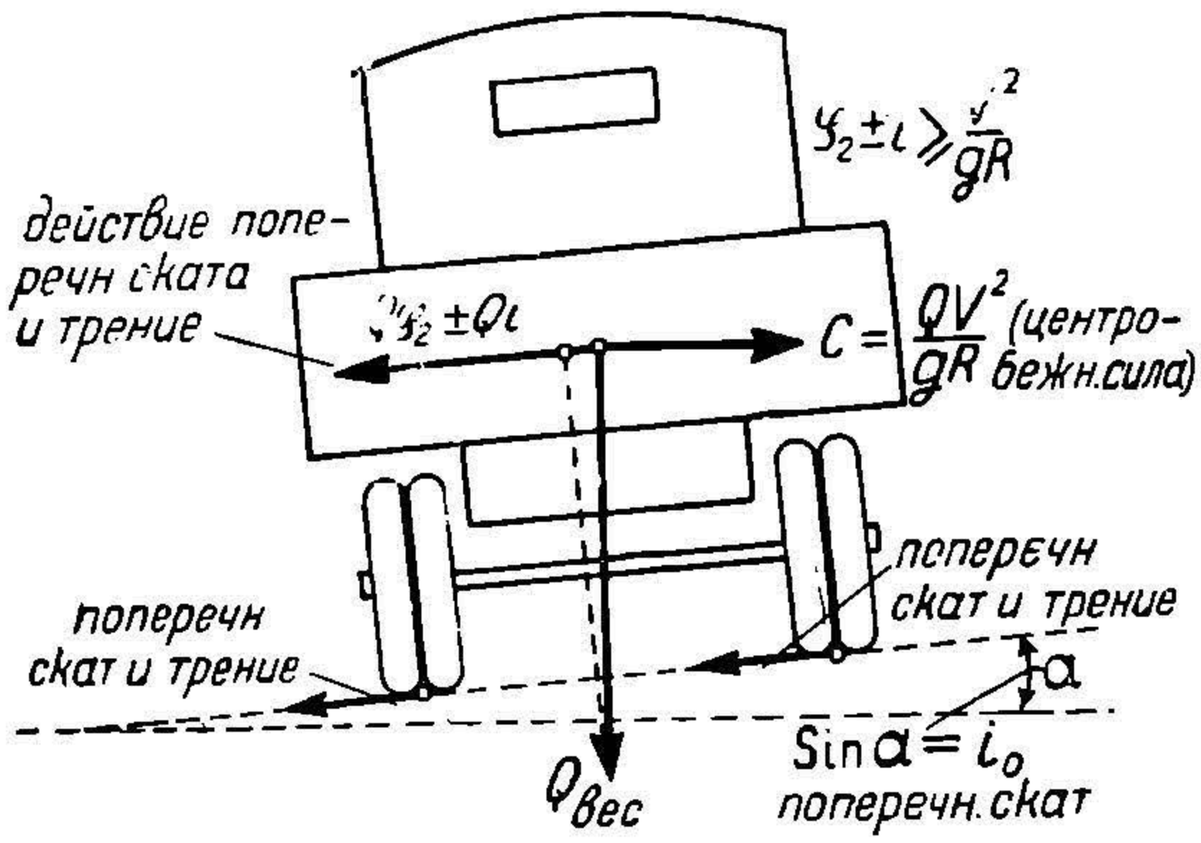


Рис. 85. Схема сил, приложенных к автомобилю, весом Q при проходе по кривой радиусом R со скоростью v м/сек. $= \frac{V}{3{,}6}$ км/час.

3. Силы сопротивления пути, приближенно равной $Q\varphi \pm Qi$, складывающейся из бокового трения шин о дорогу с коэфициентом трения φ и сопротивления поперечного уклона проезжей части $i = \sin\alpha$, положительного или отрицательного, в зависимости от направления поперечного ската.

4. Продольных сил, направленных по касательной к траектории движения автомобиля — силы тяги F, сопротивления движению W и силы торможения B.

На рис. 86 показано уточненное разложение и сложение сил, приложенных к автомобилю в плоскости, нормальной к продольной оси X.

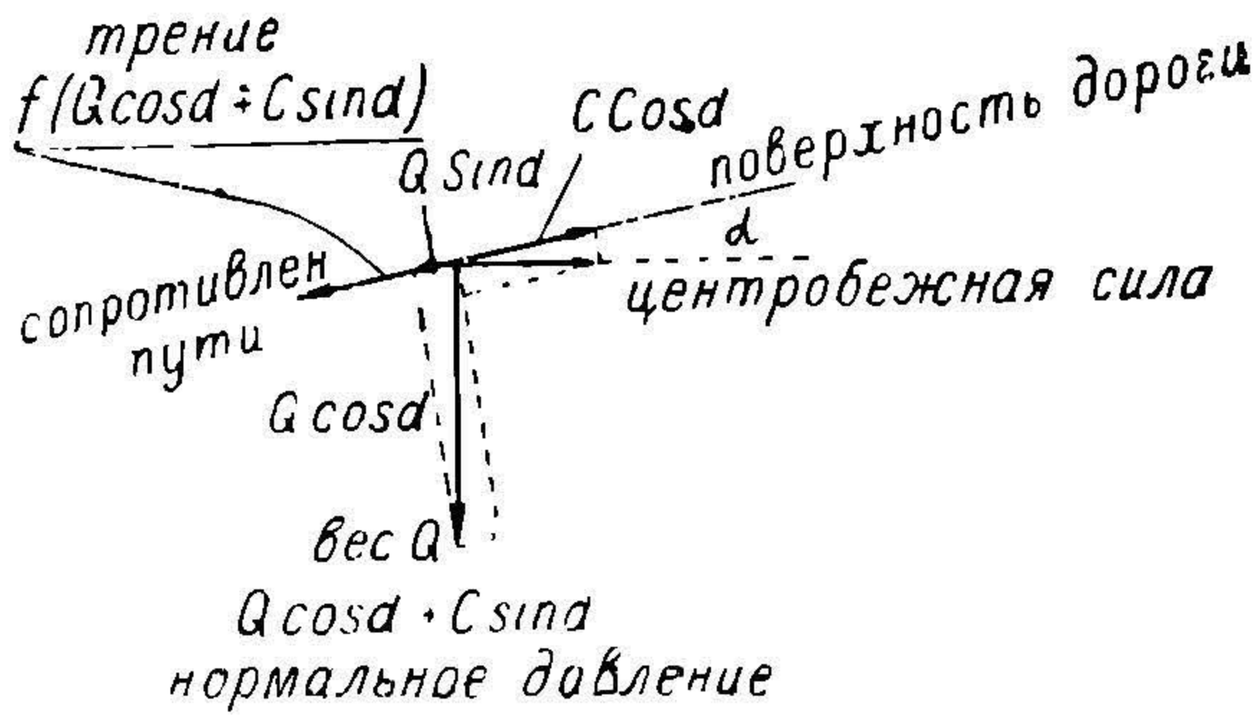


Рис. 86. Разложение сил, приложенных к автомобилю.

1) вес Q раскладывается по направлению поверхности дороги $Q \sin\alpha$ и по направлению, нормальному к поверхности дороги $Q \cos\alpha$; 2) центробежная сила C раскладывается по направлению поверхности дороги $C \cos\alpha$ к нормальному направлению $C \sin\alpha$; 3) сила трения в зависимости от полного нормального давления $\varphi (Q \cos\alpha + C \sin\alpha)$.

По направлению поверхности дороги действует в одну сторону проекция центробежной силы, в другую сторону сумма силы трения и слагающей веса. Равновесие будет соблюдено,

НБ УДУНТ (ДІІТ)

если проекция центробежной силы меньше сопротивления пути, т. е. при

$$C\cos\alpha < Q\sin\alpha + \varphi\ (Q\cos\alpha \pm C\sin\alpha)$$

или

$$C < Q\,\mathrm{tg}\,\alpha + \varphi(Q \pm \mathrm{ctg}\,\alpha).$$

Заменяя $\mathrm{tg}\,\alpha$ величиной уклона i, получим

$$C < Q(\varphi \pm i) \pm C\varphi i.$$

От приближенного выражения силы сопротивления пути, указанного на рис. 85, правая часть разнится на величину $C\varphi i$. Как будет пояснено далее, примерно $C \approx 0{,}15 - 0{,}3\ Q$; $\varphi = 0{,}5$; $i = 0{,}06$, при таких значениях:

$$\frac{C\varphi i}{Q(\varphi + i)} = \frac{0{,}3 \cdot 05 \cdot 0{,}06}{0{,}5 + 0{,}06} = \frac{0{,}01}{0{,}56} = 1{,}6\%.$$

Отбрасывая величину $C\varphi i$, мы увеличиваем запас безопасности движения.

Величина центробежной силы может быть представлена в следующем виде:

$$\boxed{C = \frac{Qv^2}{gR} = \frac{QV^2}{127R}}$$

где V — скорость в км/час; $V = -\frac{v \cdot 60 \cdot 60}{1000} = 3{,}6\,v$; $g = 9{,}8$ м/сек.^{2}; R — радиус закругления в м.

Отношение центробежной силы к весу автомобиля

$$\frac{C}{Q} = \frac{V^2}{127\,R}$$

пропорционально квадрату скорости. Например, при скорости $V = 80$ км/час и радиусе $R = 200$ м центробежная сила составляет около четверти веса автомобиля, $C \approx 0{,}26\,Q$. При скорости $V = 150$ км/час и радиусе $R = 1000$ м, $C \approx 0{,}17\,Q$.

Сила сопротивления пути

$$W = Q\ (\varphi \pm i) + C\varphi i$$

зависит от коэфициента бокового трения шин φ_2, который, в свою очередь, определяется типом одежды и состоянием дороги.

Так же как для случая продольного движения, при скольжении колес в поперечном направлении следует различать боковое трение при движении и боковое сцепление в начальный момент — сцепление, которое и следует вводить в расчет условий равновесия (табл. 20).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таблица 20

Коэфициенты полного и бокового сцепления

Тип дорожной одежды	Состояние дороги		
	сухое	влажное	гололедица или грязь
А. Опытные коэфициенты			
Шероховатые одежды — цементобетонная дорога, шоссе, булыжная мостовая . . .	0,7—0,8	0,6—0,7	—
Гладкие одежды — асфальтобетонная дорога, черные дороги .	0,6—0,7	0,3—0,5	0,1—0,2
Б. Расчетные коэфициенты			
Полное сцепление φ .	0,7	0,5 (нормально)	0,2
Боковое сцепление при торможении $\varphi_2 = 0{,}32\varphi$.	0,22	0,16	0,064

Таким образом, например, на сухом и чистом асфальтобетоне при боковом уклоне 0,02 величина сопротивления пути может достигать

$$W_1 = Q\ (\varphi + i) = 0{,}72\,Q,$$

а в гололедицу может упасть до

$$W_2 = Q\ (\varphi + i) = 0{,}12\,Q.$$

При движении по закруглению может потребоваться работа двигателя или торможение автомобиля. В этих случаях

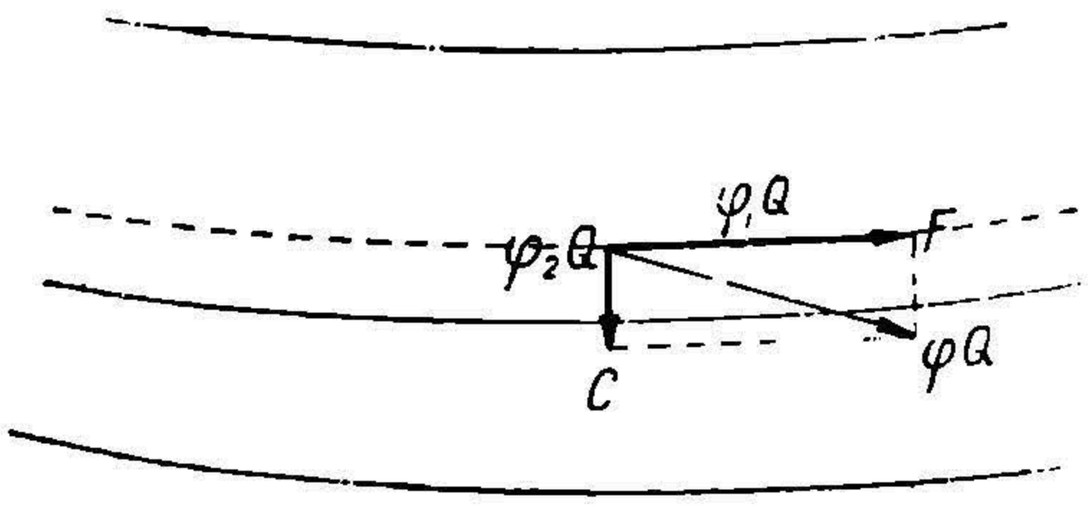
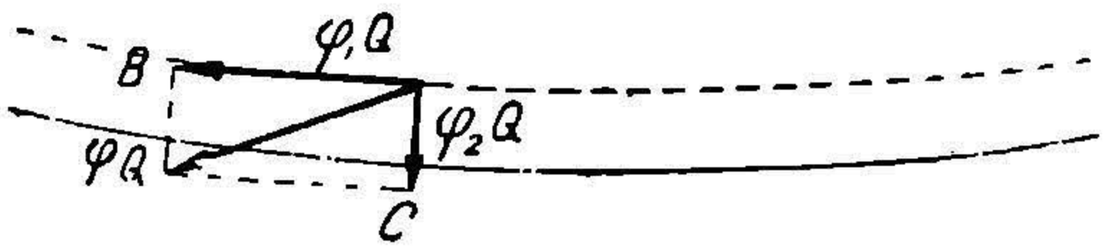


Рис. 87. Движение автомобиля по закруглению под действием силы тяги F или силы торможения B.



боковое сопротивление пути будет меньше и условия равновесия автомобиля под действием центробежной силы будут менее благоприятными (рис. 87).

Для вращения колес под действием работы двигателя, необходима продольная сила сцепления $\varphi_1 Q$; при торможении также

НБ УДУНТ (ДІІТ)

необходимо, чтобы было обеспечено продольное сцепление $\varphi_1 Q$, так как иначе, вместо вращения колес, может наступить скольжение (стр. 45 и 68). Складывая геометрически это, так называемое продольное сцепление φ_1 с поперечным трением колес о дорогу φ_2, получим равнодействующую величину полного сцепления φQ, где $\varphi = \sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2}$.

Эта равнодействующая должна составлять с направлением касательной к траектории движения автомобиля угол не более 18°. При таком условии: коэфициент продольного сцепления $\varphi_1 \geqslant 0{,}95\,\varphi$; коэфициент поперечного трения $\varphi_2 \leqslant 0{,}32\,\varphi$.

Угол 18° и его функции $\sin 18° = 0{,}32$ и $\cos 18° = 0{,}95$ в данном случае подобраны по предложению инж. Е. А. Полторанова таким образом, что в то время как сцепление для продольного усилия (тяги или торможения) падает только на 5% (с φ до $0{,}95\,\varphi$), боковое сцепление φ_2, противостоящее действию центробежной силы, сохраняет достаточную величину $\varphi_2 = 0{,}32\,\varphi$.

Условие равновесия между центробежной силой и сопротивлением пути в этом случае выразится

$$\frac{v^2}{gR} \leqslant \varphi_2 \pm i_0,$$

где i_0 — поперечный уклон проезжей части (виража)[1].

Отсюда величина наименьшего радиуса, гарантирующего безопасность движения со скоростью v м/сек. $= \frac{V}{3{,}6}$ км/час

$$R \geqslant \frac{v^2}{g\,(\varphi_2 + i_0)} = \frac{V^2}{127\,(\varphi_2 + i_0)}.$$

При благоприятных условиях $\varphi = 0{,}5$; $\varphi_2 = 0{,}32\,\varphi = 0{,}16$.

$$R \geqslant \frac{V^2}{20 + 127\,i_0}.$$

Если, например, $V = 150$ км/час; $i_0 = 0{,}02$ для усовершенствованных покрытий, то

$$R \geqslant \frac{150^2}{20 + 2{,}5} \approx 1000 \text{ м}.$$

При неблагоприятных условиях по скользкой дороге $\varphi = 0{,}25$; $\varphi_2 = 0{,}32 \cdot 0{,}25 = 0{,}08$; $R \geqslant 1800$ м или округленно 2000 м.

Для разных скоростей и коэфициентов сцепления таким же путем получим величину радиусов (табл. 21).

Величины радиусов, указанные в табл. 21, приняты в Т. У. Гушосдора НКВД 1938 г.

---

[1] Виражом называется односкатный поперечный профиль на закруглениях—см. § 66 и рис. 146.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таблица 21

Класс дороги	Местность	Скорость	Коэфициент сцепления φ	Наклон виража i_0	Основной расчетный радиус в м
I	Равнинная .	120	0,20	0,02	1500
II	Равнинная .	100	0,20	0,02	1100
	Пересеченная .	80	0,20	0,02	750
	Гористая .	40	0,20	0,02	200
III	Равнинная .	60	0,20	0,02	400
	Пересеченная .	50	0.20	0,02	300
	Гористая .	30	0,20	0,02	100

44. Условия обеспечения безопасности автомобиля против скольжения и опрокидывания

Центробежная сила действует на автомобиль в поперечном направлении. Так как масса, приходящаяся на заднюю ось автомобиля, больше, чем на переднюю, то при этом произойдет вращение машины вокруг вертикальной оси, проходящей через центр тяжести. Такой занос задней оси представляет большую опасность.

При заносе машина может сойти с проезжей части и обочин и упасть в канаву или под откос насыпи или удариться о столб. Не менее опасен занос автомобиля в пределах проезжей части на другую полосу движения, что может быть причиной столкновения с автомобилем, идущим навстречу или обгоняющим сзади.

Безопасность от заноса может быть гарантирована, как было указано в § 43, если величина центробежной силы меньше суммы сопротивления пути боковому скольжению и наклона виража, т. е. если

$$C < Q\ (\varphi_2 \pm i_0) \pm C\varphi_2 i_0$$

или

$$\frac{C}{Q}(1 \mp \varphi_2 i) < \varphi_2 \pm i_0$$

или

$$\frac{V^2}{127R} < \frac{\varphi_2 \pm i_0}{1 \mp \varphi_2 i}.$$

Пренебрегая величиной $\varphi_2 i$ сравнительно с единицей, получим

$$\frac{V^2}{127R} < \varphi_2 \pm i_0,$$

знак плюс или минус следует брать в зависимости от направления поперечного уклона проезжей части.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

В правой части рис. 88 проведена сплошная прямая $\frac{V^2}{125R} = \varphi_2$ и пунктирная линии $\frac{V^2}{125R} = \varphi_2 + i_0$ и $\frac{V^2}{125R} = \varphi_2 - i_0$.

В левой части графика проведены горизонтальные линии, определяющие допустимые максимальные скорости движения для коэфициентов полного скольжения $\varphi = 0{,}5$; $\varphi = 0{,}2$ и $\varphi = 0{,}1$.

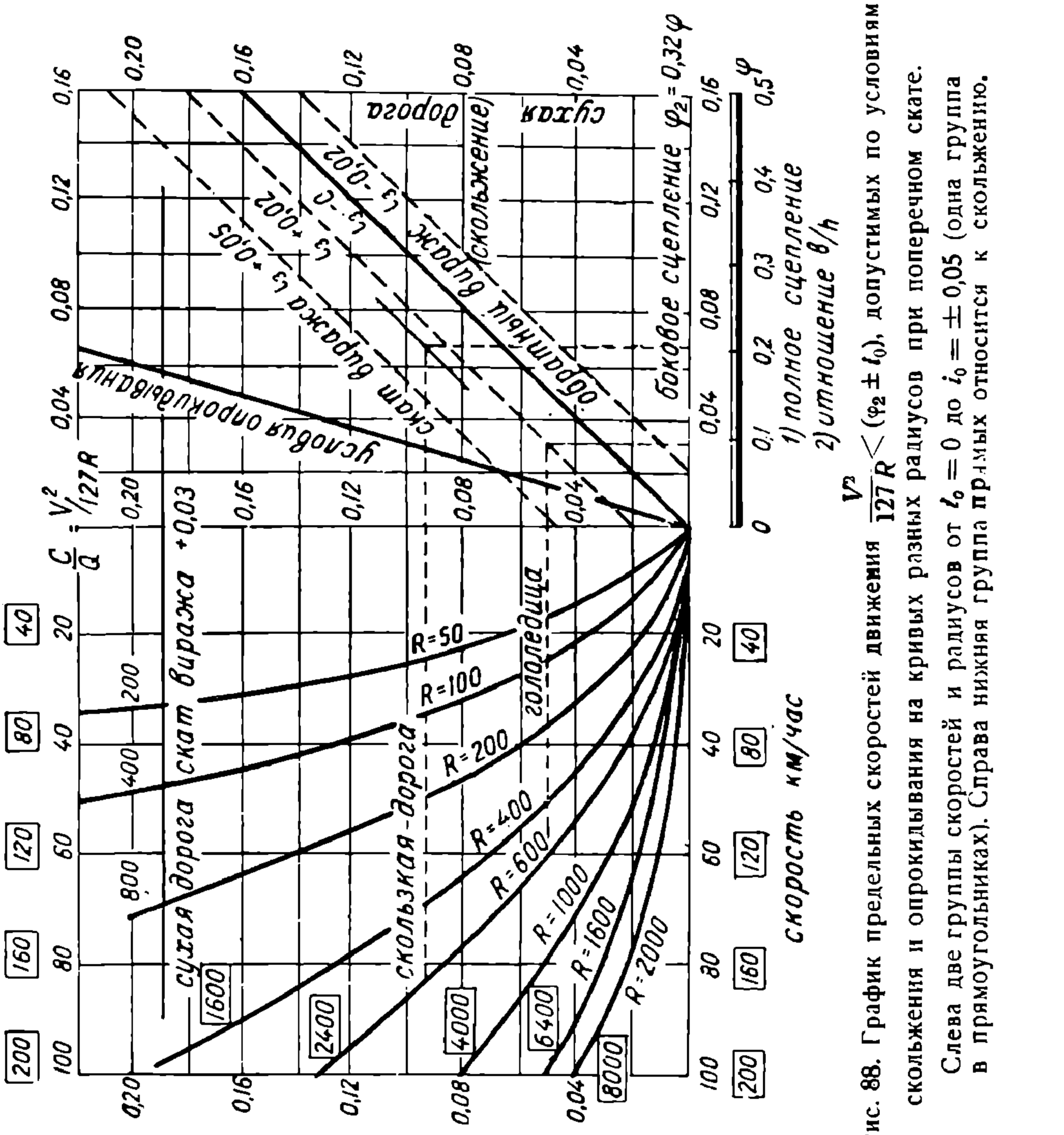


Рис. 88. График предельных скоростей движения по условиям сцепления и опрокидывания на кривых разных радиусов при поперечном скате. Слева две группы скоростей и радиусов от $i_0 = 0$ до $i_0 = \pm 0{,}05$ (одна группа в прямоугольниках). Справа нижняя группа прямых относится к скольжению.

Первый коэфициент определяет скорости движения при благоприятных условиях. Второй дает значения пониженных скоростей во время гололедицы или грязи на дороге.

График рис. 88 представляет зависимость между четырьмя переменными

$$f(V, R, \varphi, i_0) = 0.$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Центробежная сила может быть также причиной опрокидывания автомобиля. Устойчивость против опрокидывания будет соблюдена при условии (рис. 89)

$$Cz < Qb_1,$$

где z — плечо опрокидывающего момента центробежной силы C; b_1 — плечо веса Q автомобиля вокруг точки вращения (рис. 89).

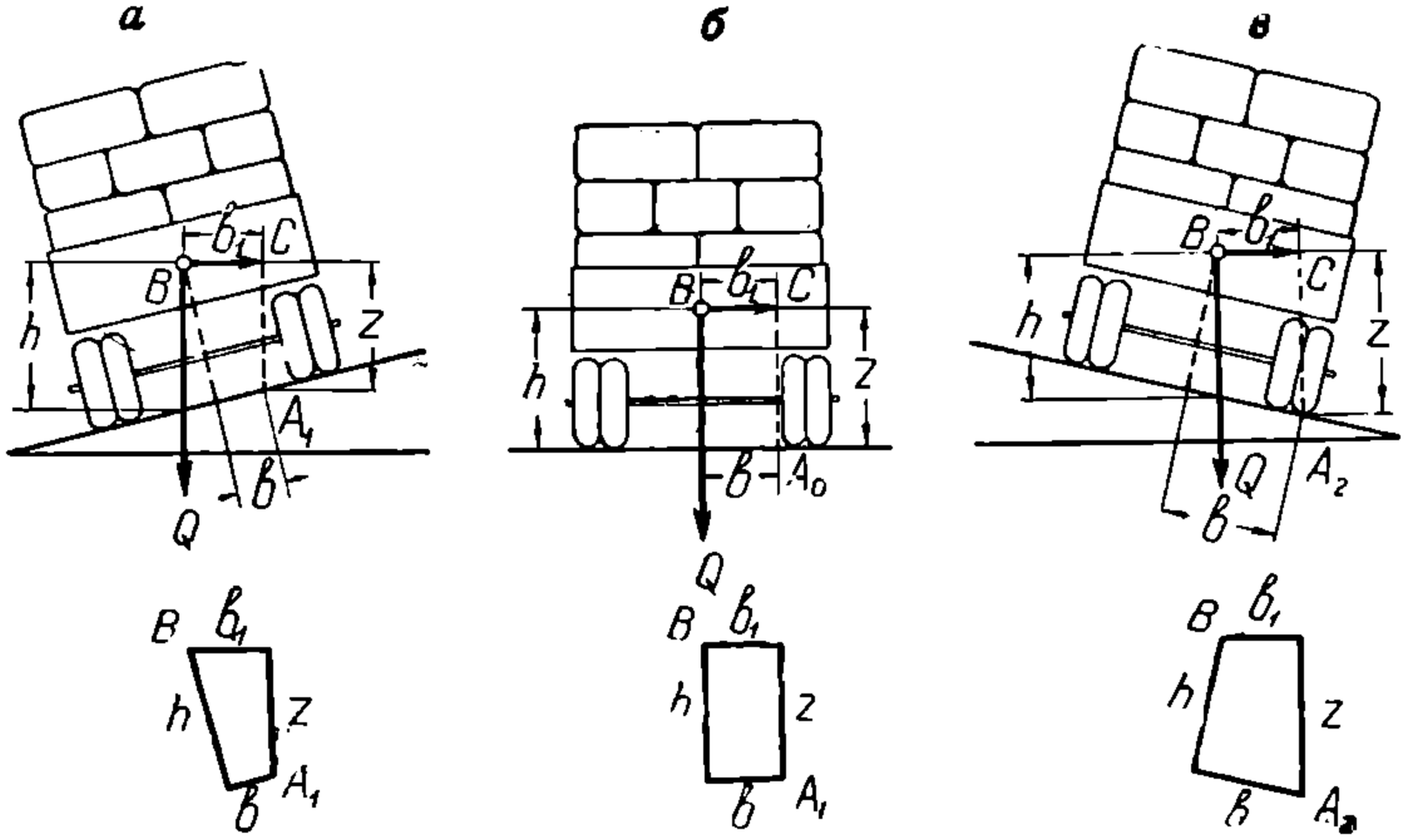


Рис. 89. Эпюра плеч моментов центробежной силы C и веса автомобиля Q при разном направлении поперечного ската дороги [1].

Подставляя величину центробежной силы $C = \frac{Qv^2}{gR}$, получим

$$\frac{v^2}{gR} \leqslant \frac{b_1}{z_1};$$

$$v \leqslant \sqrt{gR}\sqrt{\frac{b_1}{z_1}}.$$

Если обозначить через: h — высоту центра тяжести груженого автомобиля; b — половину ширины хода; $i_0 = \operatorname{tg}\alpha$ — поперечный уклон проезжей части дороги, то, как можно видеть из схем рис. 89 *а — в*

$$\frac{b_1}{z} = \frac{b\cos\alpha + h\sin\alpha}{h\cos\alpha - b\sin\alpha} = \frac{b + hi}{h - bi} = \frac{\frac{b}{h} + i}{1 - \frac{b}{h} \cdot i};$$

$$\frac{b_2}{z} = \frac{b\cos\alpha - h\sin\alpha}{h\cos\alpha + b\sin\alpha} = \frac{b - hi}{h + bi} = \frac{\frac{b}{h} - i}{1 + \frac{b}{h} i}$$

или в общем виде

$$\frac{b}{z} = \frac{\frac{b}{h} \pm i}{1 \mp \frac{b}{h} i}.$$

[1] Точки A_1 и A_0 на рис. 89*а* и *б* показаны неправильно, они должны совпадать с точкой касания правого наружного колеса.

НБ УДУНТ (ДИТ)

Ширина хода автомобилей 1,5—1,7, поэтому $b = 0{,}75 - 0{,}85$.

Высота центра тяжести для легковых машин $h \approx 0{,}9$, для грузовых машин и автобусов $h = 1{,}5 - 1{,}6$.

Поэтому, например, для поперечного уклона проезжей части $i = 0{,}05$ величины $1 - \frac{b}{h} i = 0{,}96 - 0{,}98$; $1 + \frac{b}{h} i = 1{,}02 - 1{,}04$ и могут быть приняты равными единице. Тогда

$$v \leqslant \sqrt{gR} \sqrt{\frac{b}{h} \pm i}.$$

или численно

$$V < \sqrt{127R} \sqrt{\frac{b}{h} \pm i}$$

Выражение это вполне аналогично выведенному выше для условия скольжения с заменой множителя $\sqrt{\varphi_2 \pm i}$ на $\sqrt{\frac{b}{h} \pm i}$. Поэтому график рис. 88 вполне пригоден и для анализа условий на опрокидывание, если по оси абсцисс в правой части отложить $\frac{b}{h}$. Эта величина для грузовых машин приближается к 0,5, а для легковых к 0,9. Поэтому условия устойчивости на опрокидывание обеспечены всегда, если обеспечена безопасность против скольжения (рис. 90). Только для машин с очень высоко расположенным центром тяжести, как например для двухэтажных автобусов, при движении с большими скоростями, допустимыми на сухом шоссе, может оказаться, что на закруглениях малого радиуса условия устойчивости против опрокидывания будут не обеспечены.

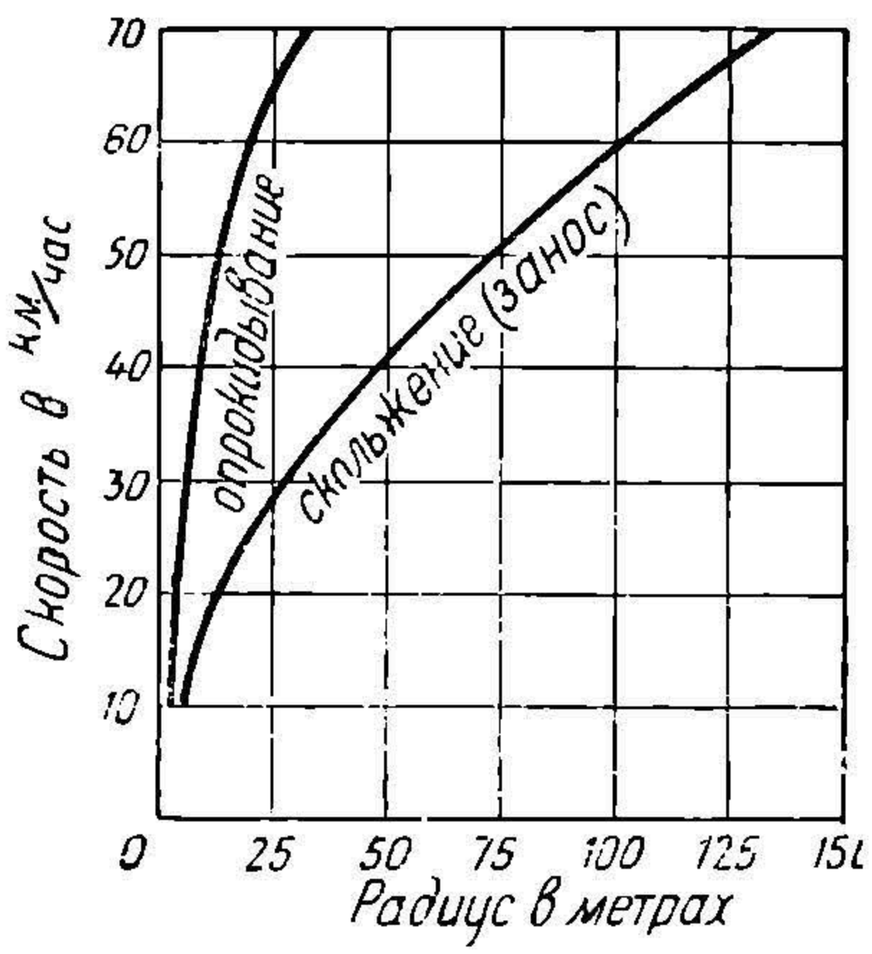


Рис. 90. График предельных скоростей, допустимых на кривых разных радиусов по условиям безопасности от скольжения и опрокидывания.

45. Рекомендуемые и минимальные радиусы закруглений

Чем больше длина закруглений при одном и том же угле, тем более плавно происходит поворот автомобиля. Другими словами, чем больше радиус закругления, тем меньше угловая скорость $\omega = \frac{16}{R} \frac{V}{}$ (стр. 116) и меньше центробежная сила $C = M \frac{V^2}{R}$.

Для трассы автомобильной дороги закругления имеют большее значение, чем подъемы.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Современные автомобили снабжены двигателями, достаточно мощными для движения со скоростью 80—120 км/час. Для таких скоростей необходимо иметь пологие закругления, иначе при проходе закругления скорость автомобиля приходится сильно уменьшить.

Следует различать три группы радиусов: рекомендуемые, основные расчетные и минимальные.

Рекомендуемыми называются такие радиусы, при которых на кривых обеспечивается, без применения каких-либо дополнительных устройств (виражей, переходных кривых, уширений проезжей части, срезок откосов), безопасное и спокойное движение с расчетными скоростями как при покрытии в сухом состоянии, так и при покрытии с небольшим слоем снега или загрязненном, т. е. когда коэфициент сцепления шины с дорогой будет иметь меньшую величину. Величины рекомендуемых радиусов могут быть найдены из условия безопасного (без скольжения) движения на кривой

$$R > \frac{v^2}{g\,(\varphi_2 - i_0)}$$

или, если скорость выражена не в м/сек., а в км/час, то

$$R > \frac{V^2}{127\,(\varphi_2 - i_0)},$$

здесь i_0 — поперечный уклон проезжей части при двускатном профиле, φ_2 — коэфициент сцепления при скользком покрытии.

На кривых рекомендуемого радиуса следует также обеспечить и достаточно спокойное движение, т. е. проверить величину центробежного ускорения $\frac{V^2}{R}$. Если принимать значение нормального ускорения 0,5 м/сек.^{2}, то

$$R > \frac{V^2}{0{,}5}.$$

Рекомендуемые радиусы следует применять во всех случаях, за исключением тех, когда устройство кривых с такими радиусами повлечет за собой излишние расходы.

Основными расчетными радиусами называются такие, при которых обеспечивается безопасное движение с расчетной скоростью при сухом состоянии покрытия и при загрязненном и покрытом небольшим слоем снега, но с применением на дороге дополнительных устройств (виражей, переходных кривых, срезок).

Величина основного расчетного радиуса может быть найдена из условия

$$R = \frac{v^2}{g\,(\varphi_2 + i_в)}$$

или, если скорость выражена в км/час,

$$R = \frac{V^2}{127\,(\varphi_2 + i_в)},$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

здесь $i_в$ — поперечный уклон односкатного профиля на кривой (вираж); знак плюс поставлен потому, что имеется вираж, препятствующий скольжению. Основные расчетные радиусы являются нормальными и применяются на всех закруглениях, где применение большего радиуса потребовало бы крупных земляных работ, сноса строений и т. п.

Минимальными радиусами называются такие, при которых на кривых обеспечивается безопасное движение с расчетной скоростью только при благоприятном состоянии покрытия (сухое, чистое, когда коэфициент сцепления имеет значительную величину) и при этом с применением на дороге виражей, уширений проезжей части и т. п.

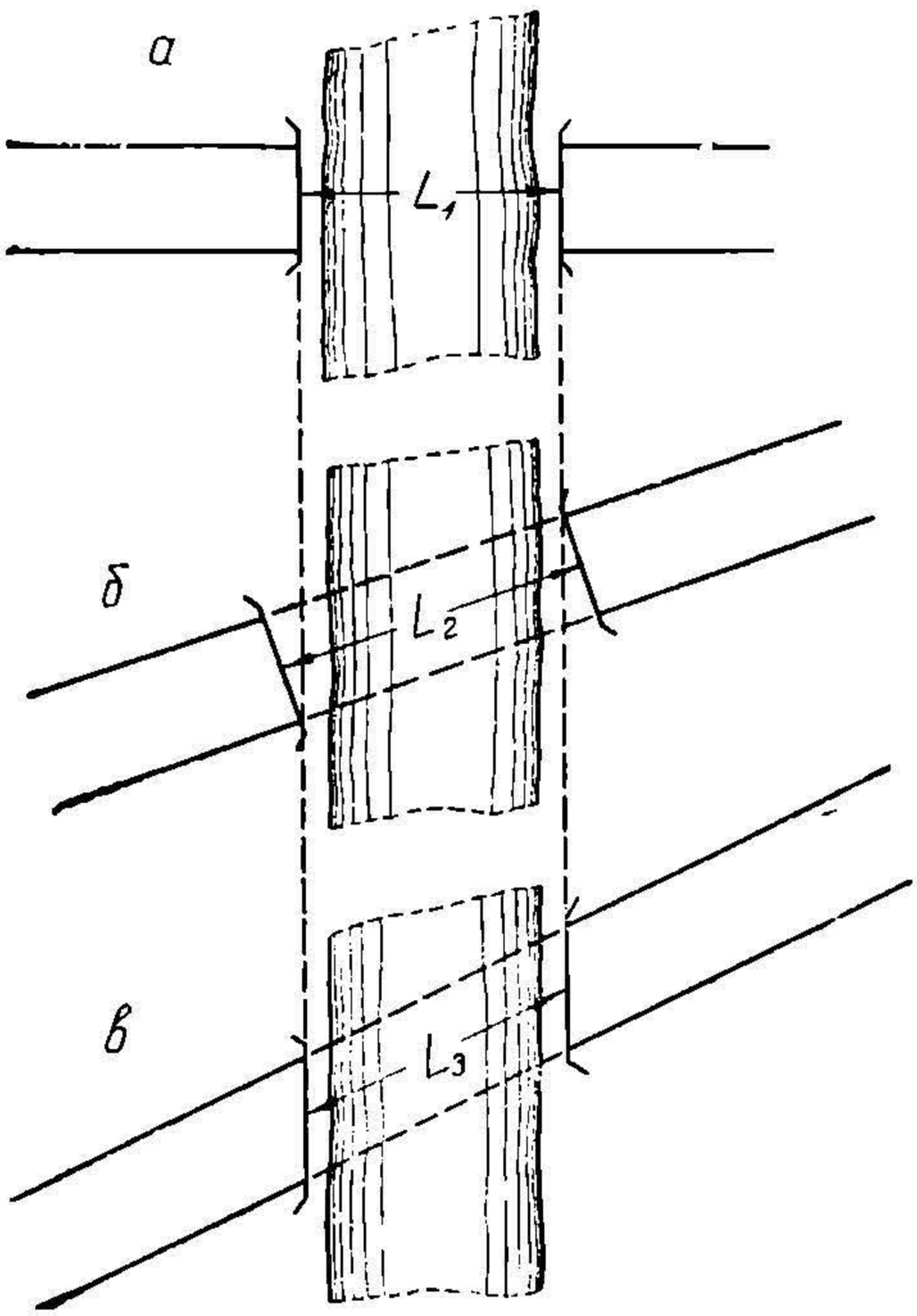


Рис. 91. Пересечение водотока.

а — пересечение водотока под прямым углом; *б* — пересечение водотока под косым углом — отверстие моста увеличено $L_2 > L_1$; *в* — косой мост.

При скользком покрытии скорость движения на таких кривых должна уменьшаться до величин, указанных в табл. 5, (см. стр. 31). Участки дорог с кривыми, имеющими радиусы меньше основных расчетных, должны быть ограждены сигналами, указывающими об уменьшении скорости.

Величины минимальных радиусов могут быть получены из условия

$$R = \frac{v^2}{g\,(\varphi_2' + i'_в)}$$

или

$$R = \frac{V^2}{127\,(\varphi_2' + i'_в)}$$

здесь φ_2' — коэфициент поперечного сцепления при сухом покрытии; $i'_в$ — поперечный уклон односкатного профиля проезжей части при кривых малого радиуса (обычно $i'_в > i_в$, т. е. на закруглениях малого радиуса делаются более крутые виражи).

Минимальные радиусы допускаются на дорогах лишь в исключительных случаях, так как они не обеспечивают полностью безопасного и бесперебойного движения и требуют снижения скорости легковых машин по скользкой дороге и поэтому понижают качество дороги.

НБ УДЛТ (ДІТ)

46. Расположение искусственных сооружений в плане

Пересечение водотока или суходола под косым углом связано с несколько большими работами, чем при пересечении под прямым углом. Для правильного пропуска всей воды приходится делать или мост большего отверстия (рис. 91, *б*) или косой мост (рис. 91, *в*). Оба решения несколько дороже первого; косой мост сложнее по производству работ; кроме того, для косых мостов неприменимы типовые проекты, так как угол косины может быть самым разнообразным. Сооружение косой трубы (рис. 92, *б*) также обходится дороже по сравнению с пересечением под прямым углом (рис. 92, *а*). При косом пересечении тальвега можно или уложить косую трубу (рис. 92) или уложить трубу перпендикулярно оси дороги, но устроить на

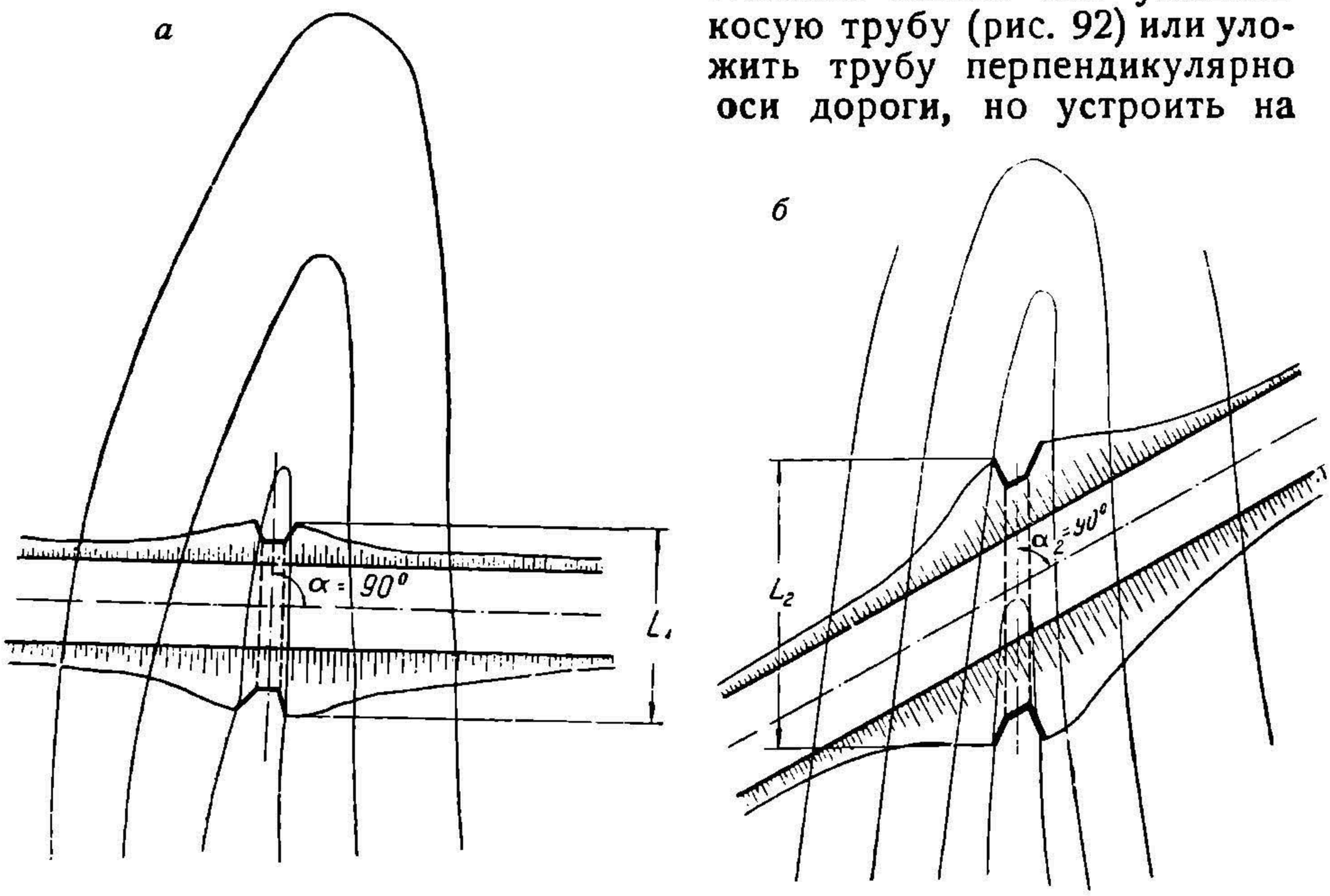


Рис. 92. Пересечение препятствия трубой.
Длина трубы L_2 больше, чем при пересечении под прямым углом.

подходах к трубе искусственное русло для подвода и отвода воды из трубы (рис. 93). Можно при косом пересечении уложить прямую трубу, устроив соответствующие оголовки (рис. 94). Все эти решения более сложны, чем устройство нормальной трубы (рис. 92, *а*), и требуют поэтому больших средств на сооружение.

Почти те же осложнения создаются и при пересечении водотока или суходола по кривой. Труба в этом случае укладывается или по нормали к кривой и тогда могут потребоваться дополнительные работы по устройству русла (рис. 95), или должна быть уложена косая труба (рис. 96) большей длины.

НБ УДИТ (ДИТ)

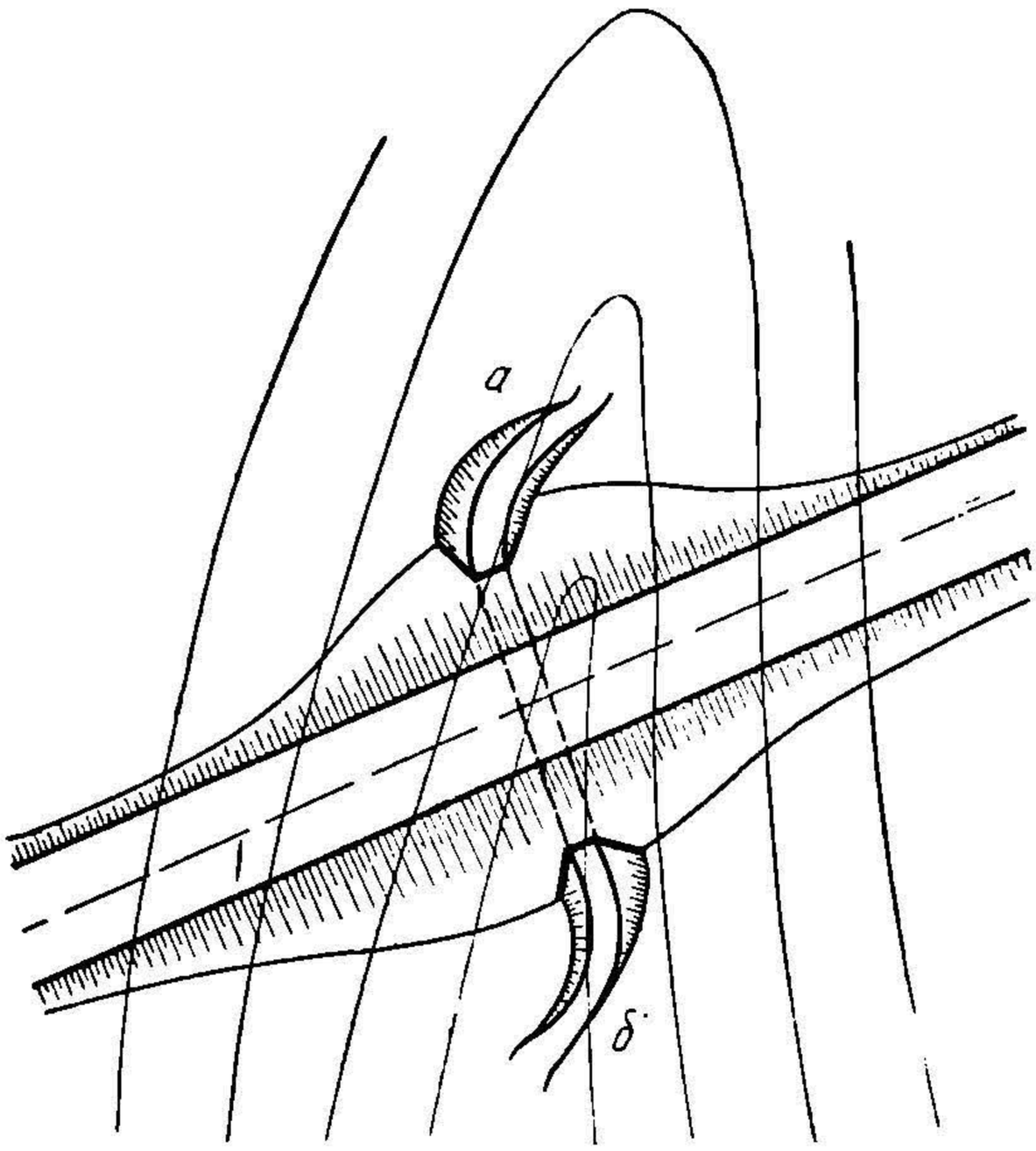


Рис. 93. Устройство искусственного русла. Труба уложена нормально к оси дороги:

а — подводящее русло; *б* — отводящее русло.

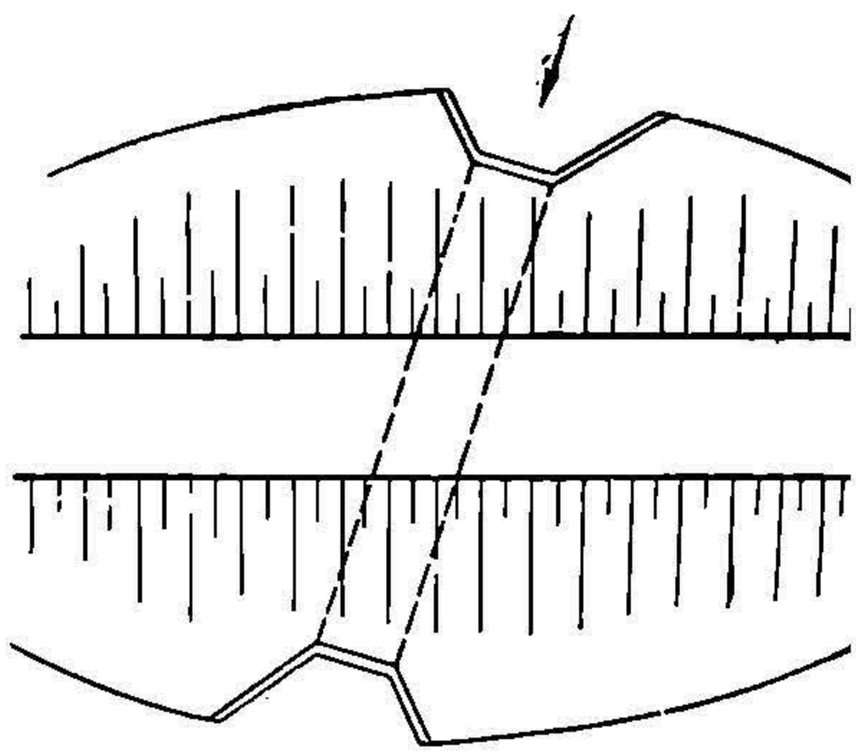


Рис. 94. Косая труба с несимитричными оголовками.

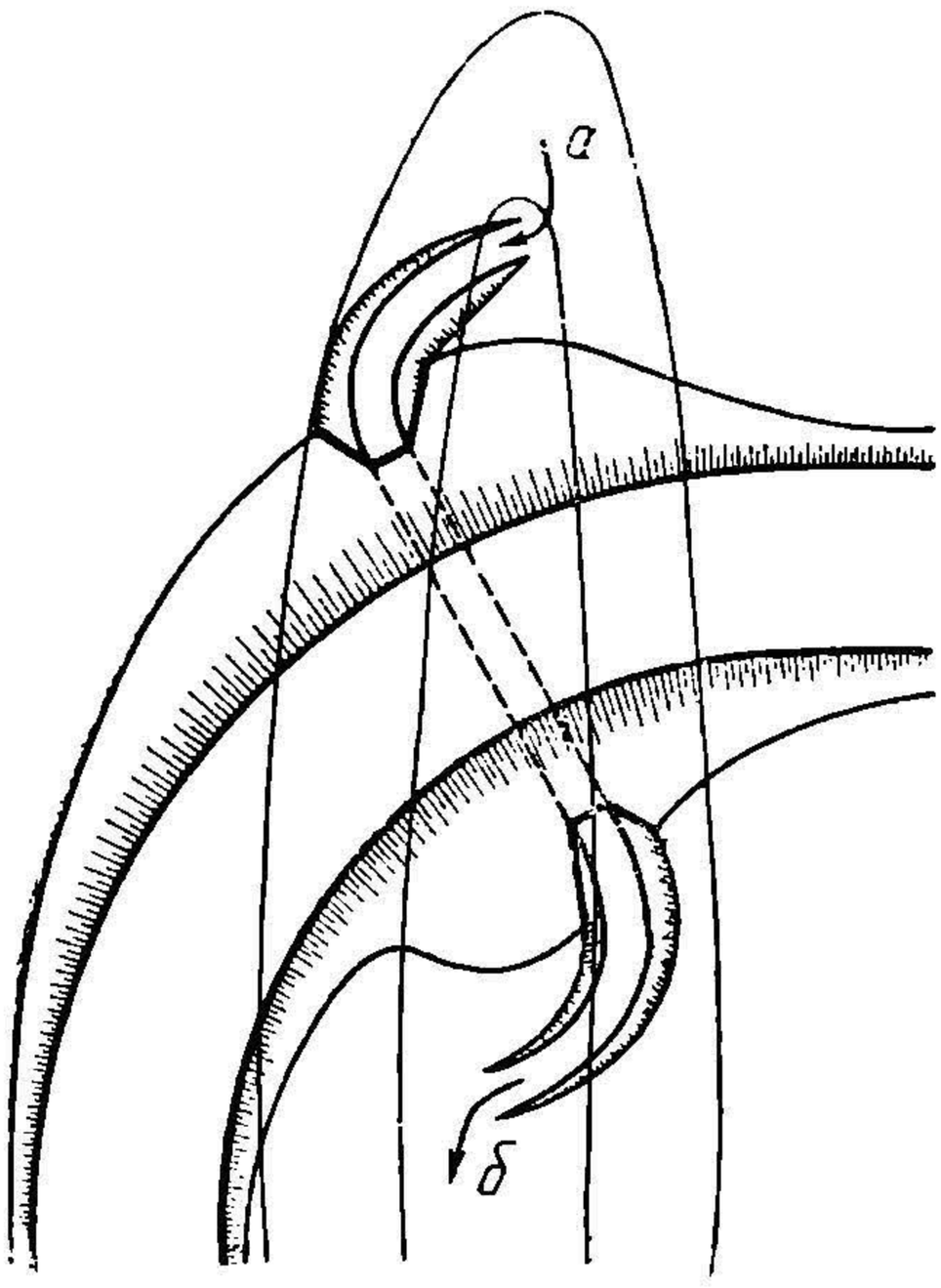


Рис. 95. Пересечение водотока на кривой.

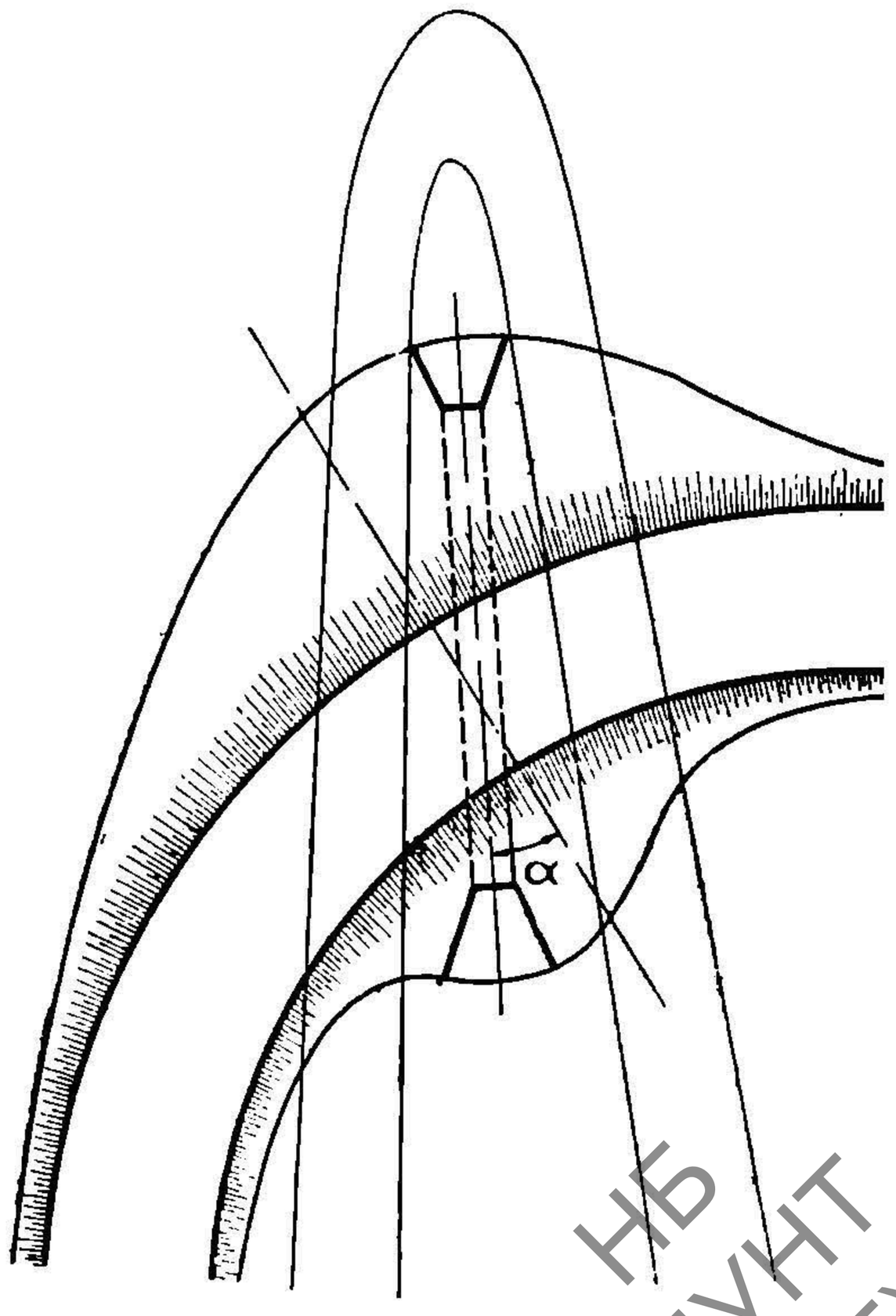


Рис. 96. Пересечение водотока по кривой; косая труба.

НБ УДУНТ (ДПТ)

Конструкция моста на кривой значительно осложняется, какое бы из возможных решений не было принято: а) прямой мост с уширенной проезжей частью (рис. 97), позволяющий вписать полностью в нее всю кривую, б) прямые пролеты на опорах трапецоидального типа (в плане, рис. 98), в) мост с криволинейным очертанием в плане (рис. 99).

Несмотря, однако, на несколько большую сложность и большую стоимость устройства малых искусственных сооружений на косых пересечениях водотоков и суходолов, а также и на кривых участках—все же нельзя рекомендовать обязательное пересечение всех водотоков и суходолов на прямых участках и под прямым углом. Малые искусственные сооружения (мосты и трубы) из условий обеспечения водоотвода располагаются на дорогах очень часто от 1 до 2, а в пересеченной местности иногда и до 4 сооружений на километр. Обеспечение для каждого сооружения нормального (на прямой под углом в 90°) пересечения заставило

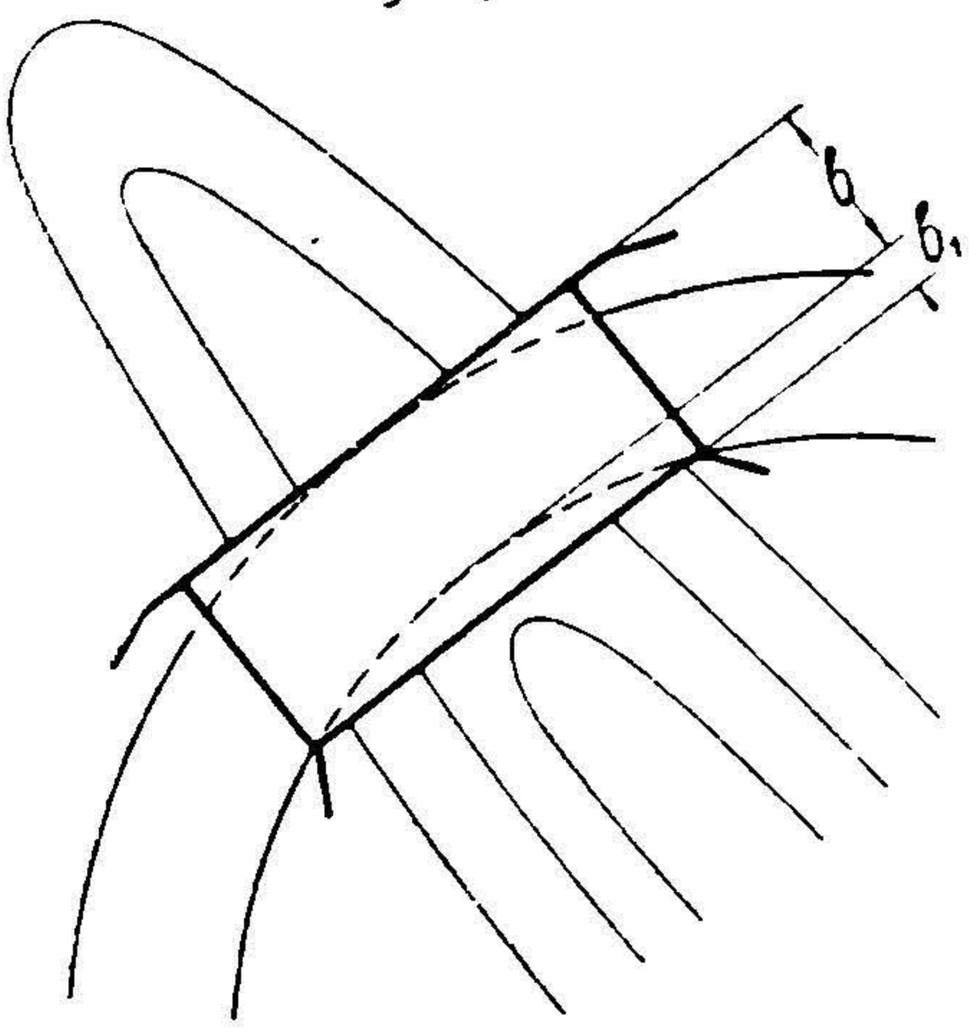


Рис. 97. Мост на кривой; проезжая часть уширена.

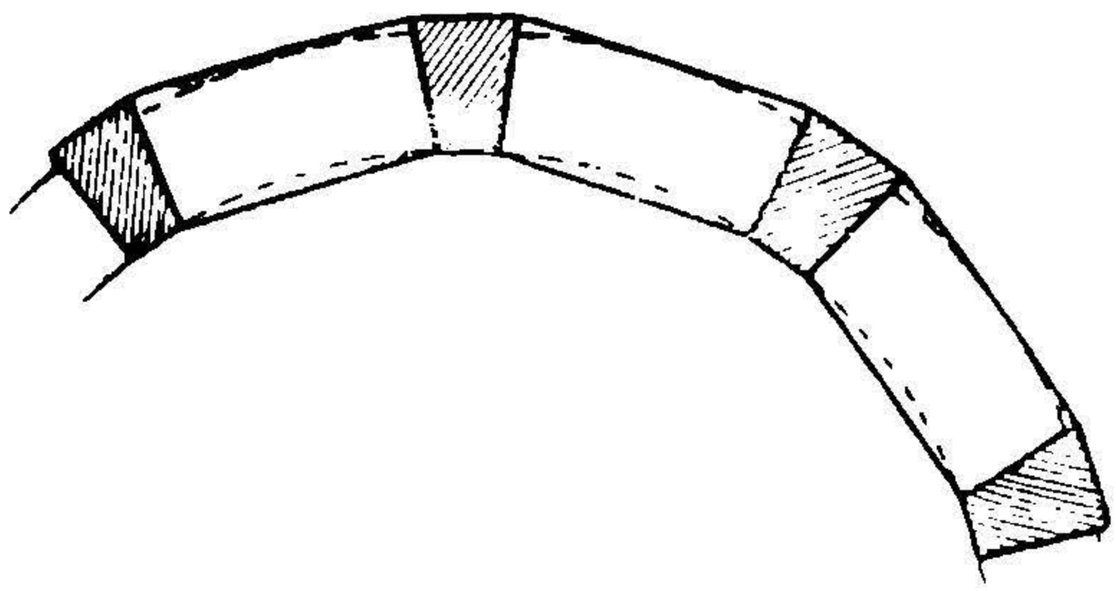


Рис. 98. Мост на кривой; опоры трапецоидального очертания.

бы ввести ряд дополнительных углов в трассу (рис. 100). Введение этих углов резко ухудшило бы качество трассы и увеличило ее длину. Кроме того, для возможности вписывания многочисленных кривых пришлось бы итти на уменьшение величины радиусов. В результате, из-за небольшой экономии на искусственных сооружениях, условия движения по дороге были бы резко ухудшены. Во многих случаях при необходимости обеспечить расчетную скорость по всей длине дороги и, следовательно, при необходимости применять радиусы на кривых не менее основного расчетного, невозможно осуществить расположение искусственных сооружений на прямых участках.

Поэтому при выборе трассы дороги не следует стремиться пересекать малые водотоки и суходолы обязательно по прямой и притом под прямым углом. Необходимо дорогу трассировать

НБ УДУНТ (ДИТ)

короче и возможно более плавно. Расположение малых искусственных сооружений определяется условиями проложения трассы.

Иначе обстоит с пересечением больших водотоков. Пересекая большой водоток под косым углом к основной массе воды,

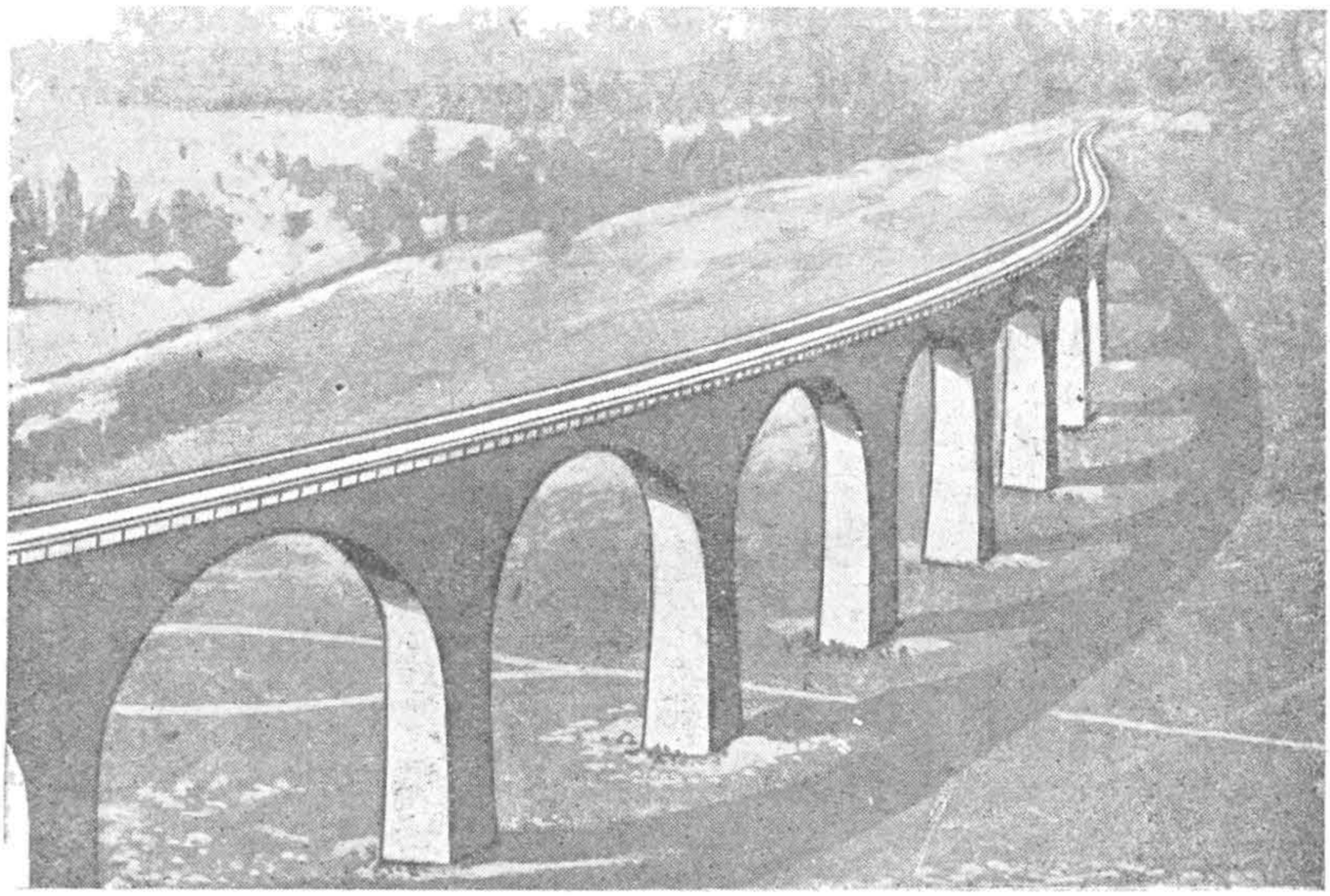


Рис. 99. Мост криволинейного очертания в плане.

при высоких водах необходимо будет или запроектировать большее отверстие моста или дорогостоящие регуляционные сооружения, исправляющие течение потока и направляющие его в отверстие моста. Помимо этого, косое пересечение большого водотока связано со значительно большим протяжением насыпи на

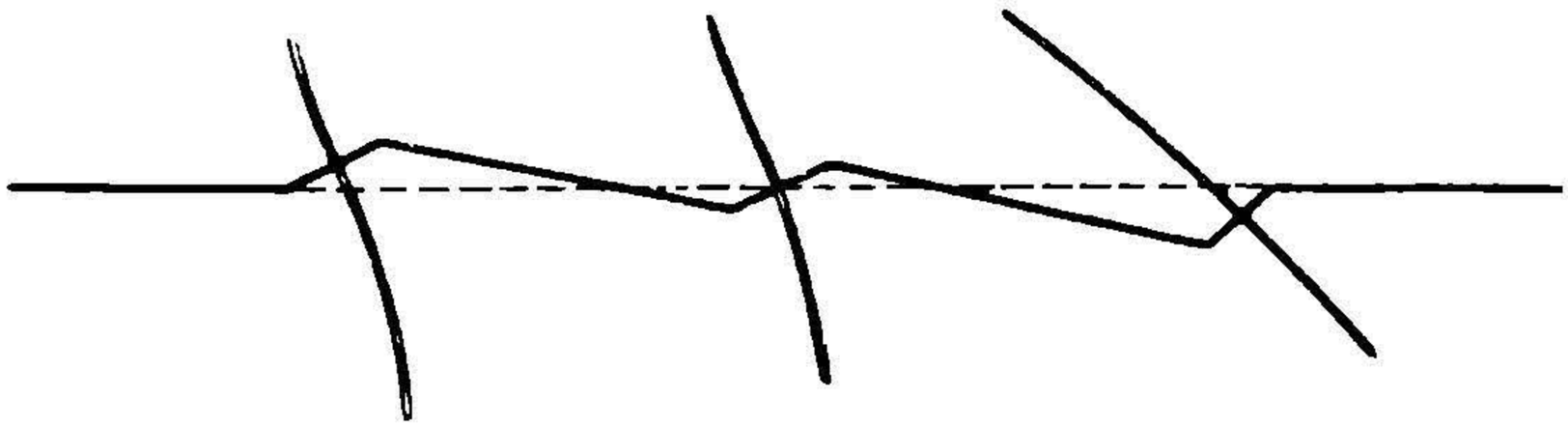


Рис. 100. Изломы трассы, вызванные условием пересечения водотоков под прямыми углами; решение неправильное.

пойме, что вызовет увеличение объемов земляных работ, а также и работ по укреплению откосов дамбы, подвергающихся разрушительному действию воды.

Пересечение больших рек связано с большими затратами средств (сооружение самого моста, сооружение подходов—высо-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ких дамб на низких поймах и выемок на возвышенных берегах, устройство регуляционных сооружений, укрепительные работы). Во многих случаях удается пройти со значительно меньшими работами и затратами средств, если пересечь реку в некотором отдалении от прямого направления трассы, так как при этом бывает можно выбрать участок реки с более прямоструйным течением, с более узкими и возвышенными поймами. Большие реки пересекать дорогой приходится не часто; поэтому трасса в целом из-за отклонения для перехода водотока в наиболее благоприятном месте ухудшается незначительно (2—3 добавочных угла на 20—50 км); некоторое удлинение трассы компенсируется удешевлением всего строительства.

Таким образом, при пересечении больших водотоков можно добиться значительной экономии средств при правильном выборе лучшего места перехода, поэтому направление трассы в этом случае должно подчиняться выбору места наилучшего пересечения реки.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ГЛАВА V

ВИДИМОСТЬ ДОРОГИ В ПЛАНЕ

47. Обеспечение видимости на закруглениях

При современных скоростях автомобильного движения повышаются требования к обеспечению безопасности движения, в частности к предупреждению возможности столкновений автомобилей, наездов на людей и на случайные препятствия на дороге.

Безопасность движения зависит от расстояния видимости, т. е. длины пути, который водитель машины видит впереди себя. Расстояние видимости должно быть достаточно, чтобы шофер имел время разъехаться со встречным автомобилем, идущим по той же полосе, или затормозить и во-время остановить машину при наличии препятствия на дороге, внезапно замеченного им впереди. Расстояние видимости, необходимое для безопасности, увеличивается со скоростью движения. На закруглениях видимости могут мешать откос выемки, скала, лес, здания (рис. 101), расположенные с внутренней стороны кривой. Для обеспечения видимости делают срезку, называемую разделкой откоса выемки (рис. 102), расчищают лес (рис. 103). Иногда приходится ставить вопрос о сносе зданий, препятствующих видимости на опасных пересечениях или закруглениях.

Необходимое расстояние видимости определяется заданной скоростью движения (табл. 22).

Таблица 22

Наименование нормативов и элементов	Измеритель	Класс дороги и характер рельефа						
		I	II			III		
		равнинная	равнинная	пересеченная	гористая	равнинная	пересеченная	гористая
Расчетная скорость движения .	км/час	120	100	80	40	60	50	30
Расстояние видимости в плане .	м	160	220	150	50	90	80	40

НБ УДУНТ (ДІТ)

Значительная часть протяжения старых дорог, строившихся для гужевого транспорта, не удовлетворяет этим условиям видимости и поэтому не допускает движения с расчетными скоростями.

На каждой существующей дороге, а также на новой дороге при ее приемке, следует проверять фактическую видимость и назначать места, требующие расчистки леса, срезки откосов и т. д.

На многих участках старых дорог сравнительно небольшие работы могут значительно улучшить условия видимости. При составлении проектов новых дорог следует проверять условия видимости для всех выемок на закруглениях и определять расчетом: 1) при каких радиусах закруглений заданная видимость обеспечена без срезки откосов выемки; 2) на какую ширину должна быть произведена разделка откосов выемки на закруглениях с радиусом меньше упомянутых в п. 1; решение этой задачи необходимо для включения разделки откосов в ведомость земляных работ и смету.

48. Геометрические условия обеспечения видимости при заданном расстоянии

На рис. 101 показаны различные заграждения видимости—здания, лес, откос выемки. Свободное расстояние от траектории движения до границы заграждения по нормали к траектории обозначено h_0; в дальнейшем эту границу будем называть линией заграждения. Требуемое наименьшее расстояние видимости L показано в виде некоторой дуги траектории, а луч свободного зрения в виде хорды, стягивающей эту дугу. Расстояние от траектории движения автомобиля до этой хорды (стрелка) обозначено на разрезах и на плане буквой h. Для того чтобы видимость была обеспечена, между траекторией движения и хордой дуги L не должно быть никаких заграждений. Другими словами, условие обеспечения видимости

$$h < h_0.$$

На рис. 101 показано обратное, везде $h > h_0$. Поэтому для обеспечения видимости на расстояние L требуется снос здания, расчистка леса, разделка откоса выемки на ширину $h - h_0$ (рис. 101, 102, 103). За траекторию движения принимается линия, соответствующая нормальному расположению глаза водителя, принимая условно положение этой линии (рис. 101, разрезы) на расстоянии 1,5 м от внутренней кромки проезжей части и на высоте $z_0 = 1{,}2$ м от ее поверхности.

Такую линию далее будем называть траекторией. Фактическое расстояние h_0 от траектории до линии заграждения измеряется поэтому на высоте 1,2 м и зависит от крутизны заложения откоса выемки (рис. 104). При нормальных условиях $h_0 = 8{,}1$ м. В выемке на закруглении с правильно отделанными откосами линия

УНВ УДУГТ (ДИТ)

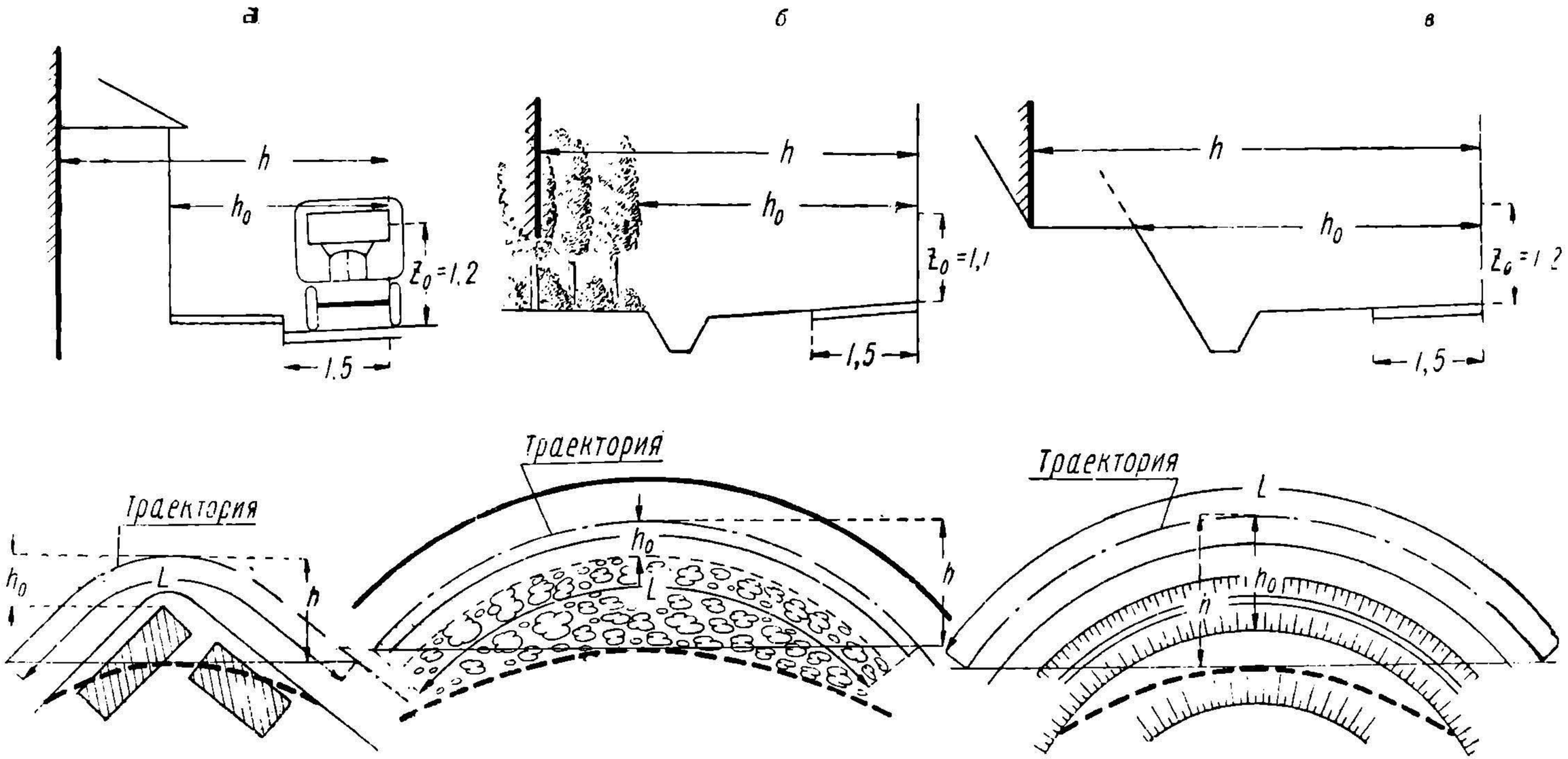


Рис. 101. Заграждения свободной видимости пути:

а—здания; *б*—лес на обрезе полотна; *в*—откос выемки. Необходимое расстояние видимости (отсчитываемое по кривой) показано на плане тонкой сплошной линией длиной *L*. Кривая видимости показана толстой пунктирной линией. Потребное свободное расстояние до этой линии (стрелка) на плане и разрезах показано буквой *h*. Фактически имеющееся расстояние до заграждения показано буквой h_0.

УДУТ (ДІІТ)

заграждения представляет дугу круга, концентрическую с траекторией, а на касательных параллельную прямую.

Кроме траектории и линии заграждения, можно еще построить

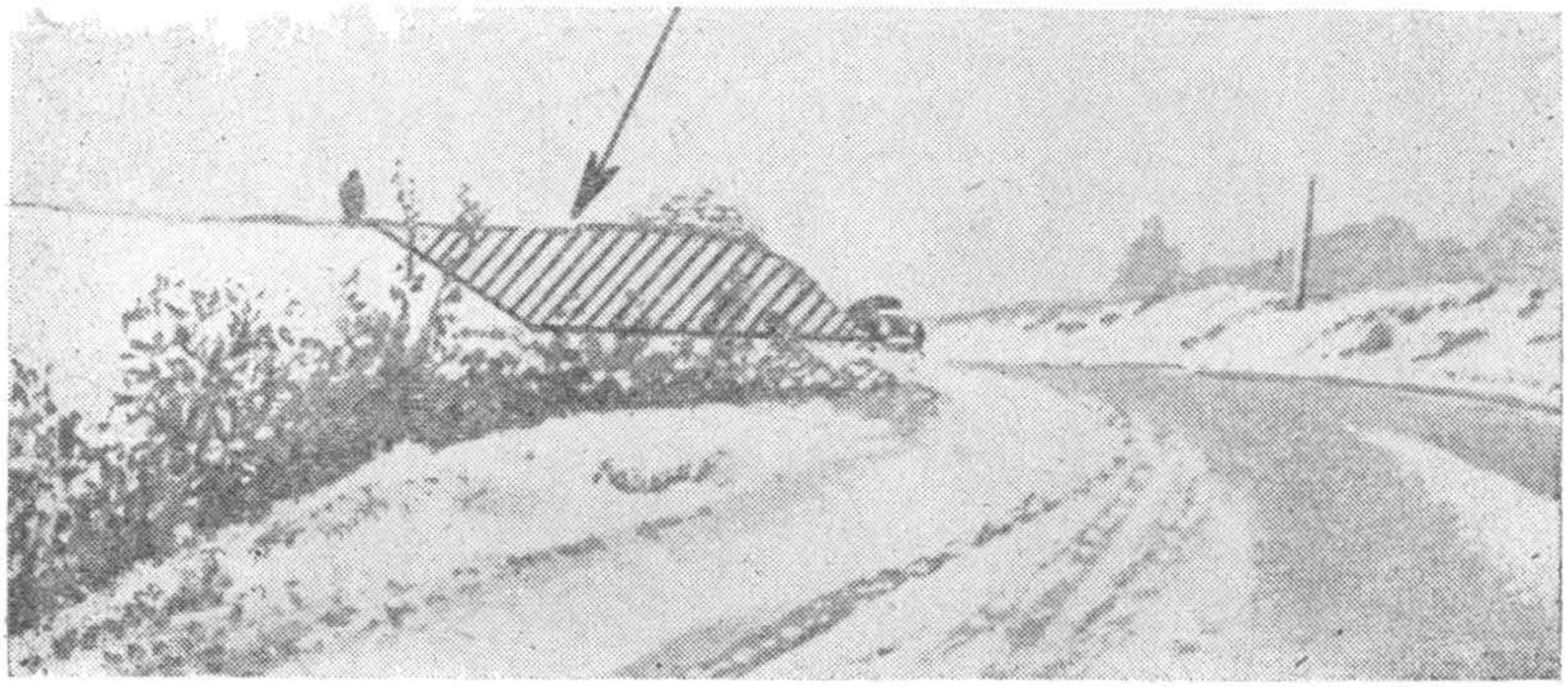


Рис. 102. Разделка откоса выемки (срезка бермы) для обеспечения видимости.

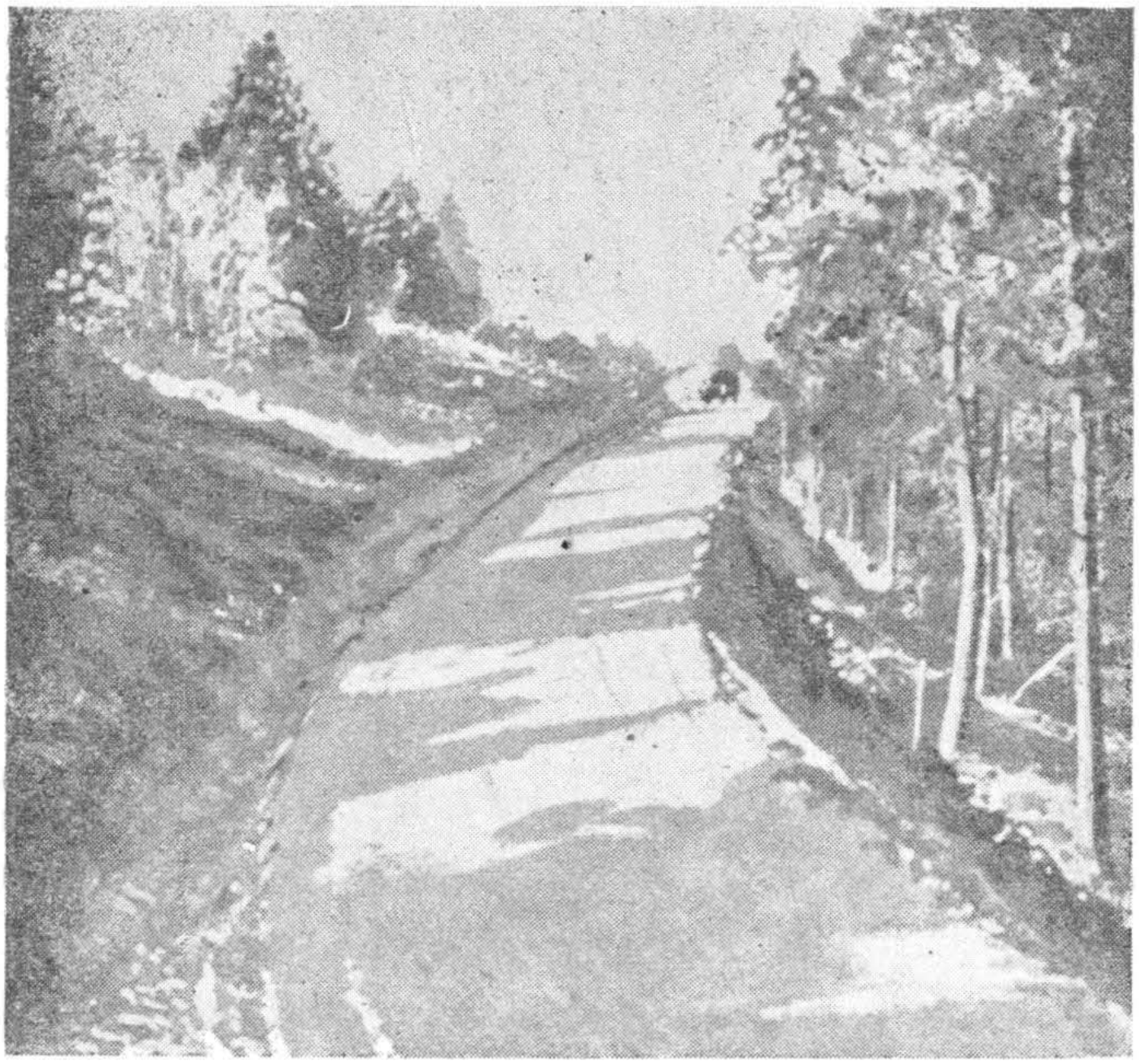


Рис. 103. Расчистка леса для обеспечения видимости.

третью линию, которую мы назовем кривой видимости (рис. 105). Эта кривая является обертывающей к лучам зрения. Лучи зрения должны быть построены таким образом, чтобы участок траектории движения автомобиля имел длину, равную заданной длине

НТБ УДУНТ (ДИТ)

видимости. Участок траектории может быть криволинейным на всей длине или на части; луч зрения соединяет две точки траектории (положение двух автомобилей или автомобиль и препятствие) наподобие хорды, стягивающей дугу. Так как необходимый путь торможения для остановки автомобиля лежит на траектории, то длину видимости надо отсчитывать именно по дуге, а не по хорде (рис. 105). Назначение длины видимости по хорде (т. е. по лучу) дает более простые результаты, но дающие некоторый запас видимости (дуга более хорды) и увеличение объема необходимой срезки откоса.

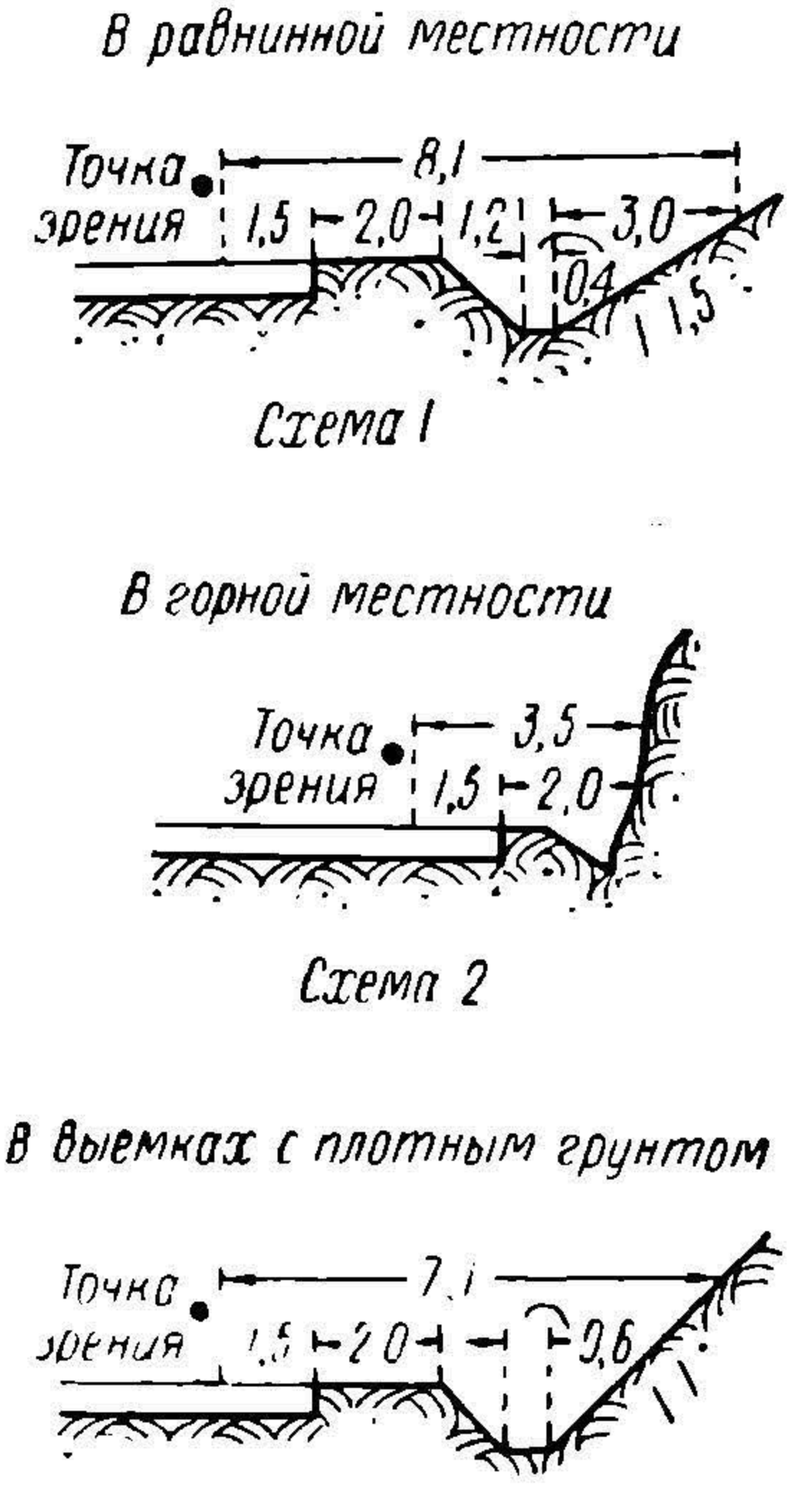


Рис. 104. Схема расчета нормального расстояния h_0 от траектории до линии заграждения, т. е. до откоса выемки (см. рис. 101, *в*):

1—в равнинной местности с мягкими грунтами при откосах 1: 1, 5; $h_0 = 8{,}1$ м; *2* — в горной местности в скальном грунте при вертикальных откосах $h_0 = 3{,}5$ м; *3*—в равнинной местности при плотных грунтах и при откосах 11; $h_0 = 7{,}1$ м.

Очевидно, для обеспечения видимости необходимо, чтобы кривая видимости была ближе к траектории, чем линия заграждения, т. е. чтобы $h < h_0$, как это было указано выше.

Если это условие не соблюдено, то (рис. 106) в тех пределах, где кривая видимости засекает линию заграждения, необходима серповидная срезка (разделка) откоса или расчистка выемки.

В общем, на закруглениях возможны три основных положения линии видимости (рис. 107):

1. При достаточно больших радиусах (рис. 107, *а*) линия видимости располагается по всей длине закругления ближе границы заграждения — срезки или расчистки не требуется.

2. При малых радиусах, но при соответственно малой величине угла поворота α_1, т. е. при коротких кривых (рис. 107, *б*) линия видимости не доходит до линии заграждения и в этом случае также не требуется ни срезки откоса, ни расчистки леса.

3. При малых радиусах и больших углах поворота (рис. 107, *в*) линия видимости засекает линию заграждения и поэтому требуется серповидная срезка откоса или расчистка леса (рис. 102, 103).

Как можно видеть из рис. 108, отрезок, равный пути видимости L, может занять по отношению к кривой одно из трех

НБ УДУНТ (ДІІТ)

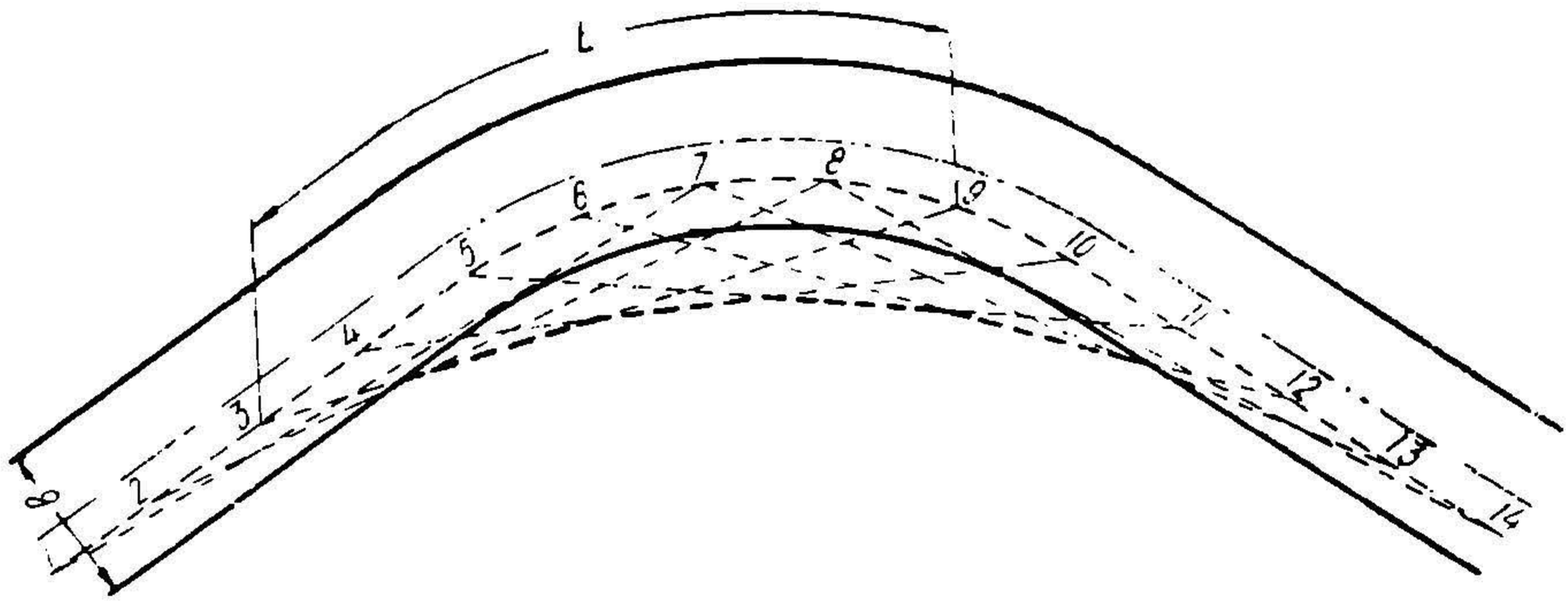


Рис. 105. Построение кривой видимости, как обертывающей к лучам зрения длиной *L*, проведенным из разных точек траектории *1, 2, 3 . . . 9.*

Кривая видимости в средней части представляет дугу круга, по краям—гипоциклоиду.

положений: 1) разместиться вне пределов кривой, если длина кривой меньше расстояния видимости, 2) совпасть своими концами с началом и концом кривой или 3) разместиться в пределах кривой, если длина кривой больше расстояния видимости. По существу третий случай совпадает со вторым.

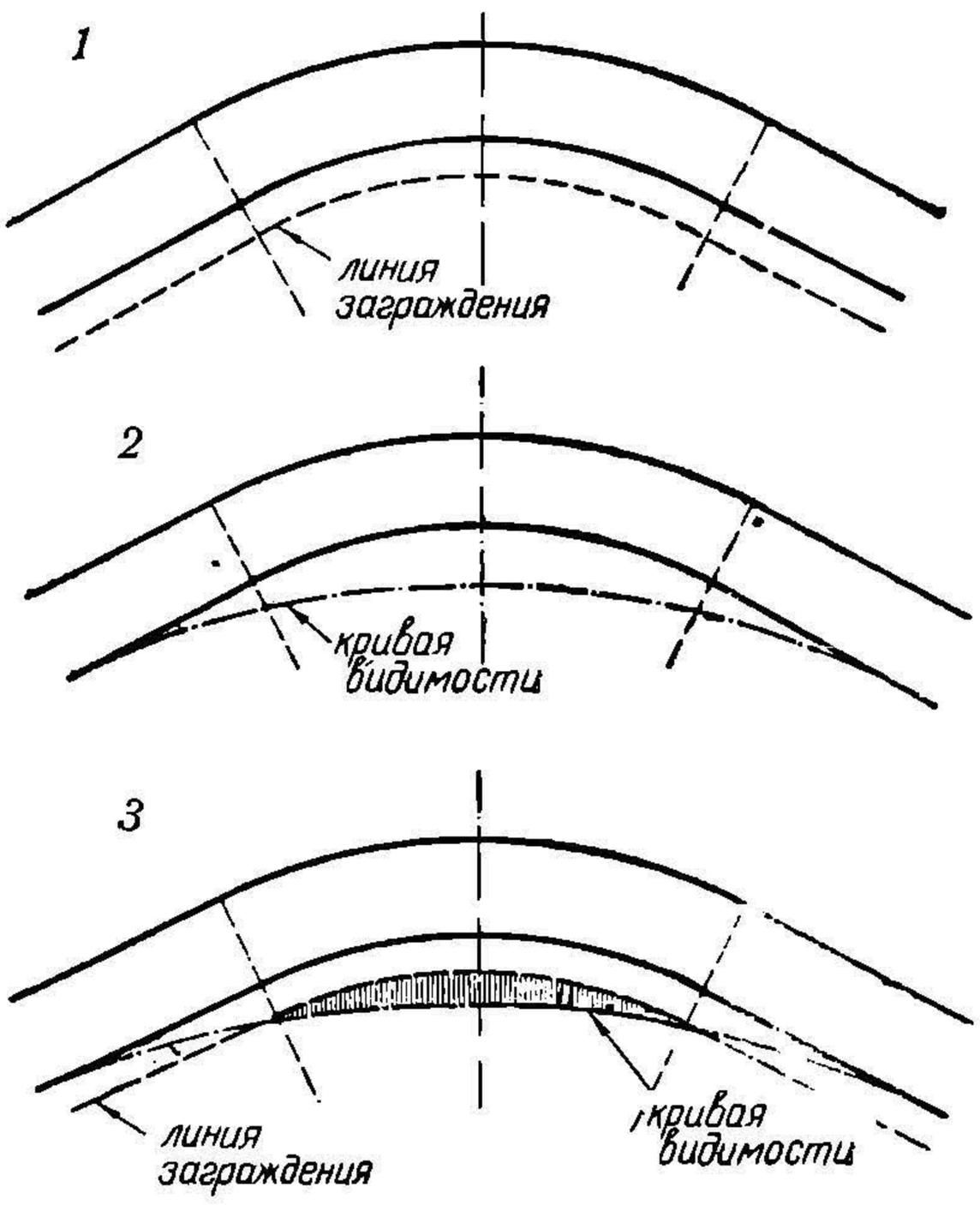


Рис. 106. *1*—линия заграждения (короткий пунктир); *2*—кривая видимости—длинный пунктир с точками; *3*—совмещение линии заграждения и кривой видимости; пределы серповидной срезки заштрихованы.

Зависимость между радиусом R, углом α и длиной видимости L, определяющими эти три положения видимости, может быть получена из рассмотрения элементарных свойств окружности (рис. 109*а* и *б*).

1-й случай. Длина кривой AB меньше расстояния видимости EDF. Из рис. 109-а получаем, что расстояние (стрелка) от траектории до линии видимости

$$h = DK = DL + LK;$$

$$DL = R_1 - R_1 \cos\frac{\alpha}{2} \text{ и}$$

$$LK = AD \sin\frac{\alpha^1}{2},$$

в свою очередь

$$AE = \frac{L - K}{2}$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Здесь R_1 — радиус траектории движения автомобиля, L — расстояние видимости, K — длина кривой.

Отсюда:

$$k = R_1 - R_1 \cos\frac{\alpha}{2} + \frac{L-K}{2}\sin\frac{\alpha}{2}. \qquad (а)$$

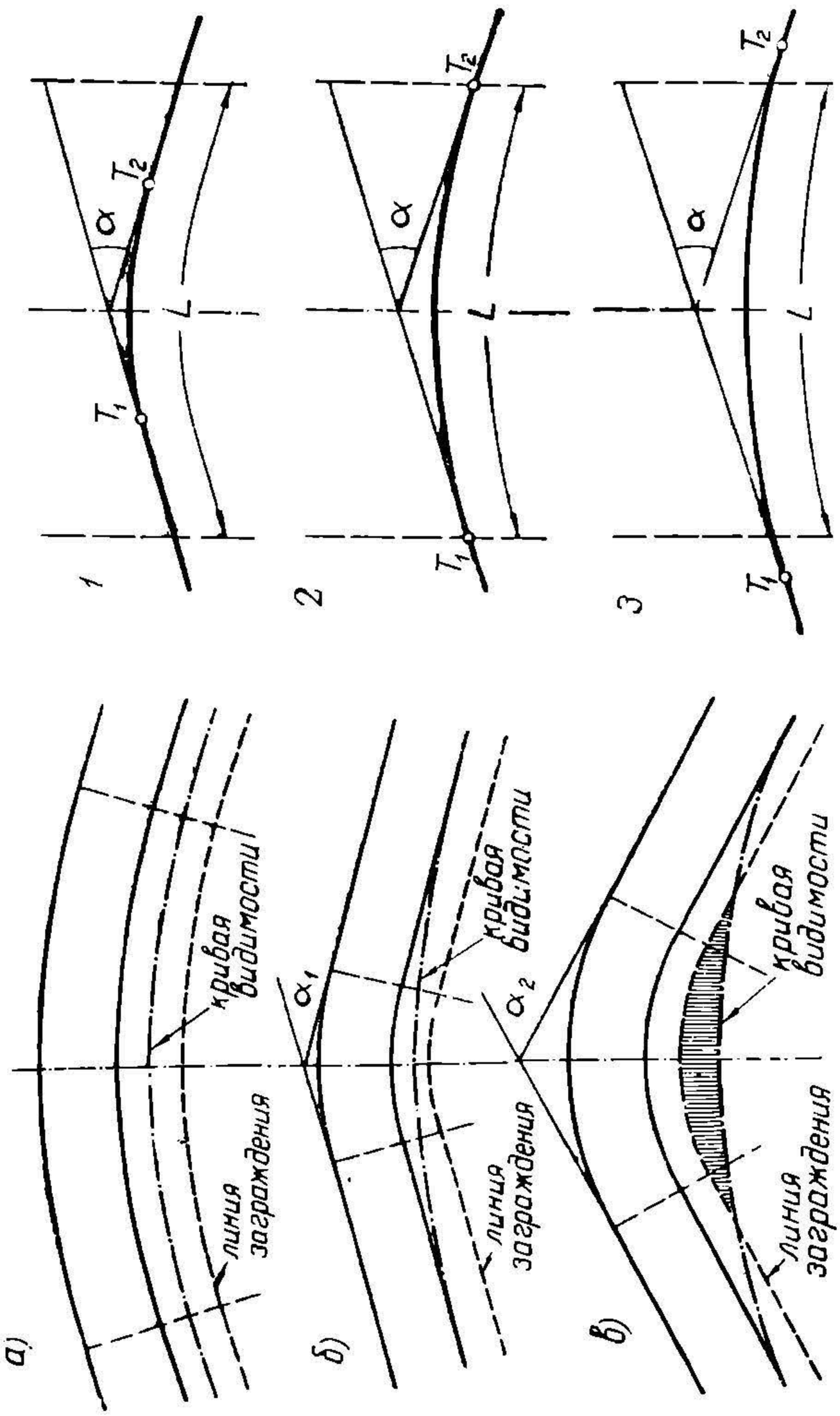


Рис. 108. Три возможных случая взаимного положения длины видимости L на круговой траектории автомобиля:

1 — длина L больше длины кривой $L > T_1T_2$; траектория движения автомобиля в этом случае состоит из прямых и дуги круга; *2* — $L = T_1T_2$; *3* — длина l меньше длины кривой $L < T_1T_2$. T_1 — обозначает начало, T_2 — конец кривой.

Рис. 107. Три основных случая взаимного расположения линии заграждения и кривой видимости:

а — кривая большого радиуса — кривая видимости расположена по всей длине ближе линии заграждения; разделки откоса не требуется; *б* — короткая кривая малого радиуса при малом угле поворота α_1; разделки не требуется; *в* — кривая малого радиуса при большом угле поворота α_2; разделка требуется.

Если $h_0 > h$, то видимость обеспечена. Разность $h - h_0$ показывает величину срезки по биссектрисе откоса выемки или величину вырубки леса или кустарника в залесенной местности.

2-й случай. Длина кривой AB больше расстояния видимости EDF. Из рис 109-б видно, что в этом случае расстояние $DK = h$ (стрелка) от траектории до линии видимости равно:

$$h = R_1 - R_1 \cos\frac{\alpha_1}{2} \qquad (б)$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

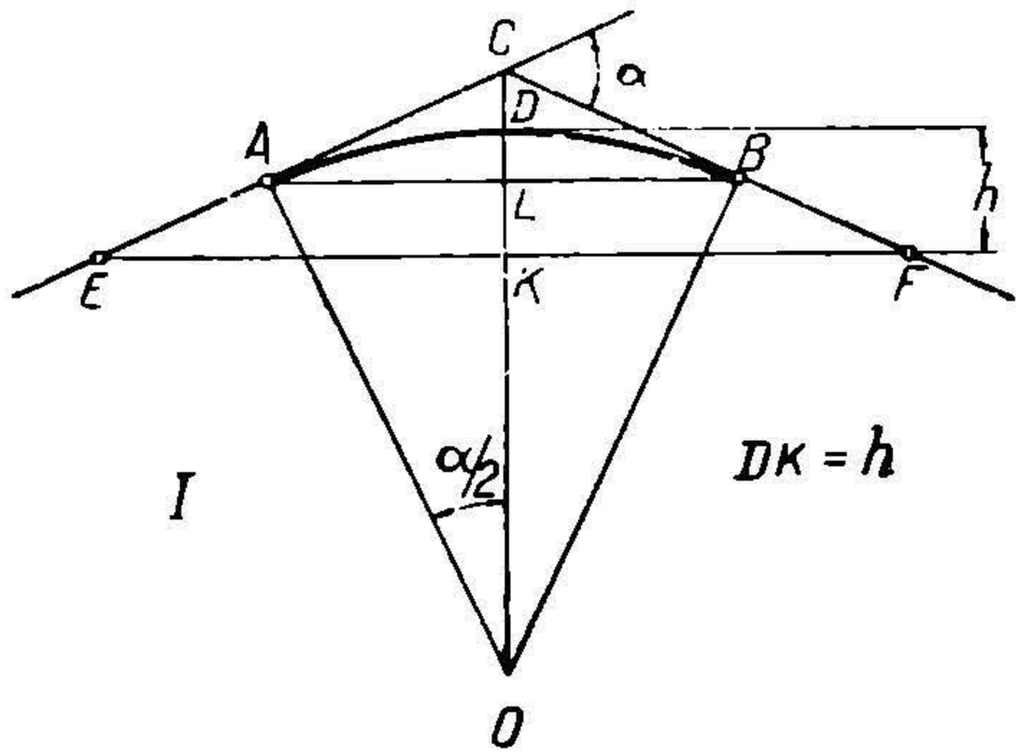


Рис. 109-а. Схема расположения основных размеров, определяющих условия видимости на круговой траектории.

Длина дуги *AB* меньше-длины видимости *EDF*.

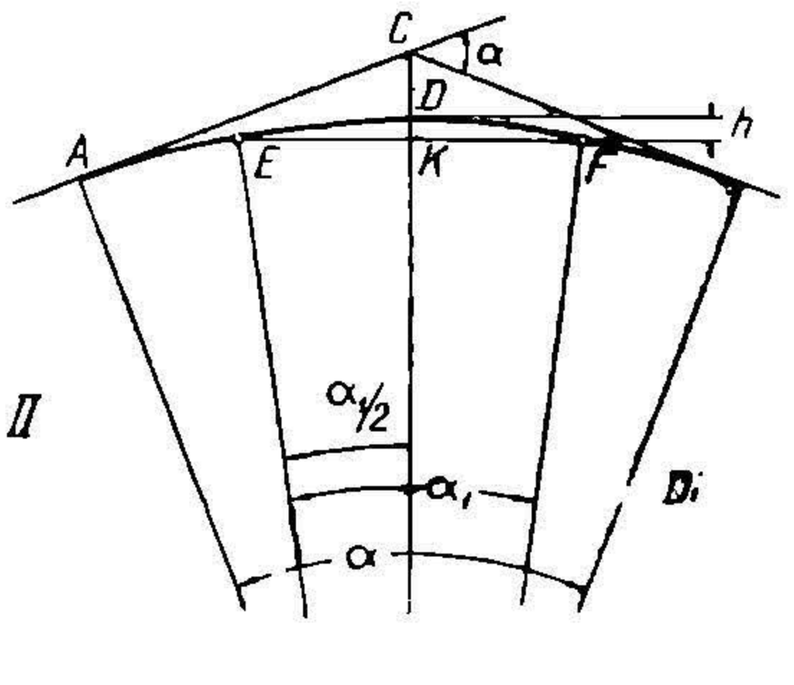
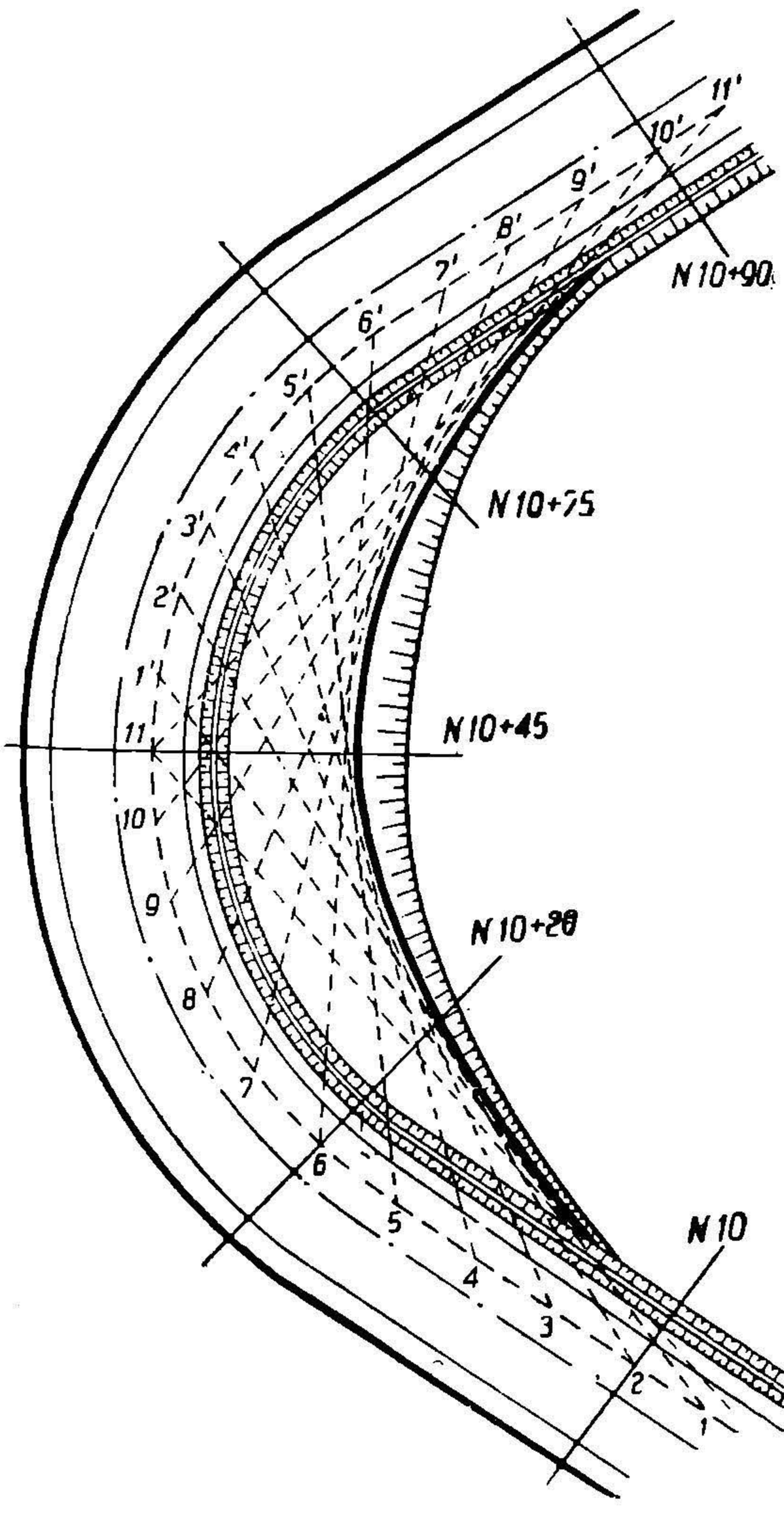


Рис. 109-б. Длина видимости *EDF* меньше длины дуги *AB*.



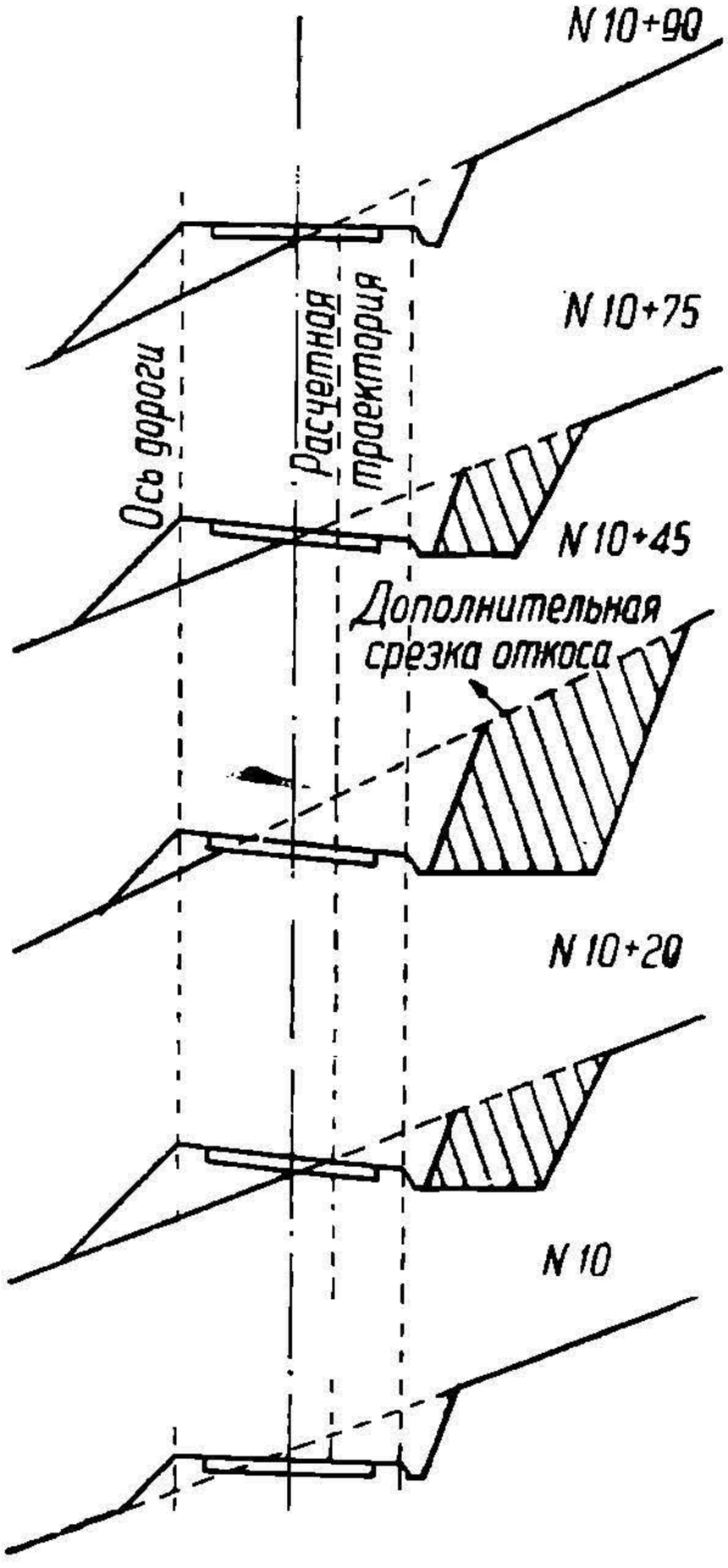


Рис. 110. Графический прием построения кривой видимости (обертывающей). Длина видимости отсчитывается по кривой траектории движения автомобиля. Сбоку показаны поперечные профили срезки откосов выемки для обеспечения видимости.

НВ УДУПТ (ДИТ)

где α_1 — угол, соответствующий дуге, равной расстоянию видимости L.

Угол α_1 может быть легко найден из формулы

$$\alpha_1 = \frac{180\,L}{\pi R_1}.$$

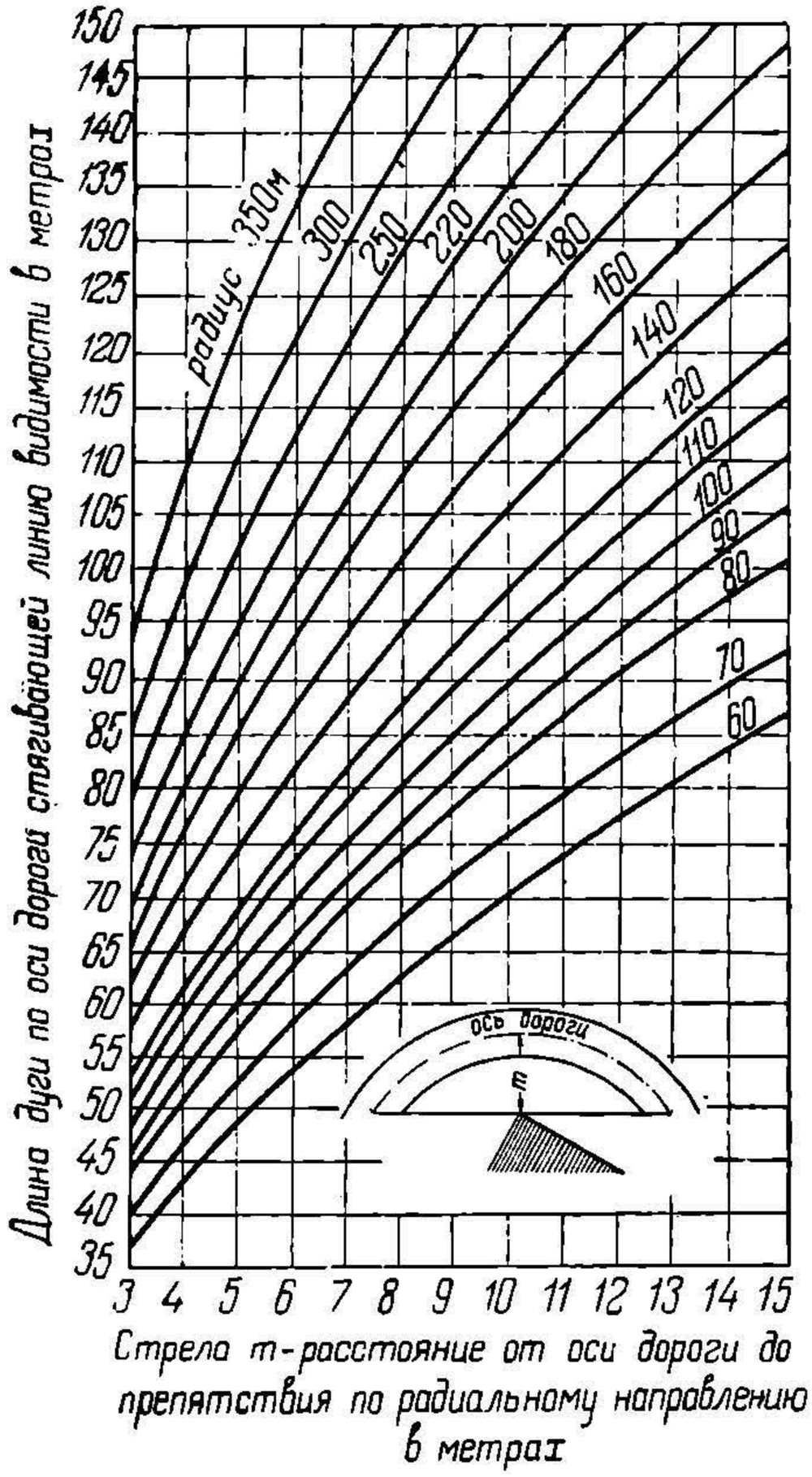


Рис. 111. График для определения величины срезки.

График показывает, при каких углах поворота и при каких минимальных радиусах обеспечивается заданная видимость без срезки откоса выемки.

Как формула (а), так и формула (б) дают значение h на середине кривой по биссектрисе, т. е. на участке с наиболее затрудненной видимостью. Если окажется, что по биссектрисе условия видимости соблюдены ($h_0 > h$), то и на всех остальных участках этой кривой видимость будет обеспечена.

В любом интересующем нас сечении условия видимости можно проверить аналитически, но способ этот громоздок, так как требует большого количества вычислений. Более простой и наглядный способ — графический. Он заключается в том, что расчетная траектория движения автомобиля (рис. 110) разбивается на отрезки по 2—5—10 м в зависимости от масштаба чертежа и желательной точности результатов. Отрезки эти должны укладываться целое число раз на расстоянии видимости. Затем точки на траектории движения автомобиля, отстоящие одна от другой на расстоянии видимости, соединяются между собой прямыми лучами. Обертывающая линия к проводимым лучам дает границу необходимого обеспечения видимости. Вычерчивая в нужном сечении черную линию с проектным нормальным поперечным профилем и нанося на него расстояние от оси движения автомобиля до обертывающей линии, можно выяснить, обеспечена ли видимость в рассматриваемом сечении и если не обеспечена, то какие работы требуется произвести. Чем круче откос и чем меньше размеры канавы по верху, тем условия видимости хуже, т. е. тем больше

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

требуется дополнительных работ (срезки или рубки) для обеспечения видимости.

Для облегчения выяснения условий видимости можно составить графики зависимости: между длиной дуги, радиусом и величиной стрелки m (рис. 111) или между шириной разделки, величиной угла α и радиусом (рис. 112).

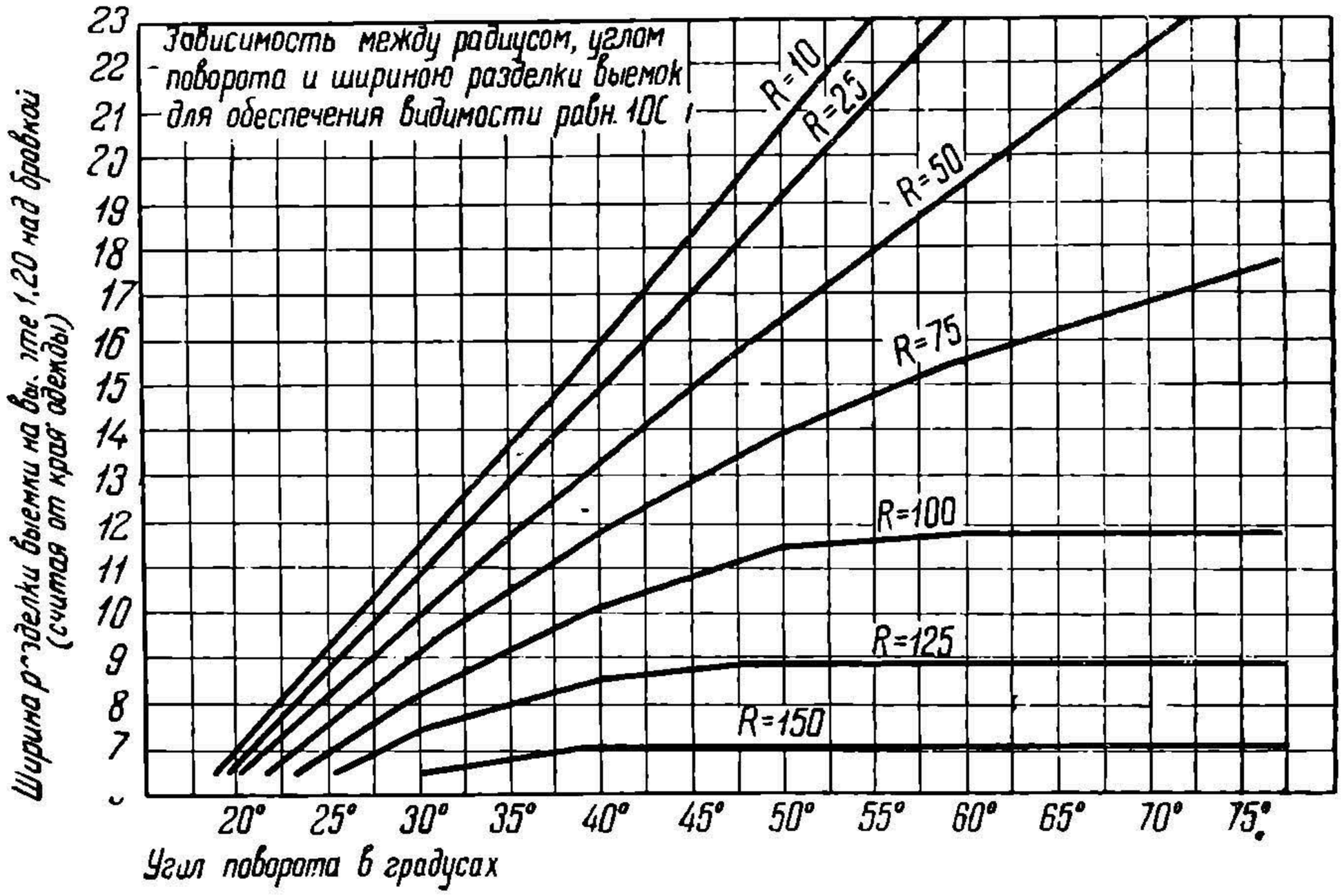


Рис. 112. График величины разделки (срезки) откоса выемки для обеспечения видимости $L = 100$ м при разных заданных радиусах и углах поворота.

Ширина разделки показана не от траектории, а от внутренней кромки. Поэтому, например, для $R = 50$ м; $\alpha = 40°$; $h = 8{,}1$; ширина разделки требуется $13{,}5 - 8{,}1 = 5{,}4$ м.

49. Расчетные схемы видимости на закруглениях, в плане и в поперечном профиле дороги

Кроме изложенной в предыдущем параграфе практической задачи определения величины срезки на разных кривых для заданной длины видимости имеется еще проблема назначения расчетного расстояния видимости в зависимости от скорости движения автомобиля и характера препятствия на пути движения. Назначение расчетного расстояния видимости связано с кинематикой и динамикой движения автомобиля.

В зависимости от устройства проезжей части дороги, значения дороги и условий движения по ней принимается та или иная схема обеспечения видимости.

Все расчетные схемы видимости можно разбить на две основные группы: торможение и объезд.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Первая группа расчетных схем обеспечивает безопасность движения, так как при условии их соблюдения автомобиль должен успеть остановиться до препятствия на дороге или до столкновения со встречной машиной.

Вторая группа расчетных схем—объезд—обеспечивает бесперебойность движения, так как позволяет не уменьшать скорости.

На дорогах высшего класса следует обеспечивать бесперебойность и безопасность движения; для дорог более низкого класса можно было бы ограничиться обеспечением лишь безопасности движения.

В первую группу—торможение—входят следующие четыре схемы:

Iа. Торможение перед остановившимся впереди автомобилем (рис. 113).

Iб. Торможение перед лежащим на дороге препятствием (рис. 114).

Iв. Торможение перед разрушенным участком дороги (рис. 115).

Iг. Торможение двух идущих навстречу друг другу автомобилей (рис. 116).

Очевидно, что как тормозной путь, так, следовательно, и путь обеспеченной видимости для трех схем—Iа, Iб и Iв—будет при той же скорости движения одинаковым; однако все эти три схемы требуют для своего осуществления различного объема работ (в особенности для осуществления видимости в продольном профиле) и поэтому должны рассматриваться отдельно.

Схема Iа может применяться в качестве расчетной для дорог высшего класса с резко разделенными полосами для движения в разных направлениях (проезжие части, размещаемые каждая на отдельном земляном полотне, две проезжие части с разделительной полосой между ними (см. рис. 36, 37).

Схема Iб является несколько более жесткой по сравнению со схемой Iа и требует большего объема работ. Вместе с тем, схема эта не является достаточно четкой, так как для обеспечения видимости низкого предмета на дороге требуется видимость и самой дороги; если дорога не видна, то можно принять лежащими на дороге такие предметы, которые в действительности находятся вне пределов проезжей части (рис. 117). Поэтому схему эту, как основную, принимать не следует.

Схема Iв должна приниматься на дорогах, обслуживающих местное движение, а на государственных дорогах высших классов лишь при особых заданиях для стратегических дорог, так как только в условиях военного времени на проезжей части дороги могут оказаться разрушения, препятствующие движению с расчетными скоростями. Принятие этой схемы обеспечивает видимость и по схемам Iа и Iб. Следует, однако, иметь в виду, что обеспечение видимости по схеме Iв требует значительно большего количества работ, чем по схеме Iа и даже по схеме Iб.

Схема Iг может быть принята как расчетная для дорог с нерезко выделенными для разных направлений полосами движе-

НБ УДУ ИТ (ДІТ)

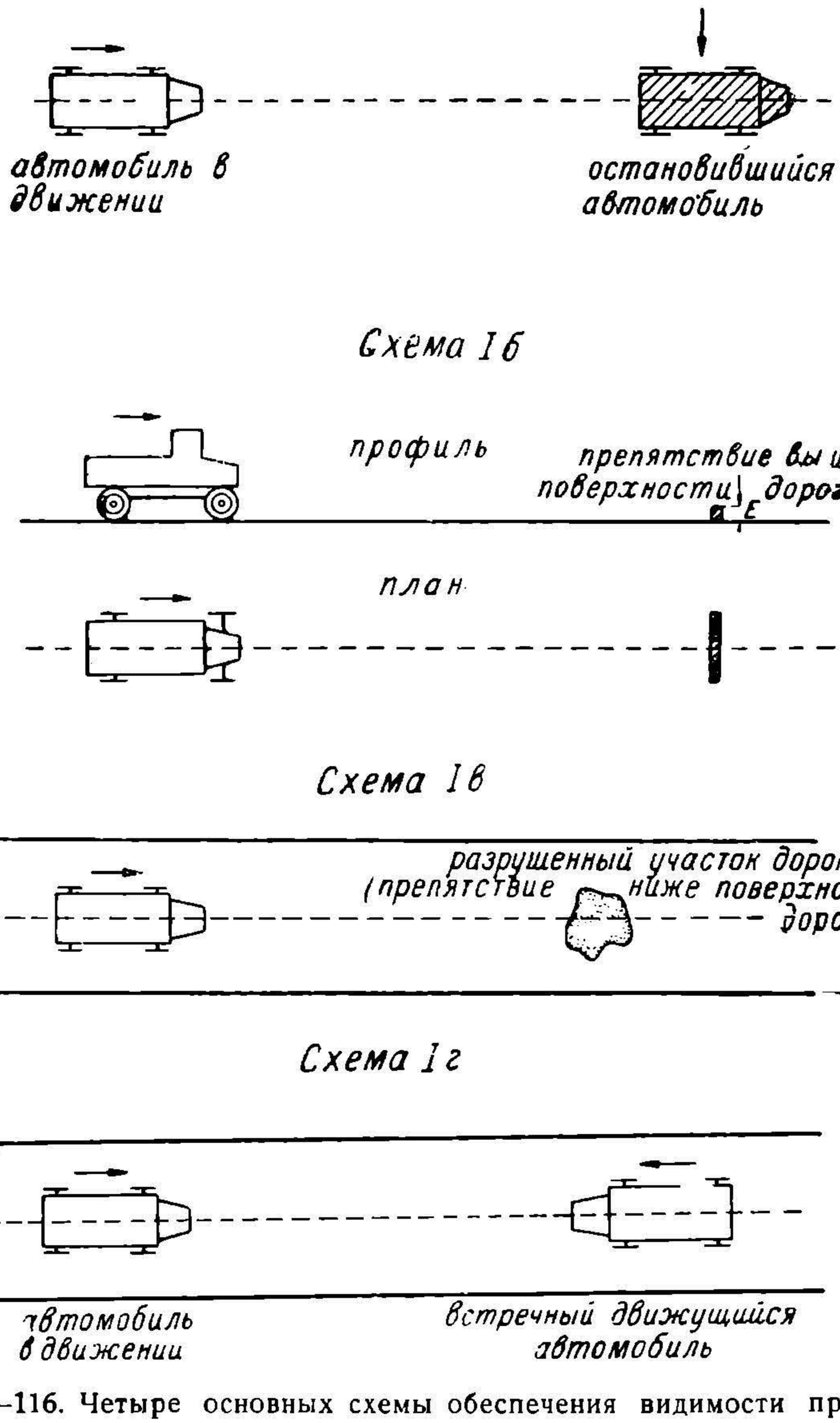


Рис. 113—116. Четыре основных схемы обеспечения видимости при условии торможения, т. е. остановки машины перед различными препятствиями.

ния, когда возможно движение не по своей полосе (например, в случае обгона).

Во вторую группу—объезд—могут входить пять схем:

IIа—объезд остановившегося впереди автомобиля (рис. 118).

IIб—объезд лежащего на дороге препятствия (рис. 119).

IIв—объезд разрушенного участка дороги (рис. 120).

НБ УДУНТ (ДИТ)

IIг—разъезд с автомобилем, идущим навстречу, причем встречный автомобиль продолжает двигаться по своему пути (рис. 121).

IIд—разъезд с автомобилем, идущим навстречу, причем сворачивают оба автомобиля (рис. 122).

Схема IIа применима, как и схема Iа, для государственных дорог высшего класса с широкой проезжей частью и с четко разделенными полосами для движения в разных направлениях.

Схема IIб не может быть принята за основную по тем же соображениям, что и схема Iб.

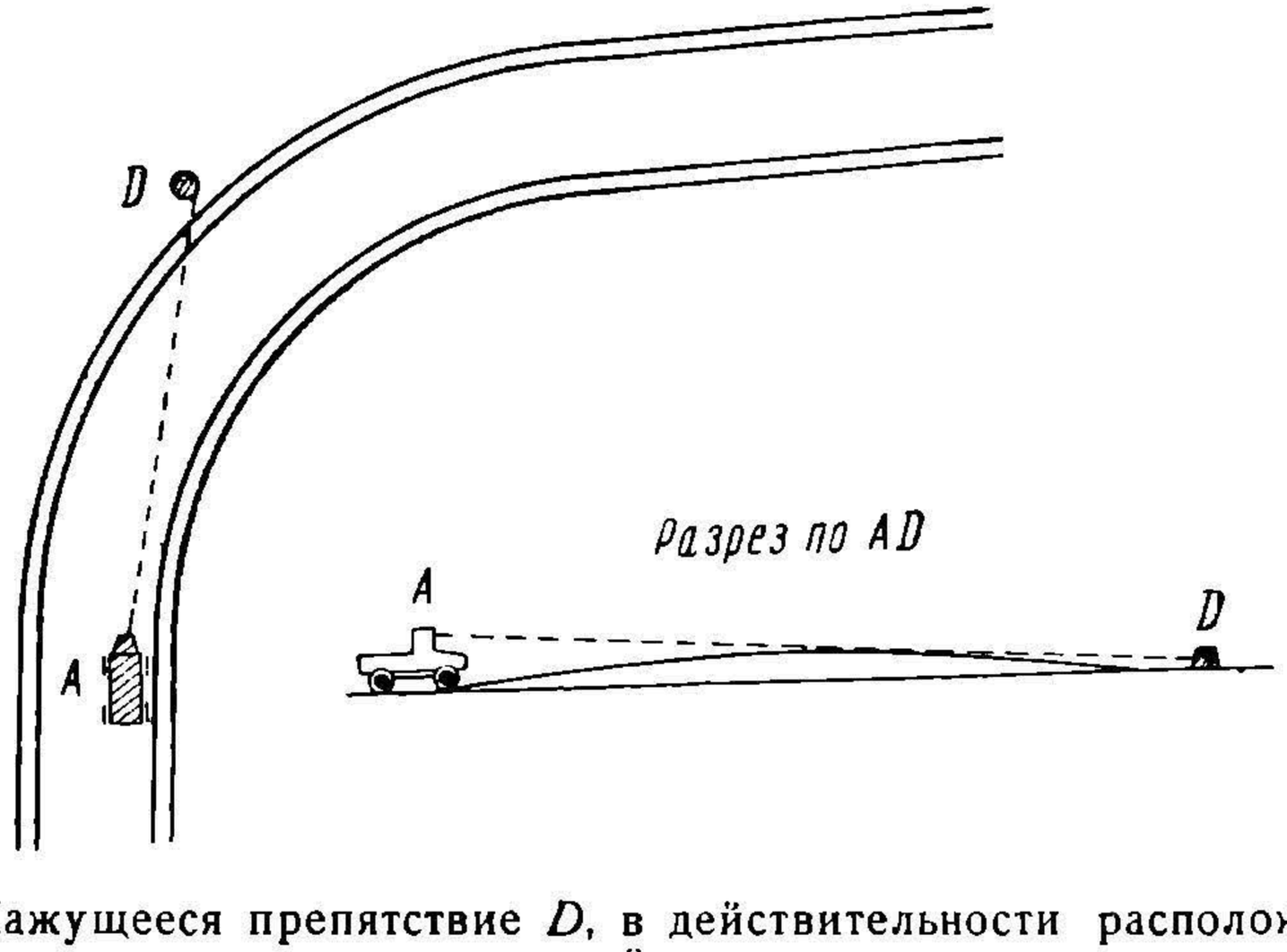


Рис. 117. Кажущееся препятствие *D*, в действительности расположенное вне дорожной полосы.

Схема IIв применима на дорогах высшего класса при особых заданиях; на дорогах, обслуживающих местное движение при неширокой проезжей части, эта схема не обеспечит безопасности, так как при объезде справа автомобиль может попасть на обочину, недопускающую ту же скорость движения, что и проезжая часть; при объезде слева может произойти столкновение со встречной машиной.

Схема IIг предъявляет жесткие требования, редко встречающиеся в действительности, так как предусматривает такое движение, при котором встречная машина не сворачивает, а вместе с тем и не уменьшает скорости.

Схема IIд применима для дорог с неразделенной на разные направления проезжей частью.

Для определения расчетного расстояния видимости, в каждом случае в зависимости от класса и назначения проектируемой дороги, выбирают одну или несколько из перечисленных схем, исходя из условий движения (например, для автомагистрали с четко специализированными полосами движения отпадут схемы со встречными машинами: Iг, IIг, IIд). По выбранным схемам определяются расчетные расстояния видимости. Если необходимо

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

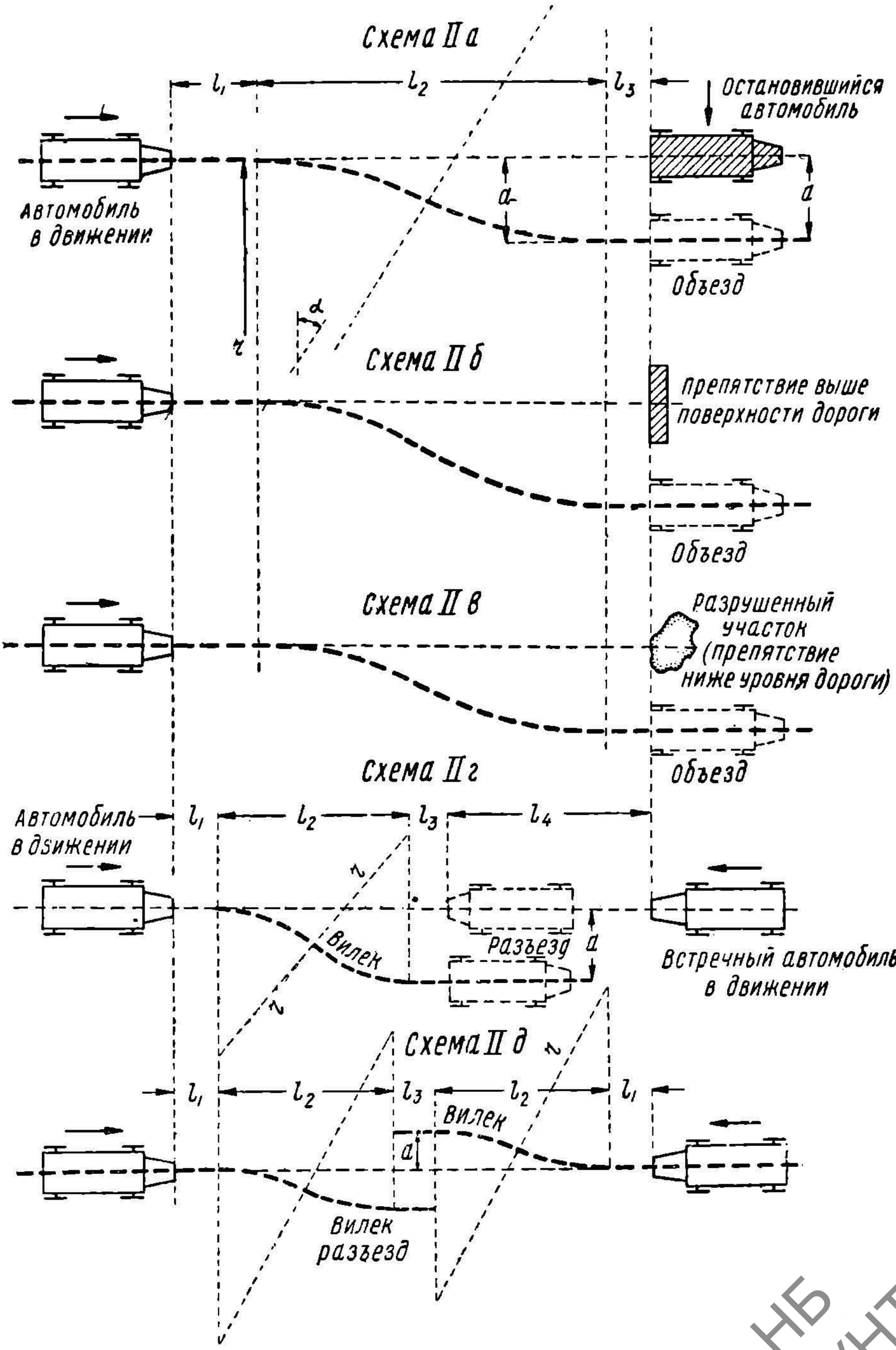


Рис. 118—122. Пять схем видимости при объезде машиной препятствий (вилек, без остановки и без торможения.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

обеспечить и безопасность и бесперебойность движения, — следует остановиться на большем значении пути видимости. Для дорог, обслуживающих местное движение, можно было бы окончательно остановиться лишь на схемах торможения, а для схем объезда произвести только подсчеты требуемого, при осуществлении этих схем, уменьшения скорости. Расчетная ось движения

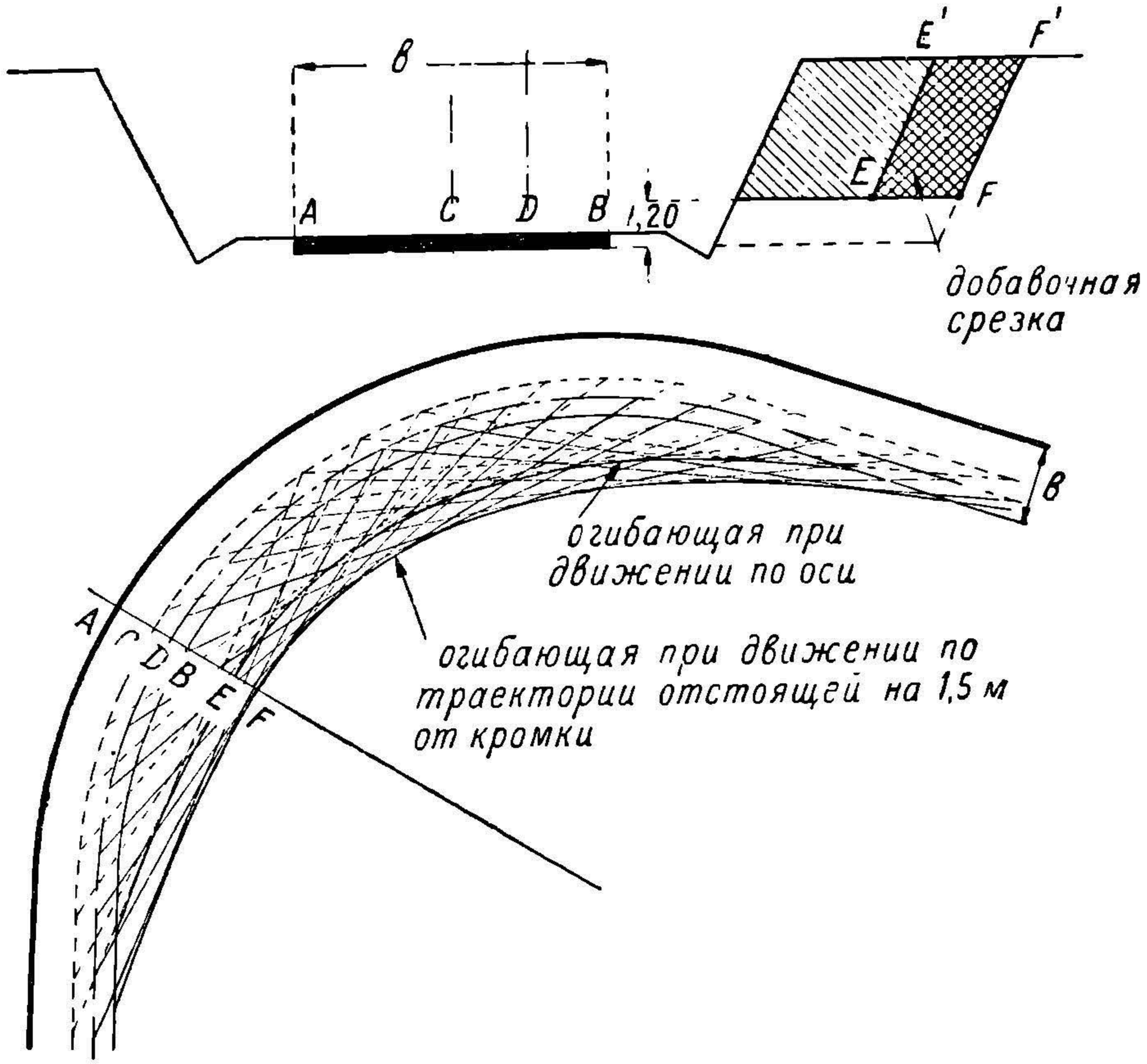


Рис. 123. Увеличение земляных работ по обеспечению видимости, в случае расположения расчетной траектории движения обоих встречных автомобилей по внутренней полосе проезжей части (глаз на 1,5 м от внутренней кромки проезжей части).

Огибающая лучей видимости, по сравнению с огибающей, построенной при условии движения автомобилей по оси дороги, отодвигается в сторону откоса на величину *EF*. При этом добавочные работы характеризуются на поперечнике *AF* площадью *EE'F'F* (см. поперечный профиль).

автомобилей в плане, при вычислении расстояния видимости, должна располагаться таким образом, чтобы обеспечить видимость при возможном наиболее неблагоприятном случае. Например, при определении расстояния видимости по схеме Iг на неширокой (состоящей всего из двух полос движения) дороге та-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ким неблагоприятным случаем будет движение обоих автомобилей по внутренней полосе, так как при этом необходимо будет сделать большую срезку откоса или вырубить большое количество деревьев (рис. 123).

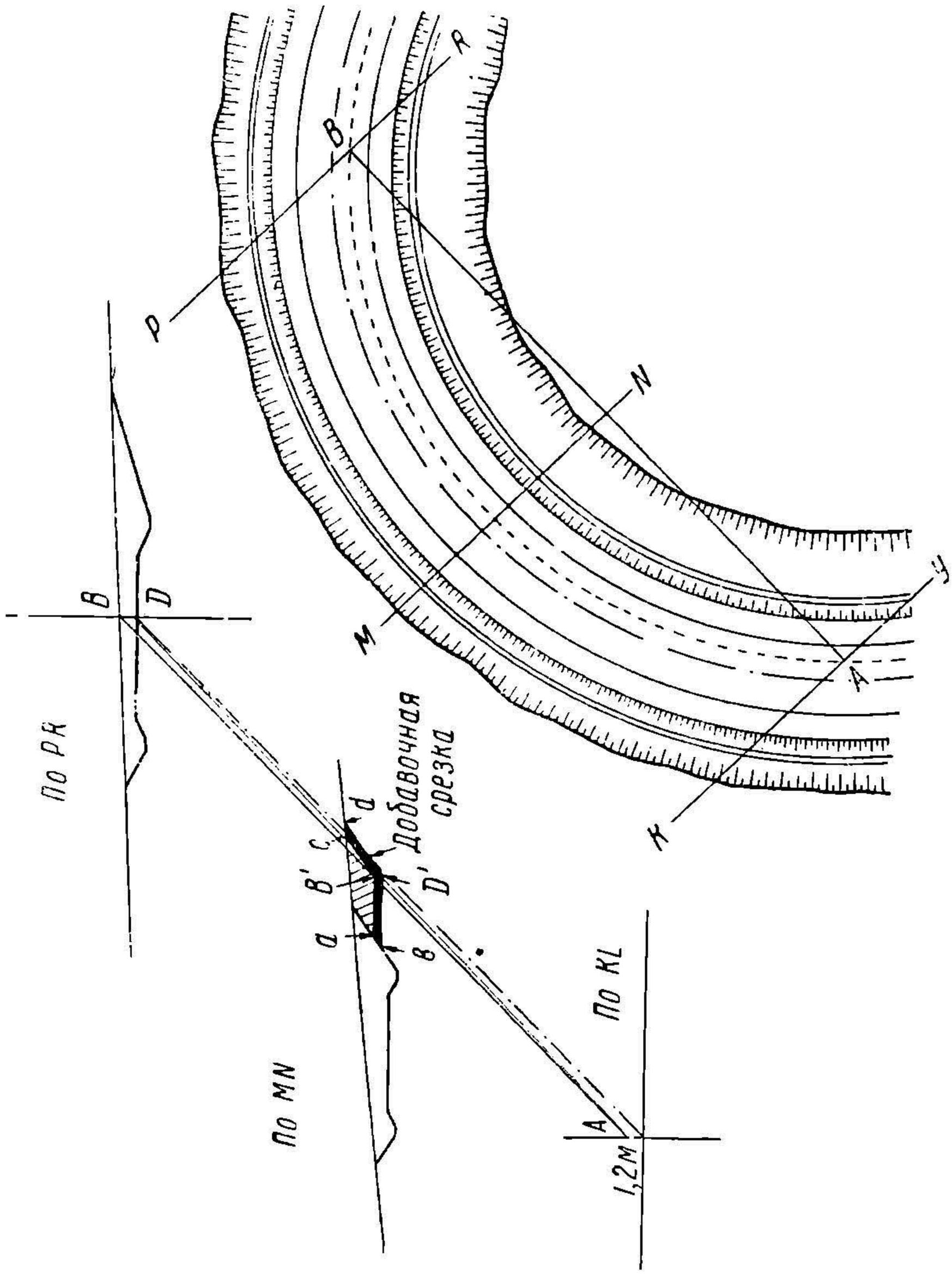


Рис. 124. Увеличение работ при обеспечении видимости дороги (а не видимости автомобиля).
Луч зрения *AB* расположен на 1,2 м выше кромки проезжей части. Луч *AD'* на поперечнике *KL* расположен тоже на 1,2 м выше кромки, а на поперечнике *PR* совпадает с уровнем кромки.
На поперечнике *MN* (посредине) для обеспечения видимости дороги в плане требуется добавочная площадь срезки *ab'cdD'b*.

Принятие той или иной схемы влечет за собой разные количества работ для обеспечения видимости, так как объем срезки зависит от расположения лучей и огибающей эти лучи кривой видимости.

Для схем с требуемой видимостью автомобиля, идущего навстречу, как это видно из рис. 124, требуется меньше работ, чем для схем с видимостью препятствия на дороге или самой доро-

НБ УДУНТ (ДИТ)

ги при одинаковом расстоянии видимости. В первом случае луч зрения AB проходит выше, так как достаточно видеть верх автомобиля; при видимости же дороги луч зрения должен итти ниже (AD).

Высота луча зрения зависит также и от расположения глаза водителя; в зависимости от конструкции автомобиля эта высота несколько меняется: на грузовых автомобилях и автобусах она выше и колеблется от 1,5 до 1,6 м, на легковых — несколько ниже (от 1,1 до 1,25); при расчетах обычно принимается высота глаза водителя в 1,2 м. На мотоцикле высота глаза не более 1 м.

50. Определение расстояния видимости

Расстояние видимости зависит от выбранной схемы видимости, от скорости движения и от состояния покрытия дороги.

Как это уже отмечалось выше, для схем Iа, Iб и Iв расстояние одно и то же. Расстояние видимости складывается из трех участков:

$$L = l_1 + l_2 + l_3,$$

а) участка l_1 — движения автомобиля с расчетной скоростью, на котором водитель заметил препятствие на дороге, но тормоза еще не приведены в действие;

б) участка l_2, на котором происходит торможение автомобиля и

в) участка l_3 — небольшого запаса в расстоянии (приблизительно до 10 м).

Первый участок — l_1 зависит от квалификации водителя автомобиля (от быстроты реагирования его на замечаемые им препятствия) и от тормозных устройств; с некоторым запасом этот участок можно принять за путь, проходимый автомобилем за 1 сек., т. е. численно этот участок равен скорости ($l_1 = v$) м/сек.

Второй участок l_2 может быть определен из рассмотрения условий торможения автомобиля. Худшим расчетным случаем будет торможение на уклоне.

Как было указано в § 25 стр. 68, длина тормозного пути

$$l_2 = s = \frac{v^2}{2g(\varphi + w - i)}.$$

В данном случае вместо φ надо подставить величину продольного сцепления φ_1.

Если же скорость выражена в км/час, то формула для l_2 примет вид:

$$l_2 = \frac{V^2}{254(w + \varphi_1 - i)}.$$

Расстояние видимости для схем Iа, Iб и Iв будет, следовательно, равно:

$$L_{Iа, б, в} = \frac{V}{3{,}6} + \frac{V^2}{254(w + \varphi_1 - i)} + l_3.$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Расстояние видимости по схеме Iг (см. рис. 116) определится подобно схемам Iа, б, в, с той лишь разницей, что в этом случае придется учитывать движение двух встречных автомобилей.

В общем виде расстояние видимости для схемы Iг:

$$L_{\text{Iг}} = \frac{V_1 + V_2}{3{,}6} + \frac{V_1^2}{254\,(w + \varphi_1 - i_1)} + \frac{V_2^2}{254\,(w + \varphi_1 - i_2)} + l_3\,,$$

где V_1 и V_2 — расчетные скорости движения обоих автомобилей в км/час; i — продольный уклон пути, по которому движется первый автомобиль; i_2 — продольный уклон пути, по которому движется второй автомобиль.

Уклон i считается положительным при спуске и отрицательным при подъеме.

Эта формула может быть упрощена, если принять величины скоростей обоих автомобилей равными и встречу их на склоне с одним проектным уклоном; тогда

$$L'_{\text{Iг}} = \frac{V}{1{,}8} + \frac{V^2}{254\,(w + \varphi_1 - i)} + \frac{V^2}{254\,(w + \varphi_1 - i)} + l_3 =$$

$$= \frac{V}{1{,}8} + \frac{V^2\,(\varphi_1 + w)}{127\,[(w + \varphi_1)^2 - i^2]} + l_3.$$

Без особой погрешности можно рассматривать движение по этой схеме, происходящим на горизонтальной площадке; тогда $i = 0$;

$$L''_{\text{Iг}} = \frac{V}{1{,}8} + \frac{V^2}{127\,(\varphi_1 + w)} + l_3.$$

Расстояние видимости по схемам IIа, IIб и IIв одинаково и может быть при рассмотрении этих схем также разбито на три части (рис. 118—120):

а) l_1 — путь движения автомобиля с нормальной скоростью за время от момента обнаружения на дороге препятствия до начала поворота автомобиля;

б) l_2 — путь при объезде препятствия и

в) l_3 — запас в пути.

Так же как в предыдущих схемах, l_1 можно принять за путь, проходимый в 1 сек., т. е. если скорость v выражена в м/сек., то $l_1 = v$.

l_2 — путь объезда зависит от расстояния a, на которое требуется отклониться и от допустимого радиуса поворота r.

Если принять обозначения, указанные на рис. 118, то $l_2 =$

$= 2r \sin\alpha$; $\sin\alpha = \sqrt{1 - \cos^2\alpha} = \sqrt{1 - \left(\frac{2r - a}{2r}\right)^2} = \frac{1}{2r}\sqrt{4ra - a^2}$,

откуда

$$l_2 = \sqrt{4ra - a^2}\,;$$

$$r = \frac{V^2}{g\,(\varphi_3 - i_0)} = \frac{V^2}{127\,(\varphi_3 - i_0)},$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

где V — скорость движения автомобиля в км/час; $\varphi_3 = 0{,}7\,\varphi$ — коэфициент сцепления на кривой при отсутствии торможения;

i_0 — поперечный уклон проезжей части.

Таким образом

$$L_{\text{IIа, б, в}} = v + \sqrt{4ra - a^2} + l_3$$

или

$$L_{\text{IIа, б, в}} = \frac{V}{3{,}6} + \sqrt{4ra - a^2} + l_3.$$

Для определения расстояния видимости по схеме IIг можно все расстояние разбить на следующие части (рис. 121): l_1, l_2, l_3 и l_4; значения l_1, l_2 и l_3 те же, что и в схемах IIа, б, в. Отрезок l_4 представляет собой расстояние, проходимое вторым автомобилем в то время, когда первый автомобиль сделает путь $l_1 + l_2$.

Тогда, если обозначить через v_2 — скорость второго автомобиля в м/сек., то можно написать:

$$L_{\text{IIг}} = v_1 + \sqrt{4ra - a^2} + v_2 + \frac{v_2}{v_1}\sqrt{4ra - a^2} + l_3.$$

Здесь: v_2 — путь, проходимый вторым автомобилем за время, в которое первый автомобиль проходит путь v_1 (и тот тельно, и другой автомобиль этот путь проходят за 1 сек. и следовапуть численно равен скорости);

$\sqrt{4ra - a^2}$ — путь объезда, проходимый первым автомобилем; движение на пути l_2 будет происходить $\sqrt{\frac{4ra - a^2}{v_1}}$ сек. и, следовательно, за это время второй автомобиль, двигающийся со скоростью v_2 м/сек. пройдет путь $\frac{v_2}{v_1}\sqrt{4ra - a^2}$.

Если принять расчетные скорости движения встречных автомобилей равными, т. е. $v_1 = v_2$, то

$$L_{\text{IIг}} = 2v + 2\sqrt{4ra - a^2} + l_3$$

или, если выразить скорости в км/час, то

$$L_{\text{IIг}} = \frac{V}{1{,}8} + 2\sqrt{4ra - a^2} + l_3.$$

Величину a можно принять для схем объезда неподвижных препятствий в 3 м; для схем разъезда со встречными автомобилями в 4 м. Расстояние видимости для схемы IIд определится подобно схеме IIв.

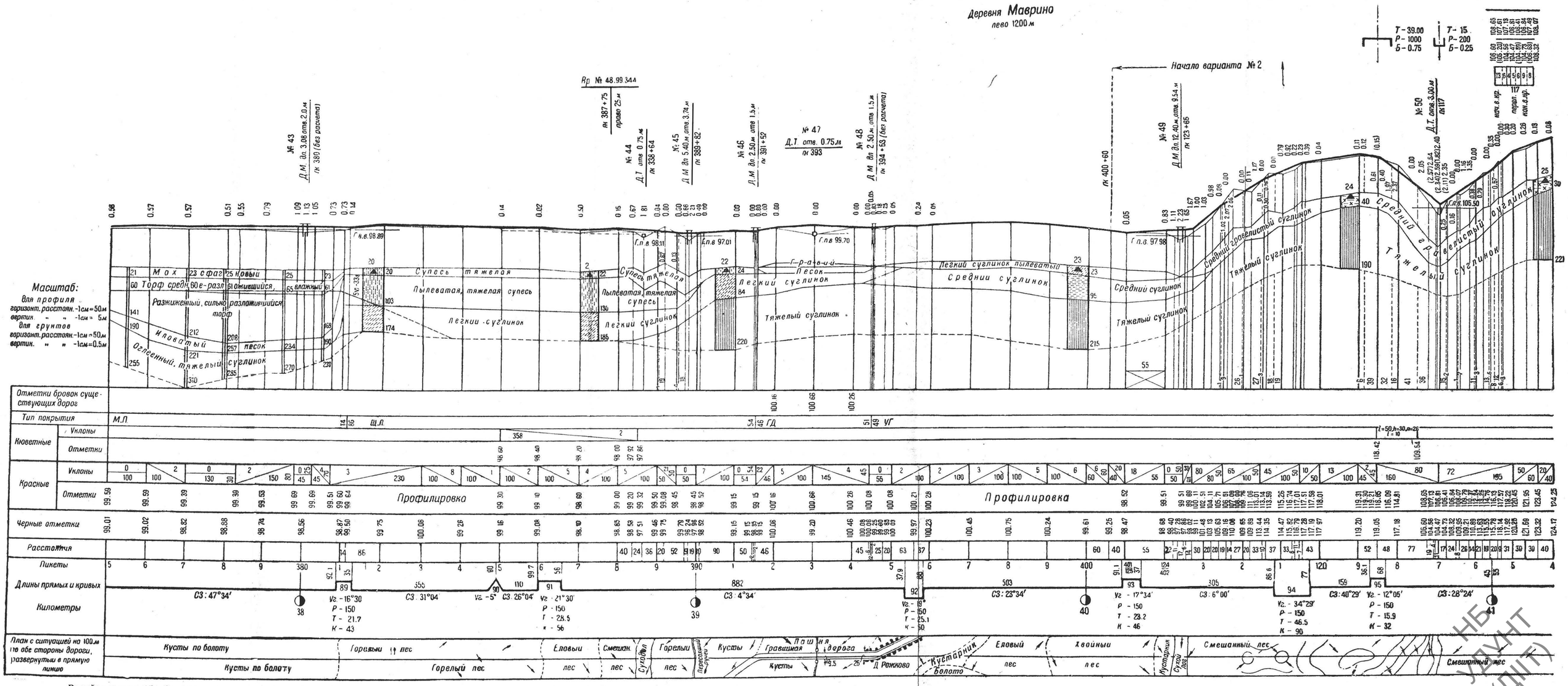
При равных скоростях движения встречных машин (рис. 122)

$$L_{\text{IIд}} = 2v + 4\sqrt{\frac{ra}{2} - \frac{a^2}{4}} + l_3 \text{ при } v \text{ в м/сек.}$$

$$L_{\text{IIд}} = \frac{V}{1{,}8} + 4\sqrt{\frac{2a}{2} - \frac{a^2}{4}} + l_3 \text{ при } V \text{ в км/час.}$$

Из приведенных выше формул видно, что расстояние видимости тем больше, чем больше скорость и чем меньше коэфициент сцепления.

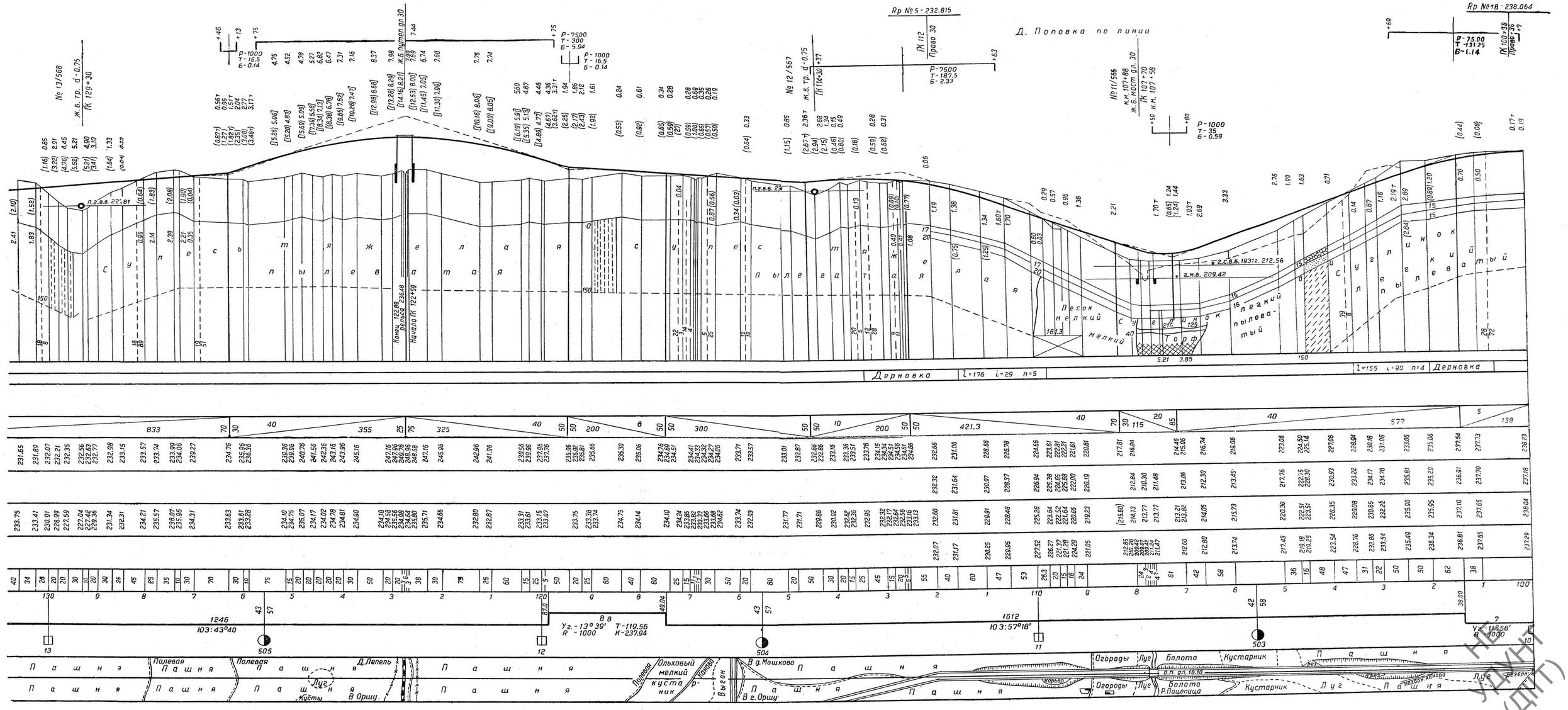
НБ УДУНТ (ДІІТ)



Вклейка к стр. 151. Основы проектирования автодорог.

Рис. 125. Продольный профиль автомобильной дороги (ОСТ 7657).

НБ УДУНТ (ДИТ)


Rp №5 - 232.815
Rp №18 - 238.064
Д. Половка по линии
№ 13/568
Ж.б. тр. d - 0.75
ПК 129+30
№ 12/567
ПК 114+30
№ 11/566
ПК 107+88
ПК 107+70
ПК 107+58
ПК 100+38
Прав 30
Прав 30
Прав 30
Ж.б. путеп. гр. 30
Ж.б. тр. d - 0.75
Ж.б. маст гр. 30
Р-1000
Т - 16.5
Б - 0.14
Р-7500
Т - 300
Б - 5.94
Р-7500
Т - 131.25
Б - 1.14
Р-7500
Т - 187.5
Б - 2.33
Р-1000
Т - 34
Б - 0.59
п.г.в.в. 225.81
п.г.в.в. 225
г.с.б.в. 1931г. 212.56
г.н.в. 209.42
Конец 122.89 рельса 236.48
Начало ПК 122+59
Суглинок пылеватый
Пылеватая
Песок мелкий
Суглинок
Торф
Легкий пылеватый
Суглинок пылеватый
Дерновка
l=176 i=29 n=5
l=155 i=90 n=4
Дерновка
1246
ЮЗ: 43°40
1612
ЮЗ: 57°18'
Уг. - 13°39'
R - 1000
Т - 119.56
К - 237.94
Уг. - 11°58'
R - 1000
Пашня
Полевая
Д. Лепель
Ольховый мелкий куста ник
Р. Толочь
Р. Выгон
В д. Мошково
В г. Оршу
Р. Оршица
Р. Оршица
Р. Оршица

ГЛАВА VI

ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ

51. Изображение технического продольного профиля

Продольным профилем называется чертеж с условным изображением разреза поверхности земли и полотна дороги вдоль его оси.

На продольном профиле (рис. 125 и 126 — см. вклейку) изображается:

1. Черная линия поверхности земли по оси намеченной трассы дороги.

2. Красная линия, представляющая собой проекцию бровки земляного полотна.

3. Грунтовый разрез по оси дороги, изображающий чередование и мощность горизонтов различных грунтов и глубину залегания грунтовых вод.

4. Пикетаж и условный план дороги.

Для большей наглядности при вычерчивании продольного профиля, вертикальный масштаб принимается для равнинной и пересеченной местности 1 500, для горной местности, где рельеф часто меняется на коротком протяжении, 1 : 200; горизонтальный масштаб 1 : 5000.

Грунтовый разрез в продольном направлении совмещается с изображением профиля местности и поэтому наносится в том же горизонтальном масштабе, но вертикальный масштаб принимается 1 : 50, т. е. 50 см в 1 см. Чтобы грунтовый разрез не затемнял положения красной линии и рабочих отметок, его располагают так, что линия, изображающая в грунтовом профиле поверхность земли, располагается на 2 см ниже черной линии.

Продольный профиль является одним из основных документов проекта дороги и поэтому, для удобства пользования им, оформляется однообразно, согласно образцу, установленному общесоюзным стандартом (ОСТ 7657) (рис. 125). Профиль вычерчивается на миллиметровой бумаге (клетчатке), переносится на кальку, которая и является подлинником. С кальки снимаются светокопии. Черными отметками называются высоты поверхности земли по оси трассы в метрах и сантиметрах над уровнем моря или над некоторым условным уровнем.

НБ УДУТ (ДИТ)

Черная линия вычерчивается по черным отметкам, определенным на основе нивелировки, связанной с репером. Отметки репера связываются с уровнем Балтийского моря. (Абсолютные отметки реперов Главного геодезического управления приведены в своде нивелировок железных дорог СССР.)

Черная линия характеризует рельеф поверхности земли по оси трассы в искаженном вертикальном масштабе и изображается тонкой черной линией.

При построении продольного профиля первоначально на всех пикетах и плюсах выписываются черные отметки (в графе 7 рис. 125), затем над каждым пикетом и плюсом откладывают ординату в принятом вертикальном масштабе. Для удобства изображения откладывают не всю ординату, а только ее верхнюю часть от какого-либо условного уровня, принятого для нижней линии профиля. Соединяя верхние точки ординат, получают черную линию продольного профиля.

Проектной отметкой называется высота бровки дорожного полотна (насыпи или выемки в законченном виде) над условным уровнем или уровнем моря. Проектная (красная) линия наносится в том же масштабе и от того же условного уровня, как и черная линия, и изображается красной линией или толстой черной линией. Если проектная линия проходит выше черной линии — дорога проходит в насыпи, а если ниже — дорога проходит в выемке. Высота насыпи или глубина выемки определяются разностью красной и черной отметок. Эта величина называется рабочей отметкой и выписывается на продольном профиле: в случае насыпи над красной линией, а в случае выемки — под красной линией.

При проектировании красной линии задаются или определяют красные отметки начальной, иногда и некоторых контрольных точек трассы. Контрольными точками называются: 1) отметки головок рельсов и оси проезжей части, пересекаемых в одном уровне железных и автомобильных дорог (более высокого класса, чем проектируемая дорога); 2) иногда отметки настилов больших мостов, определяемые из условий судоходства или сплава при высоком горизонте; 3) отметки настилов путепроводов, при пересечении железных и автомобильных дорог в разных уровнях, определяемые из условий соблюдения габаритных размеров и размещения конструктивной высоты пролетного строения путепровода.

Проектную линию назначают с такими отметками, чтобы не превысить заданного максимального подъема и обеспечить плавность и безопасность движения по дороге. Для этого переломы уклонов (выпуклые и вогнутые) не должны быть часты. Кроме того, должны быть обеспечены быстрый водоотвод и надлежащие условия просушки земляного полотна и в то же время при проектировании красной линии следует избегать излишних земляных работ, т. е. больших насыпей или выемок. Условия проведения красной линии будут освещены ниже.

НБ УДУИТ (ДІІТ)

При проектировании задаются уклоном и вычисляют отметки красной линии на смежных пикетах и плюсах. Если первое назначение окажется неудачным (например получаются глубокие выемки или высокие насыпи), то меняют уклон и вновь вычисляют отметки. Для удобства вычисления записывают по форме табл. 23.

Таблица 23

№№ пикетов и плюсов	Черные отметки	Расстояния	Уклоны	Проектные отметки	Рабочие отметки	
					насыпи	выемки
402	97,28			99,51	2,23	
+ 33		30	0			
+ 63	98,02	37	80	99,51	1,49	
403	101,48	50	80	102,47	0,99	
+ 50	107,43	23	80	106,47		0,96
+ 73	110,06	27	65	108,31		1,75
404	109,65	20	65	110,07	0,42	
+ 20	109,89			111,37	1,48	

После того как положение проектной линии выбрано на продольном профиле, в соответствующие графы (5 и 6, рис. 125) вписывают красные отметки, затем уклоны и расстояния, указывающие протяжение данных уклонов.

Внизу под продольным профилем для удобства нанесения красной линии помещаются:

1. Номера пикетов и километров и условный план с указанием углов поворотов, длин кривых и прямых линий и румбов прямых линий.

Условный план увязывается с пикетажем надписыванием плюсов начала и конца кривых на ординатах, проведенных через начало и конец кривых (графа 9, рис. 125).

2. Вытянутый в одну линию ситуационный план полосы отвода (графа 10, рис. 125).

3. Указания на типовые поперечные профили и типы покрытий, принятые для отдельных участков трассы (графа 2, рис. 125).

52. Наибольший продольный уклон

Определение уклона было дано в § 15.

При проектировании продольного профиля весьма существенным вопросом является выбор величины наибольшего допускаемого или, так называемого, максимального уклона. От величины максимального уклона зависит количество земляных работ, необходимых для постройки дороги, а в горной местности и длина трассы.

При пересечении речной долины, оврага от величины принятого уклона зависит глубина выемки и высота насыпи (рис. 127).

В некоторых случаях для уменьшения объема работ приходится удлинять трассу дороги.

НБ УДУРТ (ДИТ)

На рис. 128,*а* представлен план крутого склона долины. Если разность отметок точки *B* на верхнем плато и *A* в долине равна *H*, то уклон склона по направлению *AB*, при расстоянии между

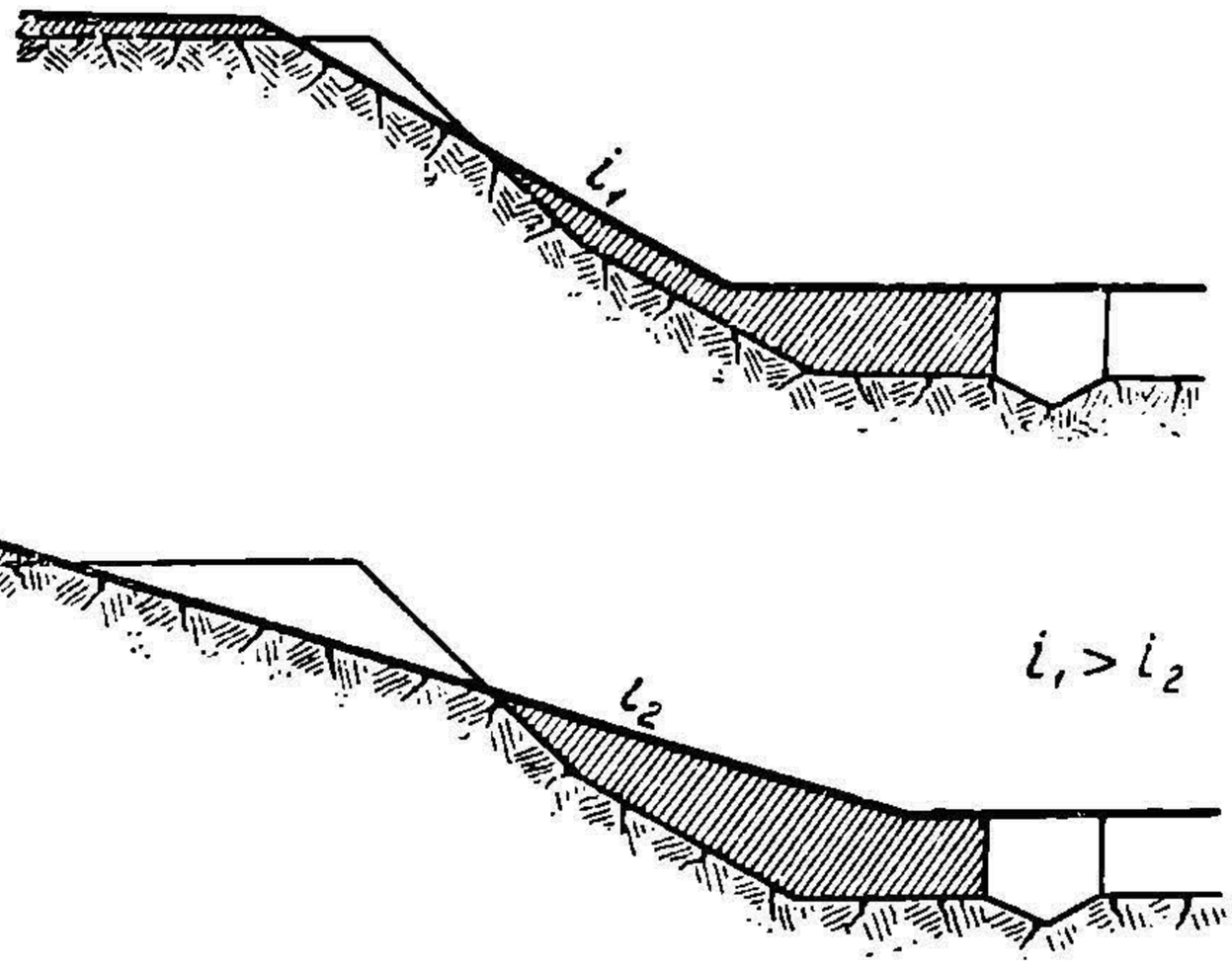


Рис. 127. Увеличение земляных работ при уменьшении величины допустимого продольного уклона.

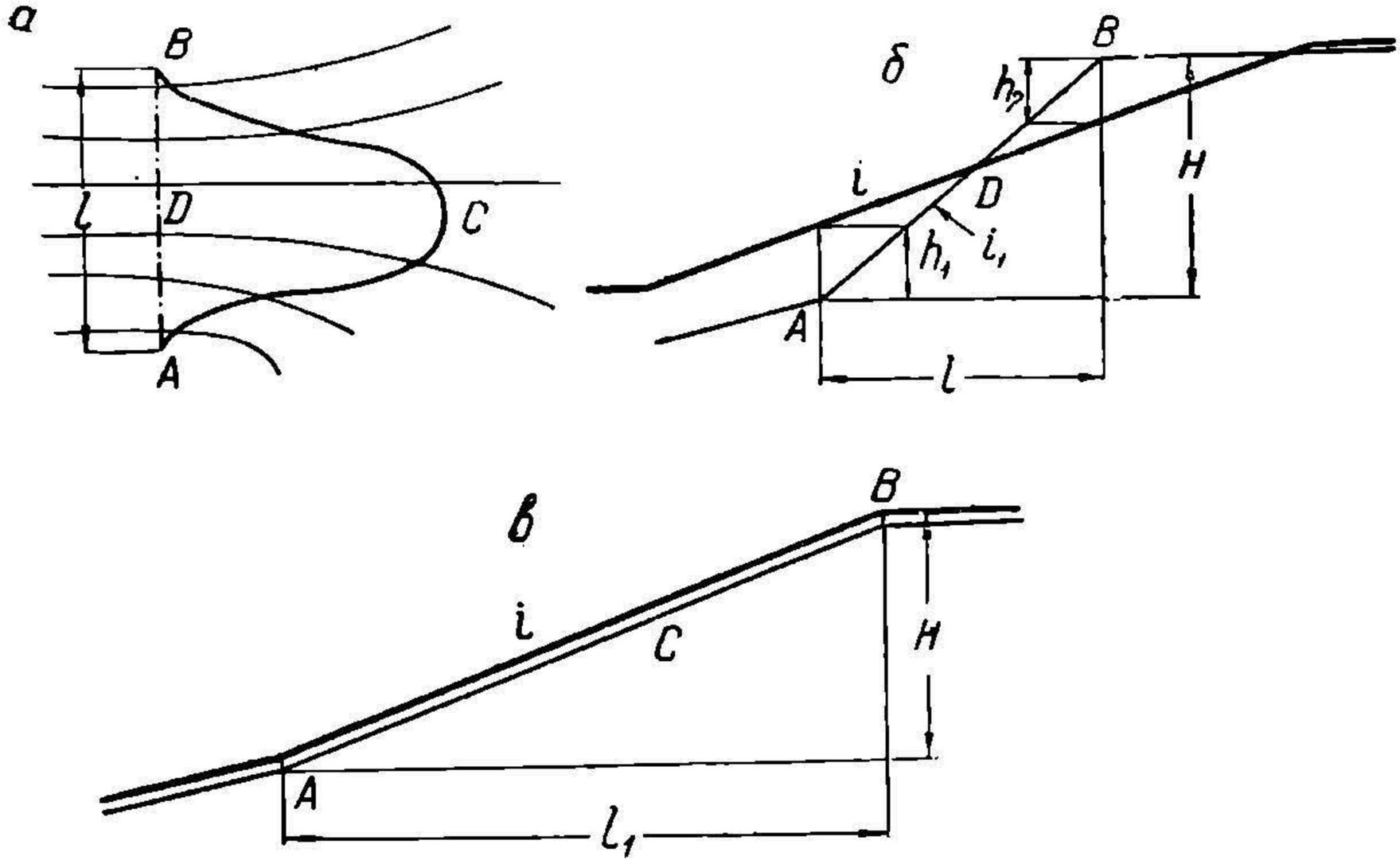


Рис. 128. Развитие линии на крутом косогоре.
Рис. *а* представляет план двух вариантов трассы: *ADB* длиной *l* и *ACB* длиной l_1. На рис. *б* и *в* представлены продольные профили по этим вариантам.

точками *A* и *B* равном *l*, будет $i_1 = \frac{h}{l}$ и может быть очень большим. Если максимальный допускаемый уклон $i < i_1$, то (рис. 128, *б*) в точке *A* нужно сделать насыпь высотой h_1, а

НБ УДУНТ (ДІІТ)

в точке B выемку глубиной h_2, чтобы было соблюдено равенство:

$$H = h_1 + h_2 + il.$$

Если дорогу отклонить и провести по линии ACB (рис. 128, a) длиной l_1, то количество земляных работ будет небольшое, так как при этом:

$$\frac{H}{l_1} = i\,.$$

Такое удлинение трассы называется развитием длины линии. Очевидно, что так как $l_1 = \frac{H}{i}$, то чем больше величина допускаемого максимального уклона i, тем меньше длина необходимого развития линии.

В равнинной местности пересечение долин и оврагов производится сравнительно редко, поэтому уменьшение величины максимального уклона даже до 3—4% незначительно увеличивает общий объем земляных работ (см. § 28, стр. 78). Поэтому уменьшение стоимости земляных работ даже на 30% вызывает уменьшение всей стоимости постройки на 4,5—12% и увеличение уклона мало эффективно. В пересеченной (холмистой) местности с уменьшением величины продольного уклона (менее 6%) сильно возрастает объем земляных работ. В горной местности приходится сильно развивать трассу; на перевальных (на подъеме и спуске) участках длина трассы должна быть не менее величины $l = \frac{2H}{i_{max}}$. В этом случае уменьшение максимального уклона i_{max} (менее 7—8%) вызывает сильное увеличение длины трассы l, а, следовательно, и увеличение числа зигзагов, объема земляных и скальных работ и объема кладки подпорных стенок.

Как было указано в § 28, для автомобильного транспорта преодоление подъемов величиной 6—8% на небольшом протяжении не более 500 — 1000 м не представляет трудностей, но движение автомобиля вниз по уклону при больших скоростях, особенно при гладких и скользких покрытиях, может быть опасно, так как при торможении могут быть случаи заноса машины. Поэтому для дорог, на которых должно быть обеспечено движение со скоростями свыше 100 км/час не следует допускать уклонов более 3—4%.

На дорогах, где по условиям развития массовых перевозок можно предвидеть применение прицепов к автомобилям или к тягачам, не следует допускать уклонов более 2—3%, так как в этом случае величина уклона определяет максимальный вес груза, перевозимого тягачами (см. § 27).

Для гужевого транспорта также с увеличением подъема уменьшается допустимая нагрузка на подводу (§ 26, стр. 72) и вследствие этого возрастает стоимость перевозки. Поэтому, там где гужевое движение интенсивно, следует уменьшать подъемы. Величина наибольших уклонов в этих случаях на грунтовых и

НВ УДУТ (ДИТ)

гравийных дорогах и на дорогах, покрытых булыжной мостовой, не должна допускаться более 6—7%; на дорогах с гладкой одеждой (например черное шоссе)—не более 4—6%.

Если движение в двух направлениях не одинаково, то в грузовом направлении может быть целесообразным устройство меньших подъемов. Наиболее целесообразная величина уклона для каждой дороги определяется сочетанием строительных и транспортных условий. Практически при назначении наибольшего уклона следует исходить из норм классификации дорог, приведенных в § 16.

53. Переломы продольного профиля. Шаг проектирования

Максимальные уклоны применяются только на участках дорог, где необходимо преодолеть значительную разность высот и где при этом уклон черной линии больше максимального уклона. В остальных случаях уклон дороги назначается приблизительно равным уклону местности. Так как уклоны местности неодинаковы, то и поверхность дороги состоит из участков с различными

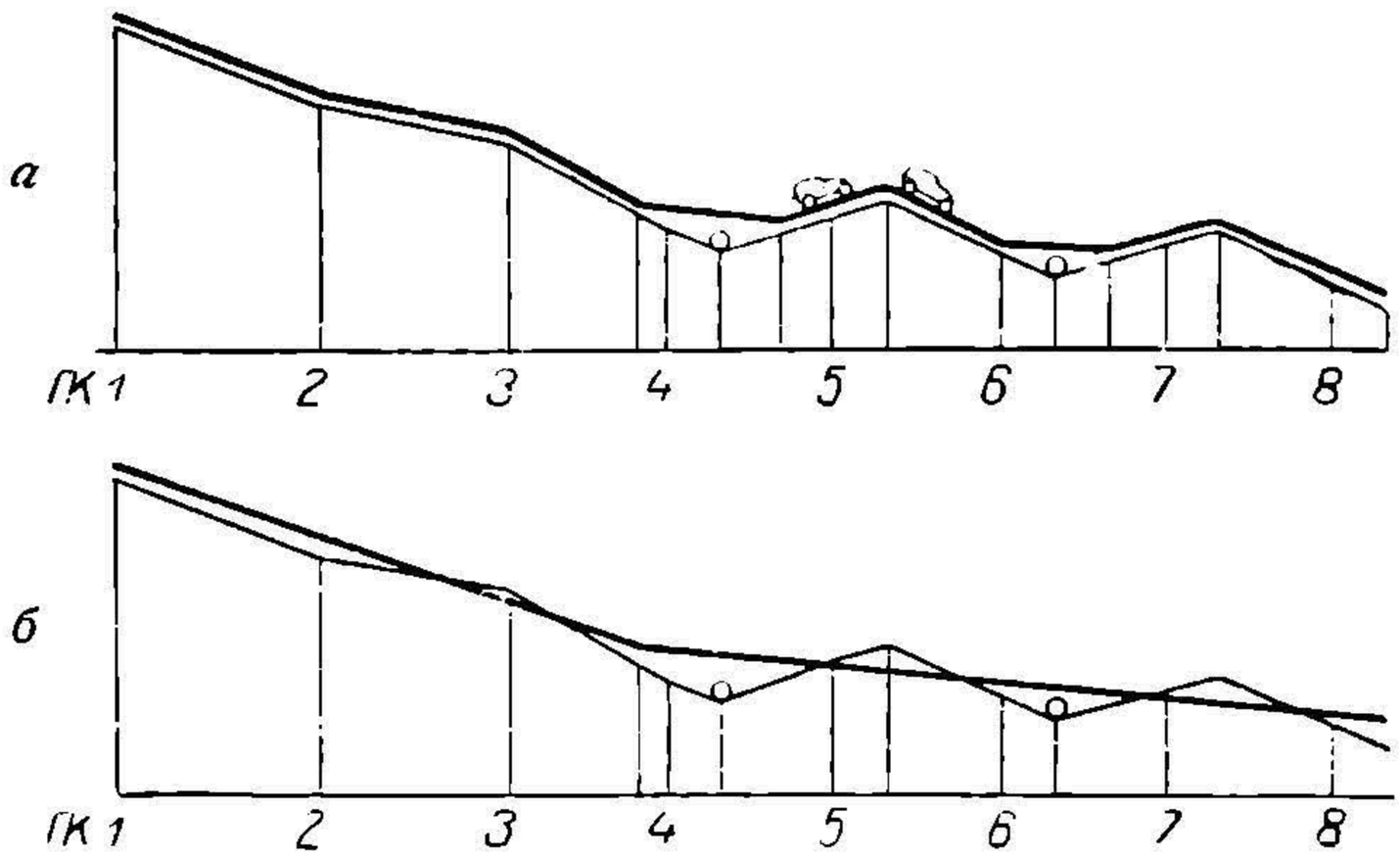


Рис. 129. Пример нанесения красной линии:

а—минимум земляных работ, частые переломы красной линии; на участке 3—8 пк пилообразный профиль; *б*—шаг проектирования значительной длины; движение по дороге удобное, объем земляных работ больше, чем в предыдущем случае.

уклонами. Точка пересечения разных уклонов красной линии называется точкой перелома, а расстояние между двумя смежными точками перелома, т. е. длина участка красной линии с однообразным уклоном—называется шагом проектирования.

На дорогах, обслуживающих местное движение, стремление уменьшить объем земляных работ вызывает необходимость чаще устраивать переломы, приближая очертания поверхности дороги в продольном профиле к поверхности земли (рис. 129). Но частые и резкие переломы делают поверхность дороги неудобной для движения, так как на каждом переломе уклона автомобиль меняет положение продольной оси, вращаясь вокруг поперечной оси. Вследствие этого возникает центробежная сила, увеличивающая раскачивание рессор. Выпуклые переломы, кроме того, ухудшают условия видимости дороги для водителя. По-

НТБ УДИТ (ДІІТ)

этому волнистый (пилообразный) профиль не допускается на автомобильных дорогах. Расстояния между переломами продольного профиля, особенно разноименными (выпуклый, вогнутый) следует, насколько возможно, увеличивать. Сопряжение переломов уклонов делают по вертикальным кривым. При таком сопряжении наименьший шаг проектирования определяется суммой длин касательных к вертикальным кривым.

54. Смягчение уклонов на закруглениях

На кривых малых радиусов продольный уклон по внутренней кромке проезжей части может заметно превысить средний уклон по оси дороги. Условия торможения на кривой менее надежны, чем на прямых. Кроме того, на закруглениях возникают дополнительные сопротивления движению, так как направления движения не совпадают с направлением тягового усилия и при движении по кривой возникают дополнительные усилия вследствие поперечного скольжения шин по поверхности дороги. Чем меньше радиус закругления, тем больше значение этих дополнительных сопротивлений. По совокупности этих причин на кривых малых радиусов не следует допускать больших уклонов.

Т. У Гушосдора НКВД 1938 г. рекомендуют уменьшать максимальный уклон на кривых радиуса меньше 300 м в равнинной и пересеченной местности и меньше 200 м в гористой местности.

Величину уменьшения максимального уклона рекомендуется определять по формуле:

$$\Delta i = 0{,}03\,\frac{\rho - R}{\rho} = 0{,}03\left(1 - \frac{R}{\rho}\right),$$

где R — радиус кривой, а ρ имеет указанное выше значение 300 и 200 м.

Из этой формулы получается, что если $R = \frac{\rho}{2}$ (например в горной местности $R = 100$ м), то предельный уклон должен быть уменьшен на $\Delta i = 0{,}015$, т. е. на 1,5‰, а при $R = 20$ м $= \frac{\rho}{10}$ на $\Delta i = 0{,}027$, т. е. на 2,7%. Формула, очевидно, составлена так, чтобы при $R = \rho$, $\Delta i = 0$; при $R = 0$, max $\Delta i = 3\%$.

55. Проложение проектной линии в равнинной местности

Значительная часть протяжения дорог СССР пролегает в равнинной местности. Трасса в этом случае идет прямыми участками, между начальным, конечным и особо важными промежуточными пунктами.

Проектная линия идет более или менее параллельно поверхности земли в небольшой насыпи.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Проложение проектной линии должно обеспечивать:

1. Отвод воды и быстрое осушение полотна во время оттаивания весной.

2. Незаносимость дороги снегом.

3. Возможно меньшее количество земляных работ.

4. Пропуск воды под мостами и незатопляемость дороги на поймах рек весенними водами и летними паводками.

5. Пересечение в разных уровнях железных и автомобильных дорог, а также по возможности пропуск полевых дорог и скотопрогонов под насыпью.

56. Проложение проектной линии в пересеченной местности

Пересеченной называется местность, прорезанная долинами, с разницей отметок долин и водоразделов более 40 м на расстоянии не более 0,5 км, прорезанная боковыми глубокими балками и оврагами, а также рельеф с высокими холмами и глубокими низинами. Примером пересеченной местности может служить: Валдайская возвышенность между Ленинградом и Москвой, правобережье Украины между р. Днепром и Днестром, предгорные возвышенности Урала, Кавказа.

При проложении дорожной трассы в пересеченной местности уклон черной линии часто значительно превышает допускаемый максимальный уклон. При таких условиях проложение трассы в пересеченной местности возможно на основе одного из двух принципов:

1. Трасса ведется по прямым значительной длины (рис. 130) с пологими радиусами 750 — 2000 м с продольными уклонами 4—5%.

При этом получаются значительные насыпи и выемки (рис. 130, *в*), иногда от 8 до 15 м и более, но трасса получается высокого качества, допускающая движение со скоростями 80—120 км/час.

2. Трасса применяется к рельефу местности и состоит из кривых, следующих в общем за изгибами горизонталей (рис. 130, *а*). Радиусы применяются от 300 до 100 м, уклоны 5—8%. Земляные работы при этом получаются не такие большие, насыпи и выемки примерно от 2 до 3 м, во многих местах линия следует косогору и прокладывается в полувыемке-полунасыпи. Допускаемая скорость движения в этом случае 35—50 км/час.

По первому принципу проектируется трасса дорог I и II класса. Увеличение земляных работ и повышенные, в связи этим, первоначальные затраты на строительство вполне оправдываются улучшением качества трассы, допускающей движение легковых машин, мощных автобусов, троллейбусов и грузовых автомобилей большого тоннажа с повышенными скоростями.

По второму принципу проектируются дороги III класса с малой напряженностью движения и дороги, обслуживающие местное движение (районные, сельские и пр.). Снижение первоначальных

НБ УДУНТ (ДІІТ)

затрат на строительство оправдывается возможностью, при относительно ограниченных средствах, построить в короткий срок большое количество дорог и, таким образом, возможно полнее и скорее удовлетворить потребности населения, местной промышленности и сельского хозяйства в транспорте.

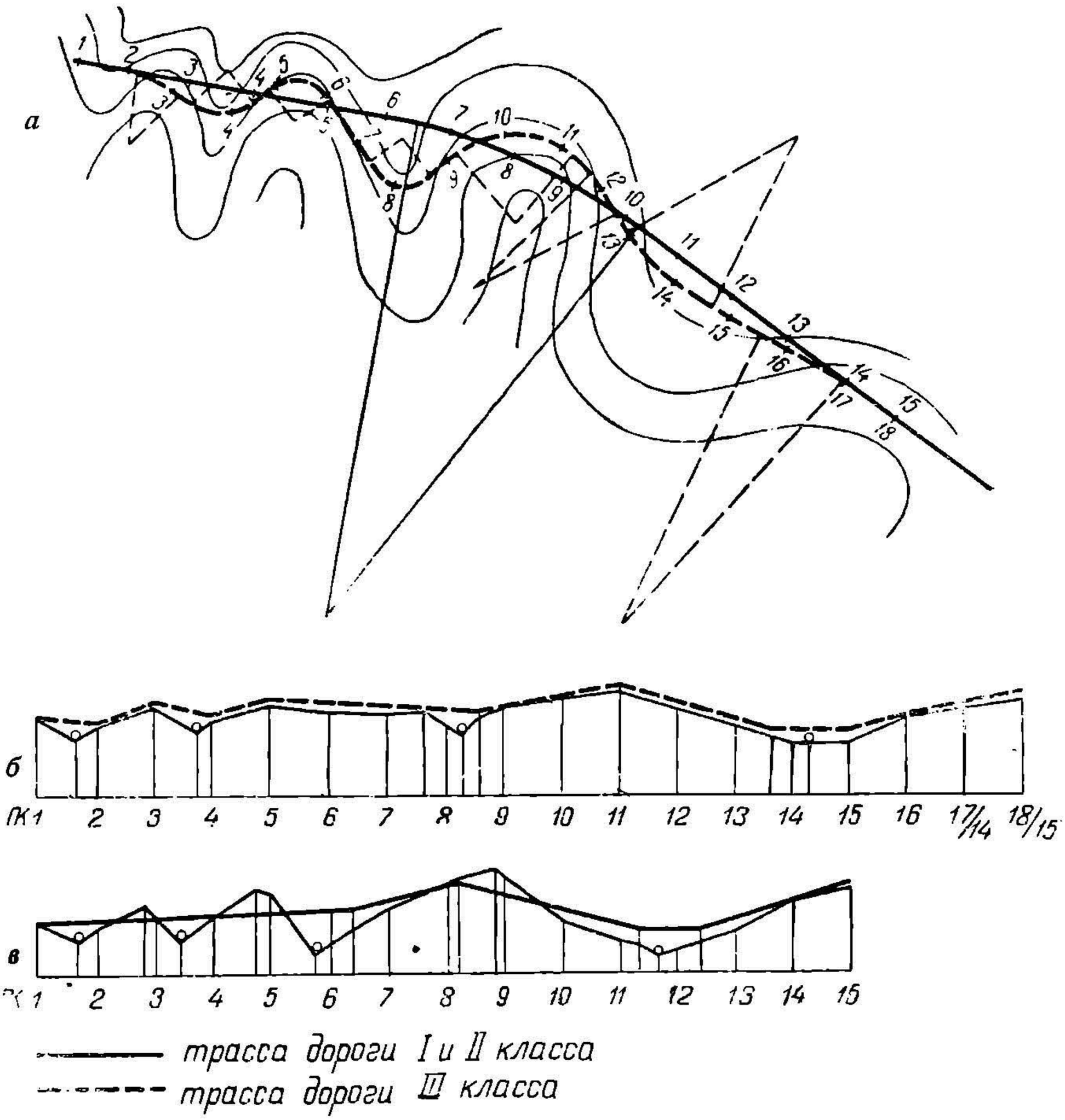


Рис. 130. Трасса дорог.

На дорогах I—II класса число углов незначительное, длинные прямые, радиусы кривых большие. Земляные работы значительные. На дорогах III класса и дорогах местного значения частые углы поворотов, малые радиусы, количество земляных работ незначительное.

Проектная линия, применяемая в пересеченной местности с чередующимися насыпями и выемками, называется секущей (в отличие от проектировки, применяемой в равнинной местности). Ввиду чередования подъемов и спусков для трассы в пересеченной местности большое значение имеют величины шага проектирования и радиусов вертикальных кривых.

НТБ УДУНТ (ДИТ)

Обеспечение устойчивости дорожного полотна в глубоких выемках и высоких насыпях, а также в насыпях на пересечениях болот и на косогорных участках, требует изучения геологических условий местности и соответствующего проектирования. Переходы через глубокие балки могут осуществляться трубами, фильтрующими насыпями, а также высокими виадуками, заменяющими часть высоких насыпей. Проектная отметка перехода определяется уклонами и вертикальными кривыми.

Трасса в пересеченной местности может значительно отклоняться от прямой, соединяющей начальный и конечный пункты (так называемой „воздушной линии"). Поэтому, как правило, возможно проложение трассы по нескольким вариантам.

Сравнение этих вариантов с точки зрения величины строительных затрат, с одной стороны, качества трассы для прохода автомобилей (эксплоатационные характеристики) и относительной устойчивости разных участков полотна по геологическим условиям с другой, требуют тщательной технико-экономической оценки каждого варианта.

57. Проложение проектной линии в горной местности

К горным дорогам относятся участки трассы, прокладываемые в горной местности, т. е. по горным ущельям или через горные хребты (перевальные дороги) или по крутым горным склонам, прорезанным глубокими боковыми долинами и оврагами.

К числу горных районов СССР относятся Кавказ, Крым, Алтай, Таджикистан, Дальне-Восточный край и др.

Устройство дорог в горной местности связано с большими трудностями: большие разности высот, иногда в несколько сот метров на коротком протяжении, крутые, иногда почти отвесные, обрывы приводят к необходимости делать выемки в скале, проводить дороги по неустойчивым склонам с оползнями, осыпями, в районах снежных лавин и т. д.

Трасса дороги в горной местности может быть расположена:

1. Вдоль речной долины, с устройством дорожного полотна внизу долины около реки или на склоне долины (рис. 131).

2. На подъеме из долины на водораздел с развитием длины линии в плане зигзагами для того, чтобы подъем дороги в продольном профиле не превзошел заданной величины предельного уклона; такие участки называются перевальными (рис. 132 и 76).

В первом случае трасса, проложенная по речной долине, получается извилистой в плане. Для ее исправления, с целью получения трассы высокого качества, допускающей движение с большими скоростями, может потребоваться устройство тоннелей при проходе через выступающие мысы, виадуков при переходах через боковые ущелья, неоднократных пересечений мостами реки, в долине которой прокладывается трасса (рис. 133).

Во втором случае на перевальных участках трассы необходимо производство расчета длины линии. Если обозначим: *H*—

НБ УДУНТ (ДІТ)

разность высот между наивысшей точкой A на водоразделе и самой низкой точкой B (мост или примыкание трассы к долине),

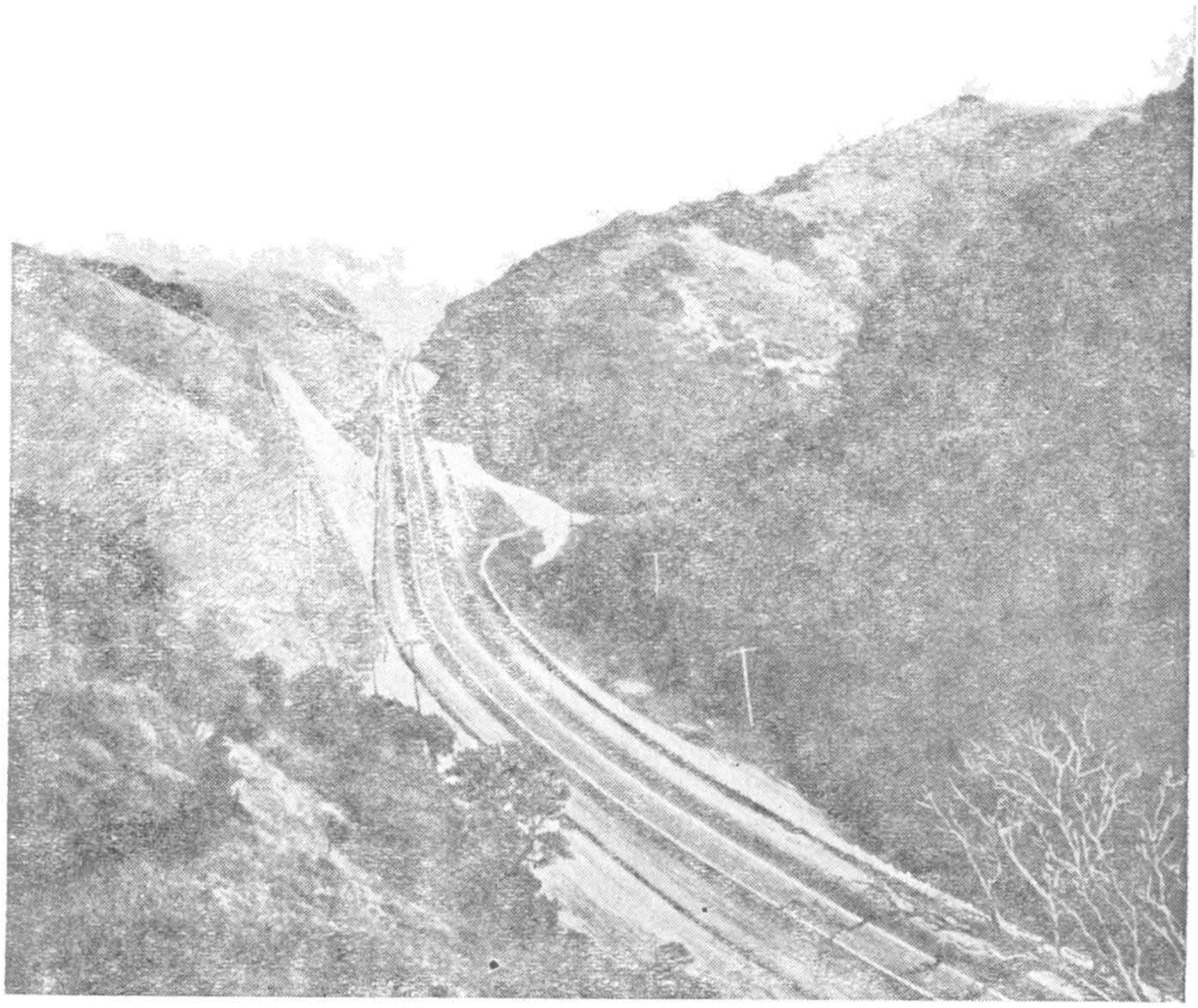


Рис. 131. Трасса в гористой местности вдоль речной долины.
(из книги проф. А. В. Горинова „Изыскания железных дорог").

то наикратчайшая длина трассы L_{min} между точками A и B должна удовлетворять условию

$$L_{min} = \frac{H}{i_{max}},$$

где i_{max} — величина наибольшего допускаемого (предельного) подъема. Например если отметка точки A — 568,46, отметка точки B — 284,68, то разность высот $H = 283{,}78$.

При заданной величине максимального уклона $i_{max} = 0{,}06$, расчетная наименьшая длина дороги между точками A и B:

$$L_{min} = \frac{H}{i_{max}} = \frac{283{,}78}{0{,}06} = 4730 \text{ м:}$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Если действительная длина дороги на этом участке будет меньше расчетной, то это значит, что подъем на дороге будет больше заданного. Некоторое увеличение расчетной длины необ-

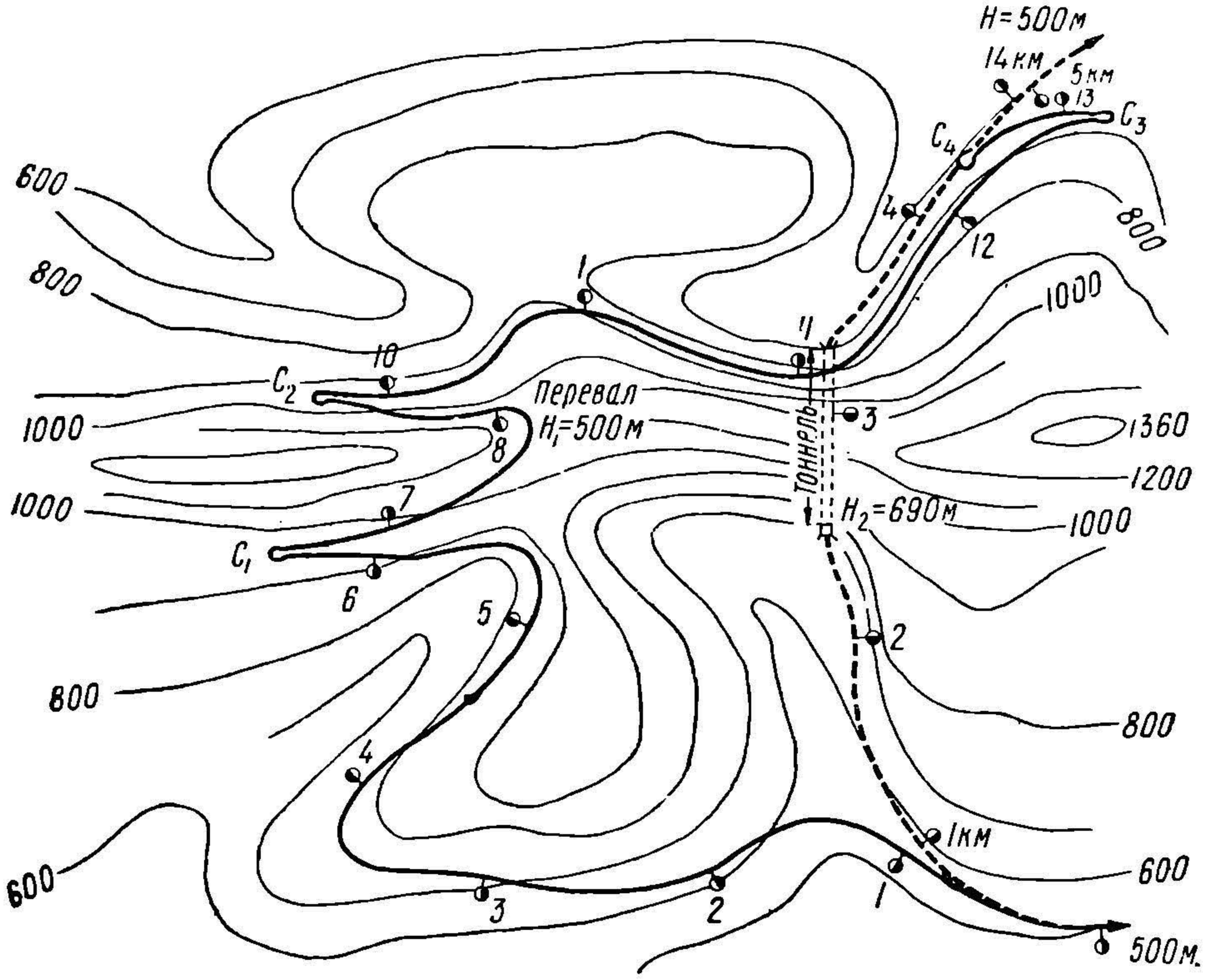


Рис. 132. Перевальный участок в горной местности.

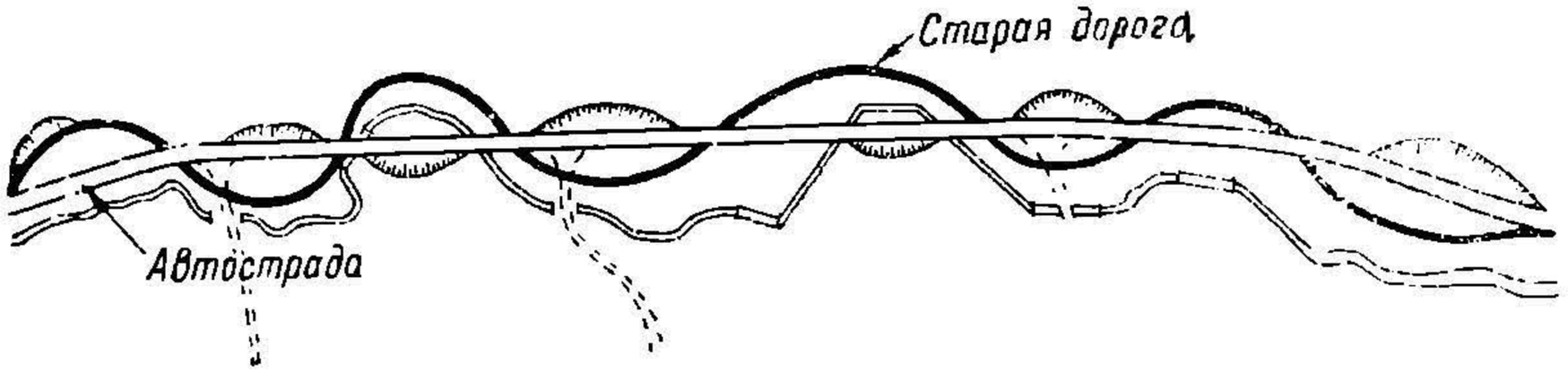


Рис. 133. Спрямление извилистого участка трассы старой дороги в узком извилистом ущелье в гористой местности достигается устройством тоннелей, глубоких выемок и пересечений водотока.

ходимо для возможности смягчения уклона на кривых малых радиусов и для устройства разделительных площадок (см. ниже).

Дальнейшее удлинение трассы будет бесполезным, вызовет излишние расходы на устройство полотна и проезжей части дороги и излишние пробеги автомобилей. Поэтому задача сво-

НБ УАДИ (ДГТ)

дится к укладке между заданными точками *A* и *B* гибкой нити, длина которой равна расчетной. При этом линия должна быть уложена таким образом, чтобы:

1. Стоимость земляных работ, подпорных стенок и искусственных сооружений была возможно меньшей.

2. Число углов было возможно меньшим, радиусы закруглений были не меньше допустимых, а расстояние между извилинами—серпантинами (см. § 80) было по возможности большим.

Такое проложение трассы осуществляется последовательно следующим образом (рис. 134):

1. На местности или на плане в горизонталях намечают положение пробной линии, длина которой равна вычисленной расчетной.

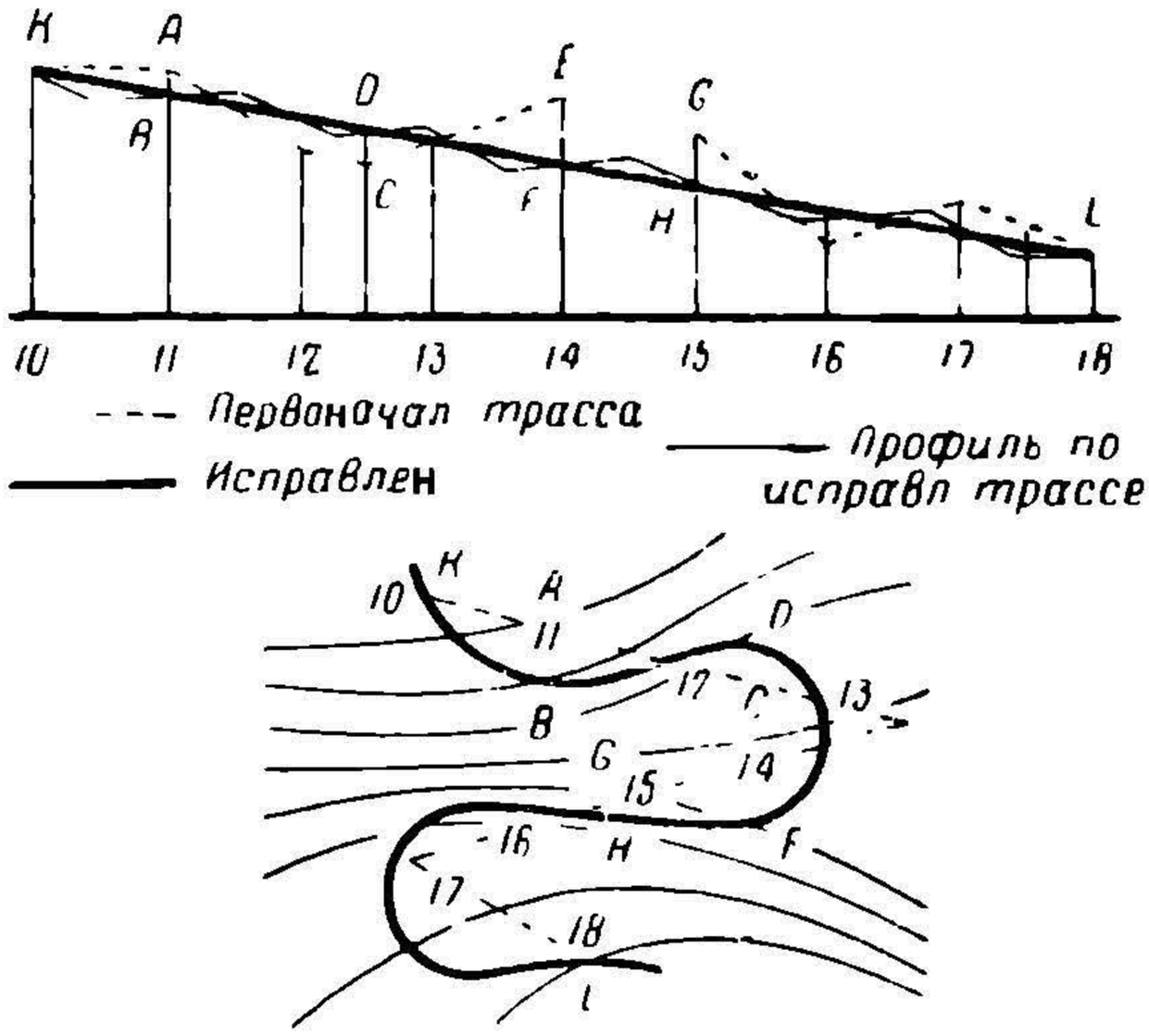


Рис. 134. Исправление пробной прямой трассы пунктирной *KACEGL* на сплошную изогнутую *KBDFHL* в целях уменьшения земляных работ.

Точка *A* переносится в *B* для уменьшения выемки. Точка *C* переносится в *D* для уменьшения насыпи и т. д.

Кривая несколько длиннее ломаной за счет смягчения подъемов на кривых. На продольном профиле окончательная трасса (сплошная жирная линия) представлена почти прямой линией, близкой к заданному уклону, что соответствует расчетной длине.

2. На этой линии разбивают пикеты и производят нивелировку, на основе которой строят продольный профиль.

3. Там, где на продольном профиле оказываются большие насыпи, линию смещают в сторону косогора; там где оказываются выемки—линию смещают в сторону склона (рис. 134). Расстояние, на которое надо сместить линию, определяется по поперечным профилям, снятым в тех местах, где по продольному профилю пробной линии оказываются значительные насыпи и выемки.

4. Полученную после исправления ломаную линию выправляют, на ней разбивают закругления и серпантины.

В общем трасса на перевальных участках в горной местности получает в плане извилистый вид, вызываемый необходимостью развития линии (рис. 132 и 76). На продольном профиле правильно нанесенная трасса имеет прямолинейный характер проектной линии (рис. 134), проведенной с наибольшим допускаемым укло-

НТБ УДУГТ (ДИТ)

ном, соответствующим наименьшей расчетной длине трассы. Отступления от прямолинейного уклона на продольном профиле делаются только при совпадении уклонов с закруглениями малых радиусов, где величина уклонов смягчается и на разделительных площадках, при затяжных уклонах.

При поперечном профиле линия проходит на косогоре и земляное полотно расположено по большей части в полувыемке-полунасыпи. Поэтому рабочие отметки на продольном профиле, представляющие разность между отметкой бровки и черной отметкой по оси дороги, близки к нулю. В некоторых случаях, с целью увеличения устойчивости земляного полотна на крутом скалистом склоне, предпочитают устраивать земляное полотно сплошь в выемке (см. рис. 55).

В этих случаях красная линия на продольном профиле располагается ниже черной.

Правильное направление трассы в горной местности может быть найдено лишь на основе сравнения нескольких вариантов с оценкой их по длине линии, устойчивости полотна, количеству скальных работ и подпорных стенок, условиям видимости, радиусам кривых и т. д. Особое значение имеет выбор отметки перевальной точки; во многих случаях замена высокого перевального участка тоннелем может значительно улучшить качество трассы (см. рис. 133).

В горной местности часто встречаются неустойчивые склоны, оползни, осыпи, склоны, подмываемые реками, и т. п., поэтому для устойчивости дорожного полотна особое значение имеют тщательные геологические и гидрологические обследования.

58. Разделительные площадки

На дорогах с затяжными крутыми уклонами мотор автомобиля работает почти на максимальной мощности. Крутые уклоны незначительной длины могут быть пройдены автомобилем за счет живой силы и потому во многих случаях не требуют даже переключения скорости (изменения числа передачи).

При затяжных подъемах шофер, чтобы не уменьшать скорости автомобиля, увеличивает подачу горючего, обогащает смесь и заставляет двигатель работать на максимальном числе оборотов. При этом двигатель перегревается, радиатор не справляется с охлаждением и вода в нем закипает. Чтобы улучшить условия работы мотора, ему нужно дать уменьшенную нагрузку, хотя бы на короткий отрезок времени.

Поэтому рекомендуется при затяжных уклонах на расстоянии приблизительно 2 км делать участки с уклоном не более 2%. Эти участки называются разделительными, длина их назначается в 100—50 м.

На дорогах, где еще осталось гужевое движение, такие участки еще более необходимы. Нагрузка на подводу определяется условиями тяги на уклонах средней величины с расчетом,

УДИТ (ДИТ) НБ

что на коротких участках с большими подъемами лошадь может удвоить и даже утроить величину тягового усилия. Но работа с превышением нормальных условий вызывает сильное утомление лошади, поэтому для отдыха необходимо также устраивать разделительные площадки. Разделительные площадки на дорогах со значительным конным движением рекомендуют делать через 500—600 м. Разделительным площадкам дают уклон не более 2—3% при длине площадки 50—100 м.

59. Назначение высоты насыпи в зависимости от грунтовых и гидрологических условий

Проектная линия должна быть запроектирована так, чтобы была гарантирована устойчивость и неизменяемость земляного полотна и расположенного на нем покрытия проезжей части дороги, независимо от меняющихся метеорологических условий.

Наблюдения за состоянием существующих дорог показывают, что влажность грунтов земляного полотна не остается постоянной. Вследствие изменений влажности, меняются объем и несущая способность грунтов. Так как в различных частях земляного полотна увлажнение грунтов происходит не одинаково, то поверхность дороги деформируется и на покрытии проезжей части образуются просадки, колеи, бугры, трещины. Особенно резко деформации земляного полотна происходят в связи с замерзанием и оттаиванием грунтов. Весной, когда оттаивают верхние слои земляного полотна на 0,5—0,6 м, грунты могут оказаться в переувлажненном состоянии. Освобождающаяся при оттаивании вода не имеет возможности просачиваться вниз, потому, что нижележащие слои еще мерзлого в этот период грунта водонепроницаемы. Испарение с поверхности происходит в слабой степени, вследствие низких температур и повышенной влажности воздуха, обычных ранней весной.

Переувлажненные грунты теряют несущую способность и покрытие проезжей части, не имея необходимой опоры снизу, продавливается колесами тяжелых автомобилей и повозок, движущихся по дороге. Кроме того, при интенсивном движении тяжелых автомобилей динамическое действие нагрузки ускоряет переход влажных, особенно пылеватых, грунтов в плывунное состояние. В результате покрытие проезжей части дорог разрушается, а грунтовые дороги приходят в непроезжее состояние (распутица). Такие повреждения дорог особенно резко наблюдаются в местах с пылеватыми грунтами, при неудовлетворительном отводе поверхностной воды и при высоком стоянии уровня грунтовых вод. В этих случаях создаются условия, особо благоприятствующие скоплению воды в верхних слоях грунта земляного полотна при его замерзании.

Задачей проектирования является устройство земляного полотна таким образом, чтобы влажность грунтов подвергалась возможно меньшим колебаниям и, во всяком случае, не превос-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ходила тех норм, при которых несущая способность данных грунтов резко падает.

Одним из средств повышения устойчивости является устройство дорожного полотна в насыпи. Чем выше насыпь, тем слабее воздействие на основание дорожной одежды капиллярного поднятия грунтовых вод и менее опасен приток верховодки со стороны и тем быстрее осушение полотна весной под действием солнца и ветра.

Так как свойства грунтов различны, то для устойчивости земляного полотна высота насыпи над поверхностью земли и уровнем свободных грунтовых вод (где они имеются) должна быть различна.

Технические условия указывают следующие правила проектирования красной линии: [1]

1. В сухих местах при обеспечении быстрого стока поверхностных вод и отсутствия возможности появления верховодки, высота насыпи может быть назначена минимальной, т. е. с отметками от 0,20 до 0,60 м, в зависимости от класса дороги, рода грунтов и местных климатических условий, так, чтобы отметки дна корыта были не менее черных отметок.

2. В условиях равнинного рельефа с затрудненным водоотводом земляное полотно должно устраиваться в насыпи с соблюдением условий, указанных в табл. 24.

3. Возвышение насыпи над дном резерва указано в табл. 18 (см. стр. 100).

Если по условиям рельфа местности заложение резерва указанной глубины невозможно, вследствие затруднительности или невозможности обеспечить выпуск воды из них (у искусственных соружений), указанное в табл. 18 возвышение бровки насыпи над дном резерва должно быть выдержано над поверхностью земли или над уровнем воды в водоотводной канаве.

4. Во всех случаях устройства земляного полотна бровка его должна возвышаться над горизонтом грунтовых вод или над уровнем длительного стояния поверхностных вод не менее чем на величину, указанную в табл. 25.

В Т. У. Гушосдора дана бо́льшая высота насыпи для широкого земляного полотна, чем для ширины 11 м, из соображений затрудненного просыхания грунта в середине широкого земляного полотна.

Приведенные в табл. 24 и 25 величины рекомендуются для средних климатических условий. В местностях с избыточной влажностью, засушливых, в солончаках, в районах с вечной мерзлотой высота насыпей может быть изменена в ту или другую сторону в зависимости от местных климатических и гидрологических условий.

---

[1] „Технические условия на сооружение автомобильных дорог и мостов" Гушосдора НКВД. 1938 г., § 52 и 54.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Таблица 24

Род грунта земляного полотна \ Возвышение бровки земляного полотна над поверхностью земли в м	При ширине земляного полотна	
	более 11 м	11 м и менее
Песок, супесок, мелкий супесок, пылеватый песок .	0,4—0,6	0,3—0,4
Суглинок, тяжелый суглинок, глина . .	0,6—0,8	0,4—0,6
Пылеватый суглинок, пылеватый грунт .	0,8—1,0	0,6—0,8

Таблица 25

Род грунта земляного полотна \ Возвышение бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод в м	При ширине земляного полотна	
	более 11 м	11 м и менее
Песок, супесок, мелкий супесок, пылеватый песок .	1,10—1,60	0,80—1,30
Суглинок, суглинок тяжелый, глина . . .	1,60—2,00	1,30—1,80
Пылеватый суглинок, пылеватый грунт .	2,00—2,80	1,80—2,50

60. Назначение высоты насыпи в местах, подверженных снежным заносам

В открытых местах зимой возможен занос дороги снегом. Сухой снег при морозе переносится ветром (поземок), причем снежные крупинки перекатываются по поверхности поля, покрытого снегом, заполняя пониженные места и отлагаясь у отдельных встречаемых на поверхности препятствий: небольших кустов, низких бугров и валиков.

Особенно сильно заносятся выемки глубиной менее 2 м и насыпи высотой менее 0,5 м. В глубоких выемках, вследствие отражающего действия откосов, ветер образует вихри, препятствующие заносу; в некоторых случаях ветер дует с большой силой вдоль выемки, продувая ее. При высоких насыпях также образуются восходящие токи воздуха вдоль откосов насыпи и снег, не отлагаясь, переносится через насыпь. Снежные зимы с частыми снегопадами, метелями и поземками затрудняют, а иногда и останавливают, автомобильное движение, сильно удорожая стоимость содержания дороги в зимнее время (очистка дороги от снега). Поэтому в открытых местах, в районах, подверженных снежным заносам, следует поднимать красную линию, устраивая дорогу в насыпи, высотой не менее 0,6 м. Мелких выемок также следует избегать, а в местах, где устройство их неизбежно, следует проектировать их раскрытыми или разделанными под насыпь (см. § 34, рис. 61).

НТБ УДУЭТ (ДИТ)

61. Назначение высоты насыпи на подходах к мостам и над трубами

При пересечении водотоков, тальвегов, лощин и прочих мест, где необходимо устройство искусственного сооружения для пропуска воды с нагорной стороны дороги в низовую, положение красной линии определяется условиями устройства искусственного сооружения. Высота моста зависит от горизонта подпертой воды перед мостом, расстояния между этим горизонтом и отметкой проезжей части.

Высота проезжей части на мосту над дном водотока или тальвега (рис. 135) должна быть не менее:

$$N = y + c + e,$$

где: y — глубина воды с верховой стороны моста с учетом подпора, образовавшегося при стеснении водотока мостом; значение величины y определяется при гидравлическом расчете отверстия моста.

c — возвышение низа пролетного строения моста над подпертым горизонтом, зависит от величины водотока и возможности повреждения пролетного строения плывущими предметами.

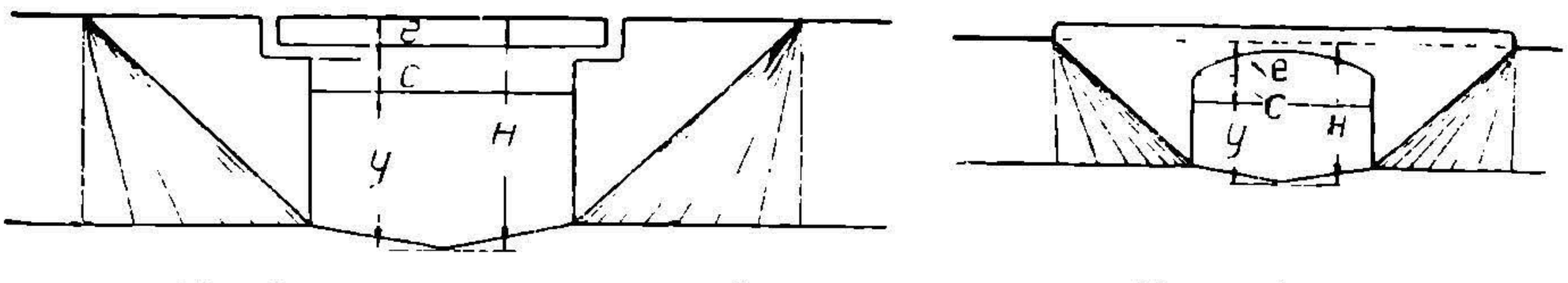


Рис. 135. Определение проектной отметки у моста $H = y + c + e$.

На мелких водотоках у сооружений, устраиваемых через сухой лог, где количество протекающей воды невелико — это возвышение принимается в 0,25 м. На постоянных водотоках в лесных местностях, где по поверхности воды могут плыть карчи, сучья, а на луговых водотоках — кучи сена и т. п., возвышение пролетного строения назначается из соображений беспрепятственного пропуска плывущих предметов, но не менее 0,5 м.

На реках с ледоходом высота низа пролетного строения должна быть выше самого высокого горизонта ледохода на величину не менее 1,0 м. В мостах с подкосами и арочных мостах низ подкосов и пяты арок должны быть не менее, чем на 0,25 м выше горизонта самого высокого ледохода.

На водотоках, где происходит сплав или судоходство, возвышение низа пролетного строения над самым высоким судоходным горизонтом (или горизонтом сплава) определяется габаритами судов в зависимости от категории реки (ОСТ 6432).

e — конструктивная высота пролетного строения моста, определяется величиной пролета, расчетной нагрузкой, материалом и принятой конструкцией пролетного строения моста.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Дамбы на подходах к мосту должны быть запроектированы так, чтобы у моста бровка была на 0,5 м выше подпертого горизонта, чтобы переломы продольного профиля были сопряжены вертикальными кривыми требуемых радиусов и расстояние между переломами продольного уклона не было малым, чтобы не было бугра при переходе через мост или трубу (рис. 136).

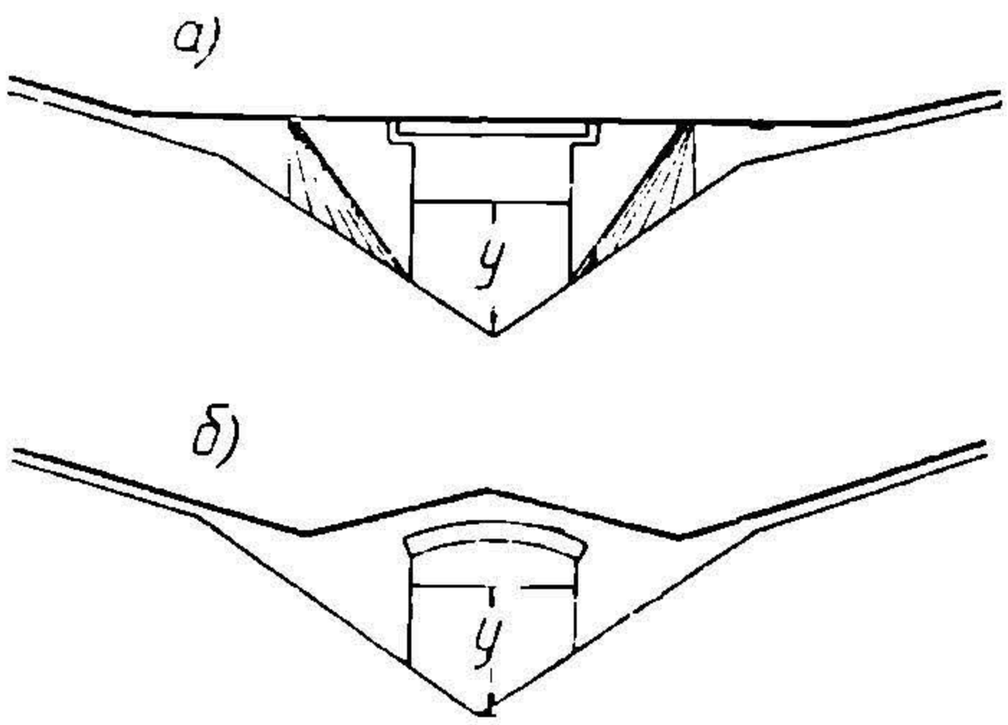


Рис. 136. Положение проектной линии на переходе через водоток.
а — правильное; *б* — неправильное горб, недопустимый при автомобильном движении.

Бровка насыпи должна быть не менее чем на 0,5 м выше наивысшего горизонта высокой воды, увеличенного на величину подпора и высоту волны на широких поймах.

При устройстве труб высота засыпки над трубой должна быть не менее 0,5 м (рис. 137) и таким образом высота насыпи у трубы должна быть не менее

$$H = d + \delta + 0{,}5\ м,$$

где d — внутренний диаметр трубы, а при эллиптических или овоидальных трубах высота просвета трубы; δ — толщина стенки трубы в верхней точке (в замке).

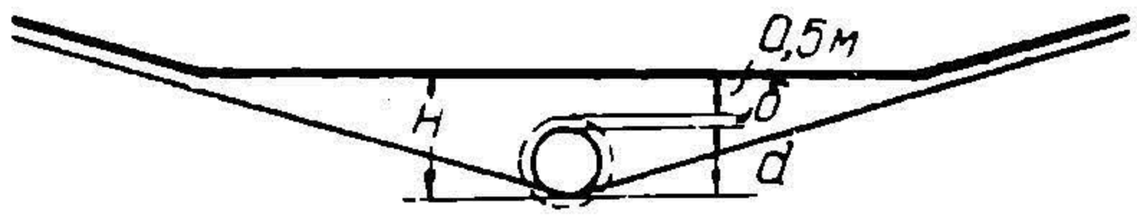


Рис. 137. Определение высоты насыпи у трубы $H = d + \delta + 0{,}5$ м.

При устройстве путепроводов высота насыпи у путепровода над поверхностью пересекаемой дороги определяется конструктивной высотой пролетного строения и высотой просвета габарита, установленного для пересекаемой дороги. Если пересекается железная дорога, высота просвета габарита 5,5 — 6,0 м и высота путепровода может быть принята около 7 м над головкой рельса. Если пересекается автогужевая дорога, просвет должен быть не менее 4,5 м, следовательно, высота путепровода около 6 м. При пересечении скотопрогонов высота просвета должна быть не менее 2,5 м и следовательно высота насыпи около 3,5—4,0 м.

Окончательно отметка бровки у искусственного сооружения устанавливается после составления проекта этого сооружения.

НТБ УДУИТ (ДІІТ)

ГЛАВА VII

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КРИВЫЕ

62. Зависимость длины кривой от величины радиуса и разности уклонов

При движении автомобиля по дороге в местах перелома продольного уклона возникают следующие неудобства:

1. При быстром ходе с одного уклона на другой происходит вращение автомобиля вокруг поперечной оси *Y* (рис. 138), вследствие чего под влиянием возникающей центробежной силы происходит толчок и перегрузка рессор.

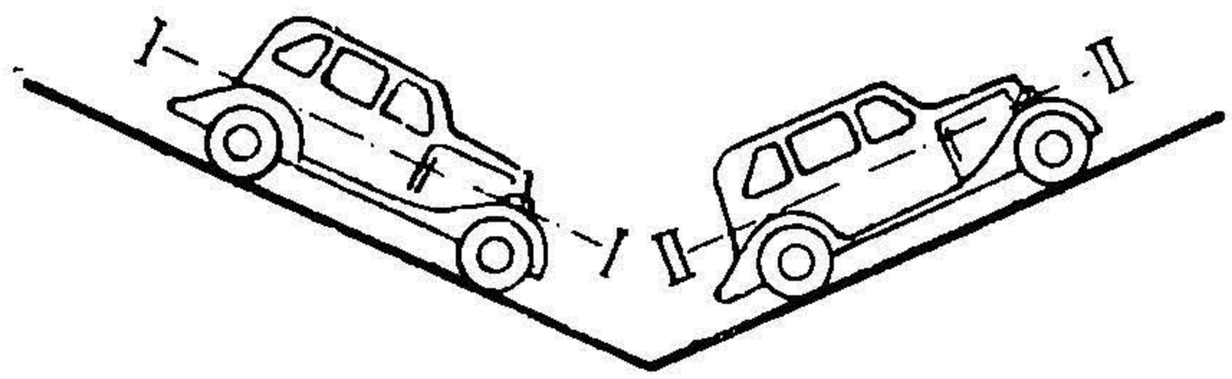


Рис. 138. При проходе автомобиля через перелом продольного профиля происходит вращение вокруг поперечной оси из положения *I—I* в положение *II — II*.

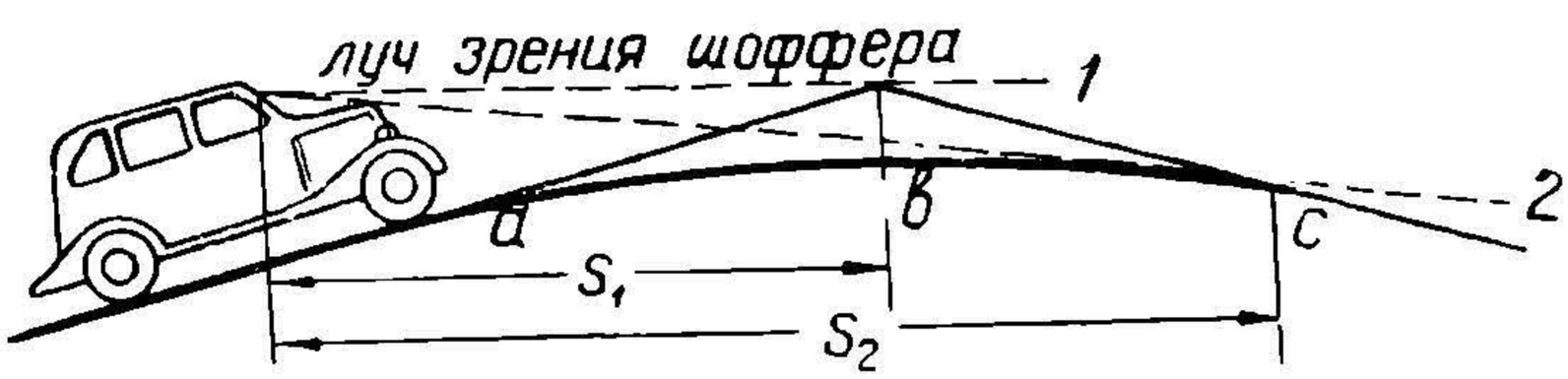


Рис. 139. Ограничение видимости пути перед автомобилем (s_1) при наличии выпуклого перелома в продольном профиле. При вписывании вертикальной кривой *abc* расстояние видимости пути увеличивается (s_2).

2. При проходе по выпуклому перелому продольного профиля уменьшается видимость пути впереди автомобиля (рис. 139).

НБ УДУНТ (ДИТ)

Поэтому все переломы продольного профиля соединяют плавными кривыми в вертикальной плоскости (см. рис. 126). Полость закругления увеличивается с увеличением радиуса кривой.

Для разбивки вертикальных кривых надо знать длину кривой, длину касательной и биссектрисы (рис. 140).

Длина кривой $K = R\alpha$, где R — радиус; α — центральный угол. При малых величинах углов перелома продольного профиля величина угла приблизительно равна его тангенсу, т. е. величина угла перелома $\alpha = \Delta i = i_1 - i_2$, где i_1 и i_2 — уклоны продольного профиля.

Следовательно длина кривой

$$K = R\Delta i = R(i_1 - i_2).$$

Длина касательной, т. е. расстояние от вершины угла до начала и конца кривой, также ввиду малости величины уклонов i_1 и i_2, приблизительно равна половине длины кривой, т. е.

$$AC = AE = T = \frac{K}{2} = R\frac{(i_1 - i_2)}{2}.$$

Аналогично (малый центральный угол) можно принять:

$$CD = DE,$$

но $AD^2 = 2R \cdot DE$. Следовательно, длина биссектрисы

$$Б = CD = DE = \frac{AD^2}{2R} = \frac{T^2}{2R} = \frac{K^2}{8R}$$

ордината любой промежуточной точки F определится как

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

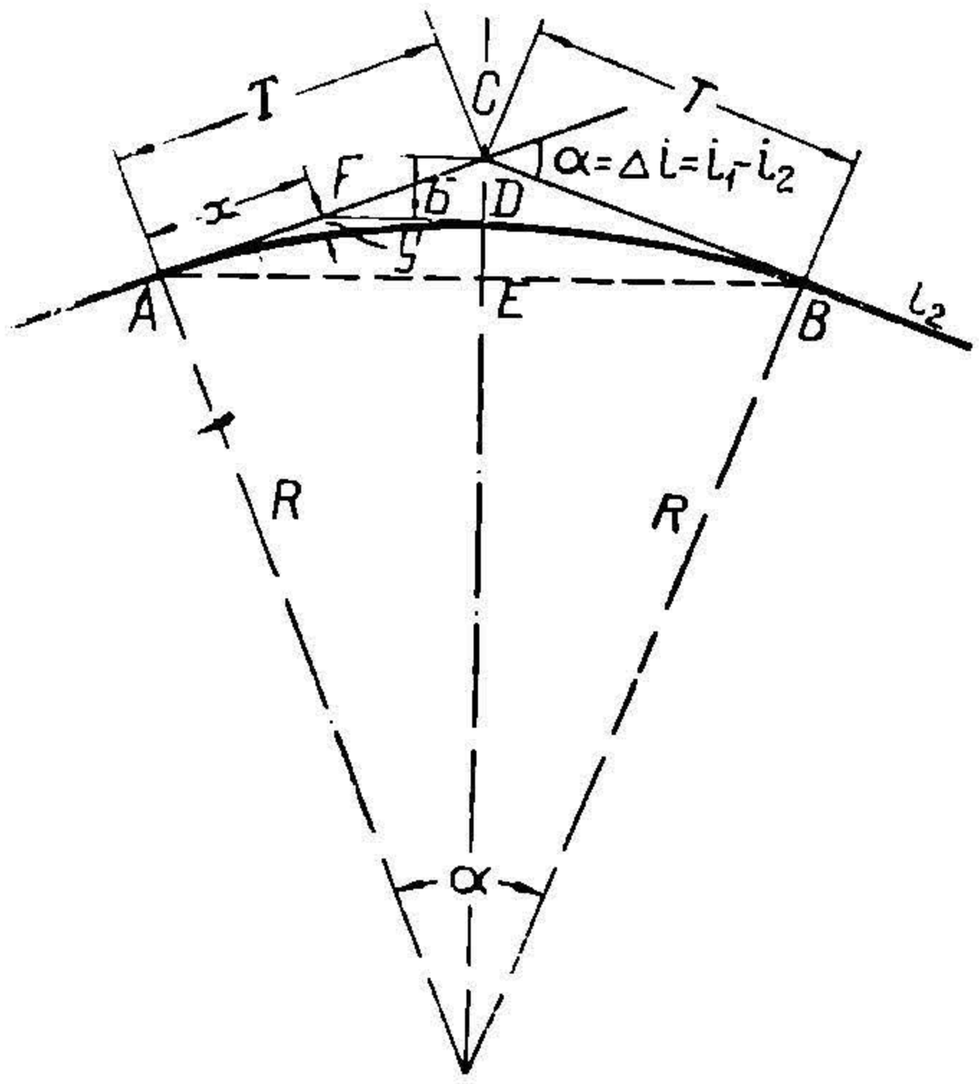


Рис. 140. Элементы вертикальной кривой

$$K = 2T = R(i_1 - i_2);$$

$$Б = \frac{T^2}{2R} = \frac{K^2}{8R}; \quad y = \frac{x^2}{2R}$$

Практически при разбивке вертикальных кривых можно считать расстояние точки F от начала кривой по проекции, т. е. по пикетажу трассы, а ординату y — по вертикали, т. е. по направлению, определяющему величину отметки точки F.

По этим формулам разбивка вертикальных кривых не представляет затруднений.

На стандартном продольном профиле вертикальные кривые обозначаются знаком — над переломом профиля, причем направление знака и его длина совпадают с выпуклостью и длиной вертикальных кривых (см. рис. 125 и 126).

Рабочие отметки, вычисленные по уклонам, заключаются в скобки и рядом с ними надписываются истинные рабочие отметки, исправленные на величину ординат вертикальной кривой.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

63. Схемы видимости в продольном профиле и назначение радиусов выпуклых вертикальных кривых

Условия безопасности движения требуют, чтобы шофер видел дорогу впереди автомобиля на расстояние не менее необходимого для остановки машины. Это расстояние, как указывалось выше (§ 50), зависит от скорости движения и условий сцепления колеса с дорогой и может быть определено по формуле

$$S = \frac{V}{3{,}6} + \frac{V^2}{13\,g\,(\eta \cdot \varphi + w \pm i)},$$

где S — искомое расстояние видимости дороги; V — скорость движения в км/час; φ — коэфициент сцепления шины автомобиля с поверхностью дороги; может быть принято при нормальном состоянии покрытия равным 0,5, при скользком состоянии дороги равным 0,2; η — коэфициент, учитывающий состояние тормозов, принимается равным 0,95; $\pm i$ — величина продольного уклона дороги; на спуске имеет отрицательное значение. Так как видимость не обеспечена на выпуклом переломе продольного профиля, то при расчете тормозного пути уклон принимается равным нулю.

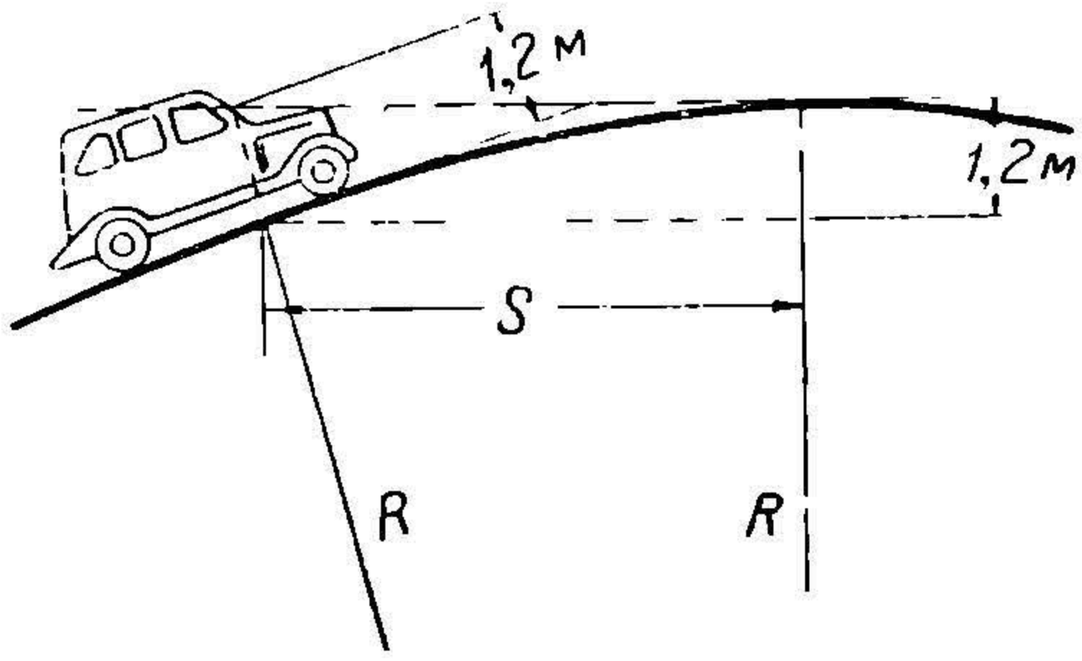


Рис. 141. Схема обеспечения видимости пути на расстоянии S на вертикальной кривой.

$$S^2 = 2R \cdot 1{,}2; \quad R = \frac{S^2}{2{,}4}$$

Если перелом продольного профиля совпадает, при ширине проезжей части, соответствующей двум полосам движения, с закруглением в плане, то должно быть проверено обеспечение видимости на расстояние $2S$, т. е. водитель должен видеть встречный автомобиль, идущий по той же колее, на расстоянии, необходимом для остановки обоих идущих навстречу автомобилей. При этом можно принять, что один из автомобилей идет с высшей скоростью, допускаемой для легковых автомобилей, а другой идет с наибольшей скоростью, допускаемой для грузовых автомобилей, а покрытие находится в нормальном состоянии. При скользком состоянии покрытия для обоих автомобилей принимается в расчет скорость, допускаемая при этом состоянии покрытия (т. е. показанная во второй строке классификации (см. § 16). Возможны проверки и по другим схемам (препятствие на дороге, объезд и т. д. (см. стр. 143 и 145).

Величина радиуса вертикальной кривой, необходимой для

НТБ УДУНТ (ДІІТ)

обеспечения видимости пути на заданное расстояние, определяется по схеме (рис. 141)

$$R = \frac{S^2}{2{,}4} \qquad (1)$$

Эта схема справедлива в случае, если длина кривой больше расстояния видимости:

$$K = R(i_1 - i_2) \geqslant S, \qquad (2)$$

при этом

$$\Delta i_1 = i_1 - i_2 \geqslant \frac{S}{R} \qquad (3)$$

Если перелом продольного профиля невелик (рис. 142) и равен или менее величины

$$i_1 - i_2 = \Delta i_2 \leqslant \frac{1{,}2}{S},$$

то видимость обеспечена.

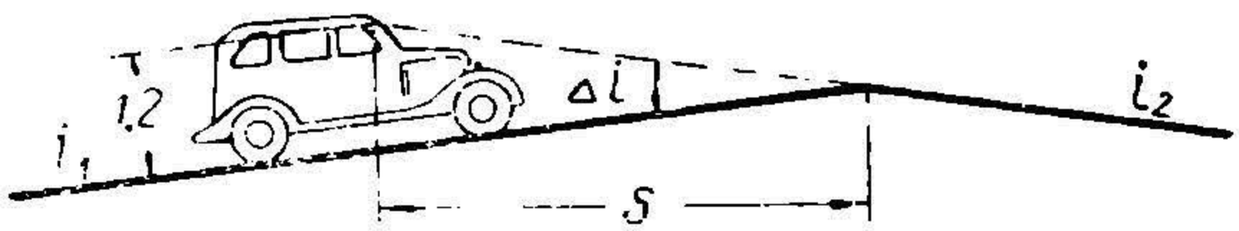


Рис. 142. Видимость на расстоянии S обеспечена, если $\Delta i = i_1 - i_2 < \frac{1{,}2}{S}$.

Нетрудно показать, что $\Delta i_1 = 2\Delta i_2$. Действительно из формул (3) и (1):

$$\Delta i_1 = \frac{S}{R} = \frac{2{,}4}{S} = 2\Delta i_2.$$

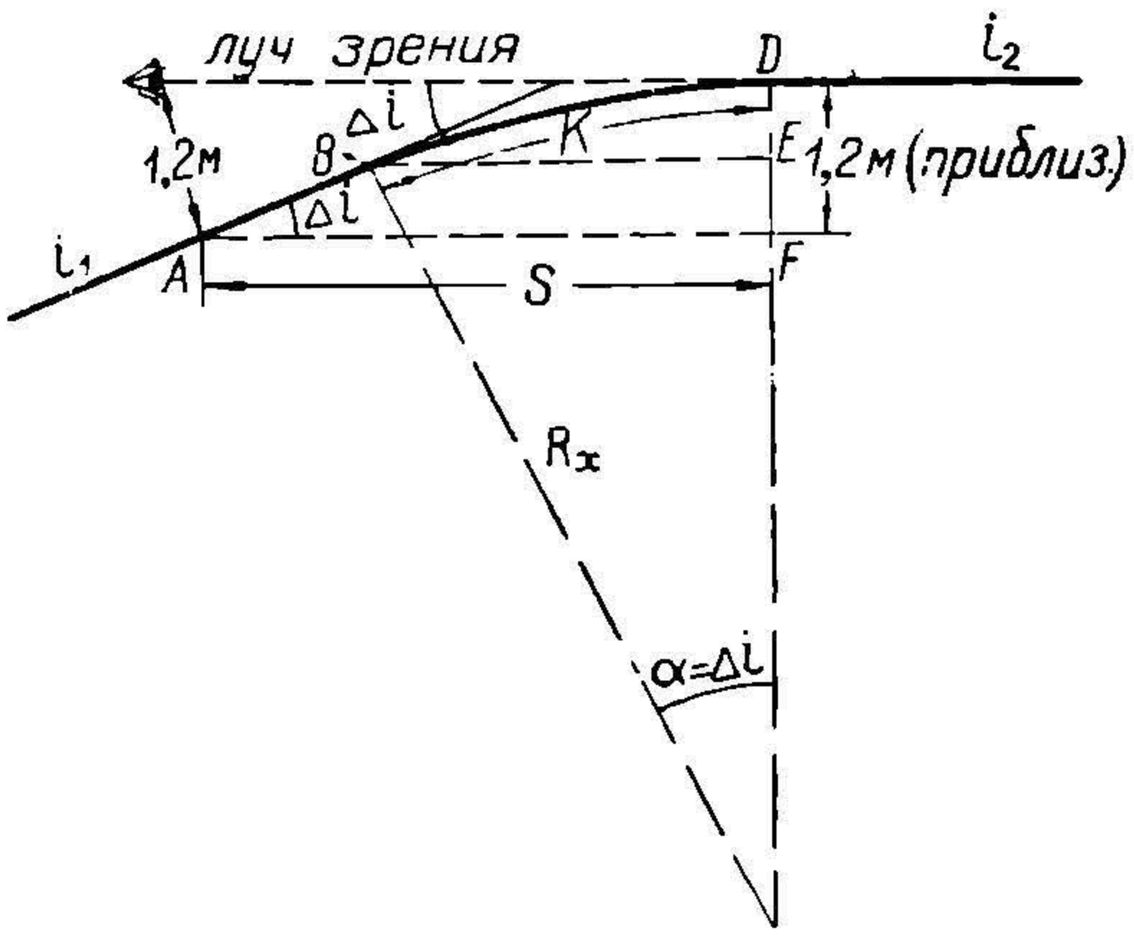


Рис. 143. Схема определения радиуса короткой вертикальной кривой, $K < S$, обеспечивающей видимость на расстоянии S при переломе уклонов $\frac{2{,}4}{S} > \Delta i > \frac{1{,}2}{S}$.

Необходимость обеспечения видимости на заданное расстояние S возникает при разности уклонов $\Delta i_1 > \frac{1{,}2}{S}$. Если при величине разности уклонов большей Δi_2 и меньшей Δi_1 для вписывания вертикальной кривой радиусом $R = \frac{S^2}{2{,}4}$ возникают значительные затруднения, то радиус можно уменьшить, определив его по схеме короткой вертикальной кривой (рис. 143). При приближении автомобиля к перелому профиля расстояние видимости пути постепенно уменьшается, но при переходе через точку А видимость пути резко увеличивается на расстояние, равное длине прямого уклона i_2. Поэтому для расчет-

НТБ УДУГТ (ДИТ)

ной схемы невыгоднейшее положение автомобиля будет в точке А, определяемой из условия, что $AD = S \cong AF$. Тогда имеем:

$$K = \Delta i R_x;\ AF = S;\ BD = K;\ AB = S - K;\ i_1 - i_2 = \Delta i = \alpha,$$

проектируя на радиус в конце кривой, получим:

$$DF = DE + EF,\ \text{но}\ DE = \frac{K^2}{2R_x};\qquad EF = AB \sin\alpha = (S - K)\Delta i;$$

$$DF = h = 1{,}2$$

тогда

$$\frac{K^2}{2R_x} + (S - K)\Delta i = 1{,}2;$$

отсюда, исключая K, находим:

$$\frac{\Delta i^2 \cdot R^2_x}{2R_x} + (S - \Delta i \cdot R_x)\Delta i = 1{,}2,$$

определяем R_x:

$$R_x \cdot \frac{\Delta i^2}{2} - R_x \cdot \Delta i^2 + S\Delta i = 1{,}2$$

и

$$R_x = \frac{2S}{\Delta i} - \frac{2{,}4}{\Delta i^2}.$$

На всех выпуклых переломах с разностью $\Delta i \leqslant \frac{1{,}2}{S}$ необходимо вписывание вертикальных кривых радиусом, обеспечивающим плавное движение без толчков, т. е. таким же радиусом, как для вогнутых кривых (см. § 16).

Радиусы выпуклых кривых по Т. У. 1938 г. указаны в табл. 5 (стр. 31) и применение их требуется при разности уклонов Δi более величины, указанной в табл. 26.

Предельные величины выпуклых переломов продольного профиля, при которых допускается устройство вертикальных кривых с радиусом одинаковым как и для вогнутых переломов, указаны в табл. 26.

Таблица 26

Характер местности	Класс дороги		
	I	II	III
Равнинная	0,7 %	1%	2,4%
Пересеченная	—	1,5%	3%

Величины этих радиусов, приведенных в классификации дорог (§ 16, табл. 5, стр. 31), являются наименьшими, обеспечивающими условия движения при расчетных скоростях, принятых для данных дорог.

При проектировании следует, где это представляется возможным, увеличивать радиусы, так как при этом увеличивается безопасность и улучшаются условия движения по дороге.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

На рис. 144 приведен пример, когда применение вертикальной кривой радиуса больше требуемого Т. У., при незначительном изменении объема работ, значительно улучшает условия движения по дороге.

В первом варианте вертикальные кривые $R = 1\,000$ м и видимость обеспечена на 45 м, во втором варианте красной линии

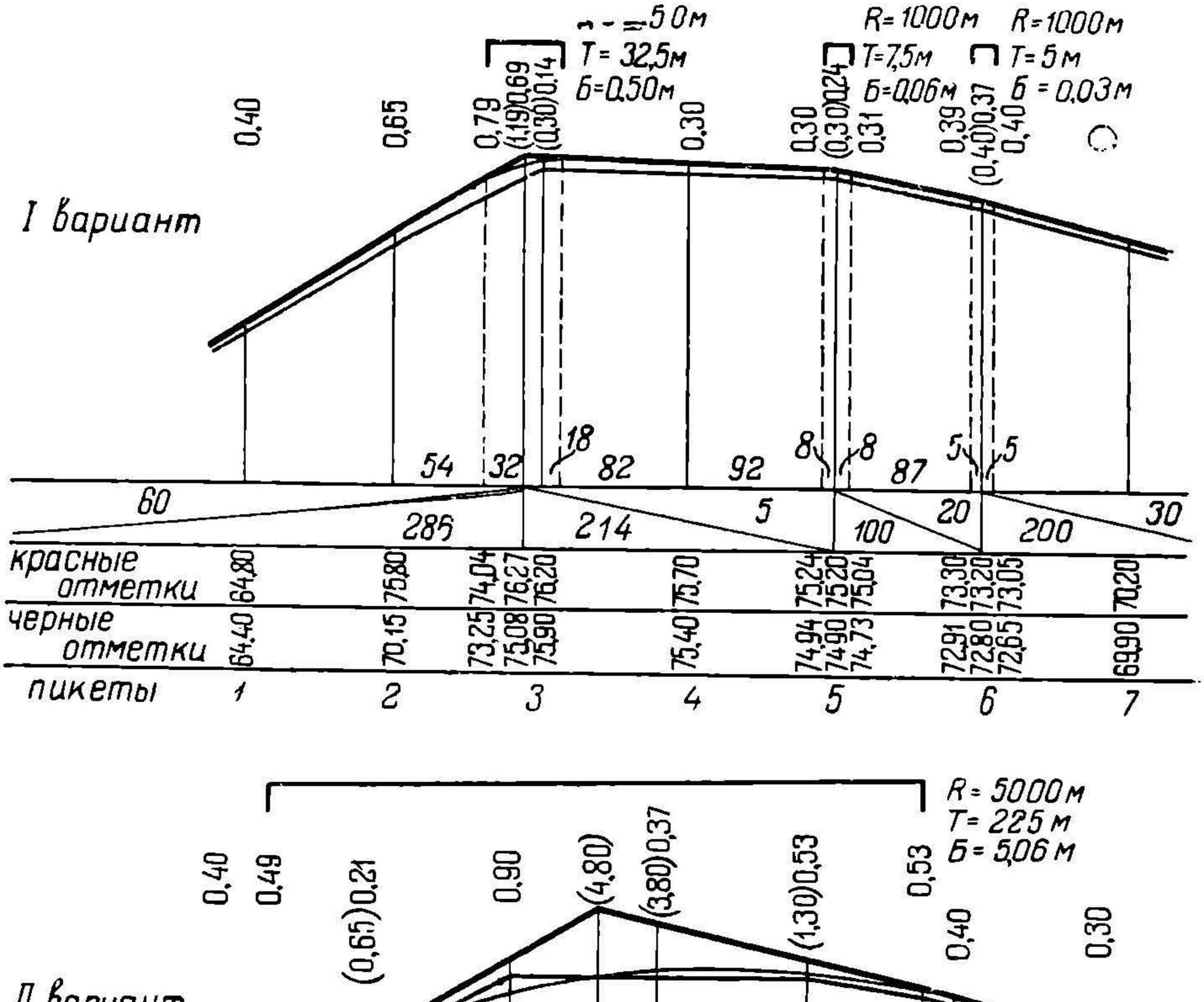


Рис. 144. Обеспечение видимости в случае применения вертикальной кривой радиуса большего, чем требуется по Т. У.

НБ УДУНТ (ДИТ)

вертикальная кривая приведена радиусом 5000 м и видимость пути обеспечена на 110 м; изменение объема земляных работ в этом случае незначительно.

64. Условия движения и назначение радиусов вогнутых кривых

При движении автомобиля по вогнутому перелому профиля видимость обеспечена, но, как указывалось выше, при этом получается толчок.

Кроме того, так как продольная ось автомобиля меняет свое направление, вращаясь около поперечной оси, проходящей через центр тяжести автомобиля, то возникает центробежная сила, вызывающая перегрузку рессор. Чтобы обеспечить безопасный для прочности автомобиля переход перелома профиля, нужно вписать вогнутую кривую такого радиуса, чтобы ускорение центробежной силы численно не превосходило 0,5 м/сек.^{2}; при этом перегрузка рессор не превысит $(0{,}5\ g)\ 100 = 5\%$ их нормальной нагрузки.

Для ограничения перегрузки рессор этой нормой необходимо, чтобы было соблюдено равенство: $\frac{v^2}{R} \leqslant 0{,}5$ м/сек.^{2}, отсюда $R \geqslant 2v^2$, где скорость v в м/сек., или $R \geqslant \frac{2V^2}{13}$, где скорость V в км/час.

Вписывание вертикальных кривых такого радиуса по Т. У. 1938 г. обязательно на всех переломах продольного профиля, но при этом длина сопрягающих вертикальных кривых должна быть не менее 20 м на дорогах I класса и не менее 10 м на всех остальных дорогах.

Для этого, при малых величинах разности уклонов, должен быть увеличен радиус вертикальной кривой до величины $R_1 = \frac{20}{\Delta i}$ на дорогах I класса и $R_2 = \frac{10}{\Delta i}$ на остальных дорогах, где $\Delta i = i_1 - i_2$ есть алгебраическая разность смежных уклонов.

По Т. У. Гушосдора НКВД 1938 г. величина радиусов вогнутых кривых назначается по табл. 5, § 16 (стр. 31).

65. Применение вертикальных кривых на подходах к мостам и путепроводам

При пересечении судоходных рек с широкими поймами при высоком подмостовом габарите требуются значительные земляные работы для устройства въездов на мост.

Аналогичные затруднения представляет устройство путепроводов при пересечении дорог при равнинном рельефе местности.

Если разность отметок бровок пересекающихся дорог или бровки дамбы и настила моста H, то для устройства пересечения при уклоне подходов i требуется горизонтальная площадка такой длины, чтобы при радиусах вертикальных кривых: выпуклой R

УДУМТ (ДІІТ) НБ

и вогнутой r была обеспечена возможность размещения тангенсов вертикальных кривых, длины моста или путепровода и промежуточных вставок по 10 м, требуемых Т. У. Гушосдора (рис. 145), т. е.

$$L = 2T + 2 \quad 10 + l = 2 \quad \frac{R \cdot i}{2} + 20 + l = iR + 20 + l,$$

где l — длина моста или путепровода по настилу в м.

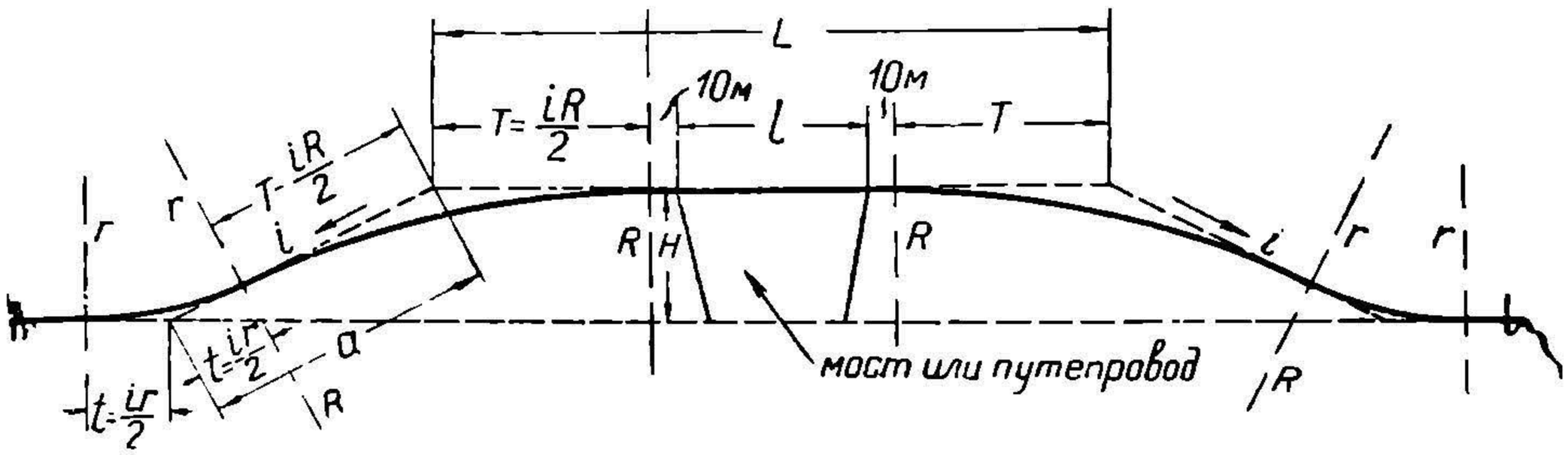


Рис. 145. Применение вертикальной кривой на подходе к путепроводу.

Длина уклона $a = \frac{H}{i}$ в то же время должна быть достаточна для размещения тангенсов выпуклой и вогнутой кривых, т. е.

$$a = \frac{ri}{2} + \frac{Ri}{2} = \frac{i}{2}(r + R),$$

откуда величина уклона

$$i = \sqrt{\frac{2H}{r + R}}.$$

Следовательно, зная H, по условиям устройства моста или путепровода, и радиусы выпуклой и вогнутой кривой, можно определить очертания перехода, требующие наименьшего объема работ.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ГЛАВА VIII

ДЕТАЛИ УСТРОЙСТВА ДОРОГ НА ЗАКРУГЛЕНИЯХ

(виражи, переходные кривые, серпантины)

66. Общая схема виража

Виражом называется устройство дороги на закруглении, при котором проезжей части и обочинам придается односкатный поперечный профиль с наклоном к центру кривой (рис. 146).

Применение виража имеет целью увеличить безопасность движения автомобиля на кривых малого радиуса. Односкатный поперечный профиль проезжей части препятствует заносу авто-

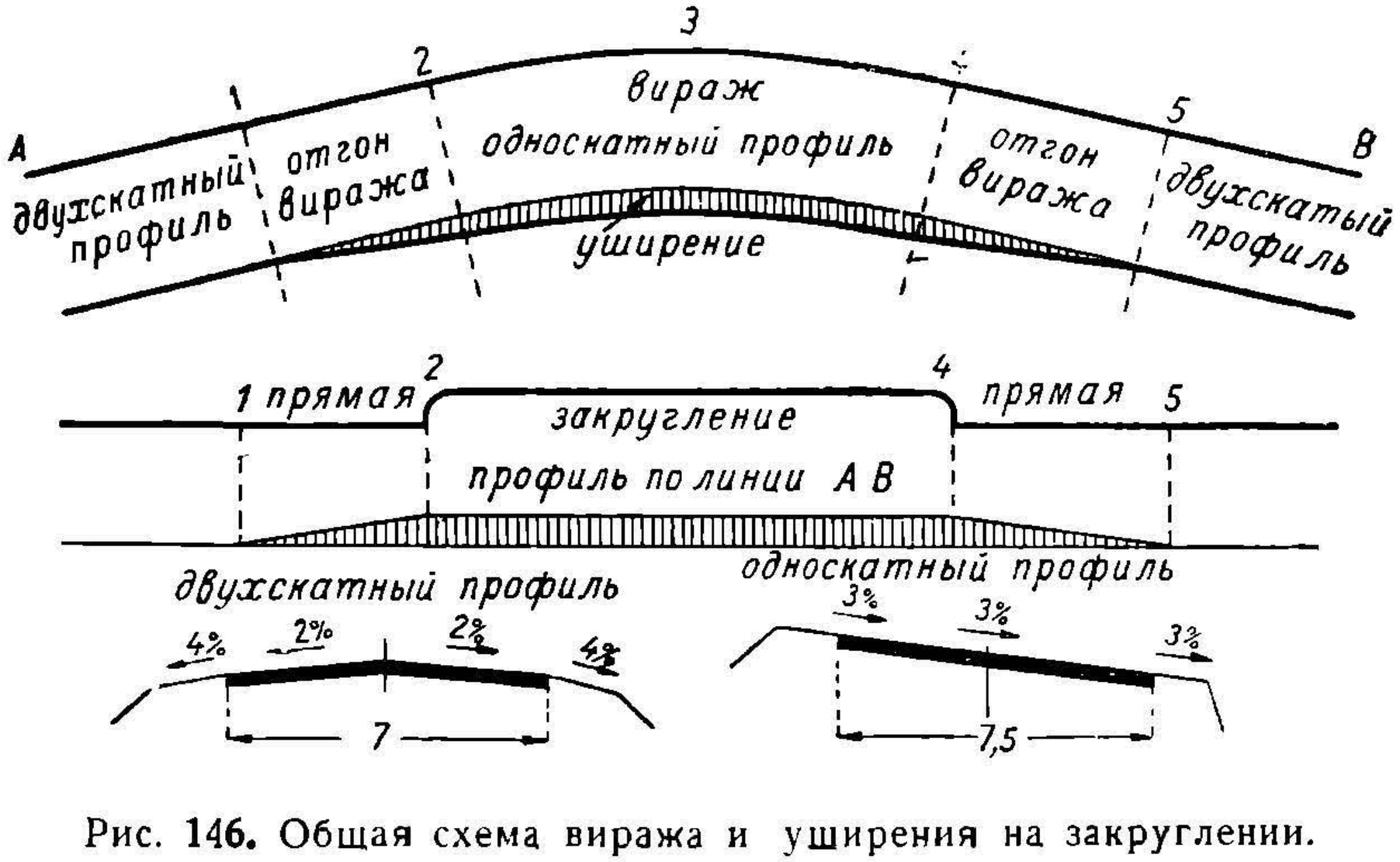


Рис. 146. Общая схема виража и уширения на закруглении.

мобиля (под действием центробежной силы) наружу кривой, способствует более равномерному распределению давления на внутренние и наружные колеса. Вираж способствует правильному использованию ширины проезжей части водителями машин, облегчая вписывание машины в кривую.

Односкатный профиль сохраняется на всем протяжении основной круговой кривой. На прямых участках, непосредственно примыкающих к кривой, а иногда на переходных кривых (см.

НТБ УДУНТ (ДИТ)

§ 71), устраивается постепенный плавный переход от односкатного профиля виража к нормальному двухскатному поперечному профилю; эти участки носят название отгонов виража.

Основными элементами виража (рис. 146) являются: 1) величина поперечного уклона проезжей части на односкатном профиле; 2) протяжение участка с односкатным профилем и 3) длина отгона виража.

Иногда (см. § 70) на закруглениях, кроме придания односкатного профиля, устраивается уширение проезжей части (рис. 146).

На закруглениях рекомендуемого радиуса в устройстве виража необходимости нет, так как и без него обеспечено спокойное и безопасное движение с расчетными для данного класса скоростями. При радиусах меньше рекомендуемого для обеспечения расчетной скорости необходимо устраивать вираж. Выбор величины основных элементов виража зависит от: 1) расчетной скорости движения, 2) радиуса кривой, 3) рода и состояния покрытия проезжей части, 4) величины центрального угла кривой, 5) ширины проезжей части и ее устройства.

67. Величина поперечных уклонов виража

Величина уклона односкатного поперечного профиля на вираже зависит от скорости движения, величины радиуса кривой и принятого значения коэфициента сцепления шины с дорогой. Зависимость эта выражается формулой (см. стр. 125) $R \geqslant \frac{V^2}{127\,(\varphi_2 + i_0)}$, отсюда уклон виража $i_0 = \frac{V^2}{127R} - \varphi_2$.

Следовательно величина поперечного уклона проезжей части на вираже должна возрастать с увеличением скорости движения, с уменьшением радиуса кривой и с уменьшением сцепления колеса с дорогой. Для проектируемой дороги V и φ_2 величины постоянные и уклон зависит от радиуса закругления.

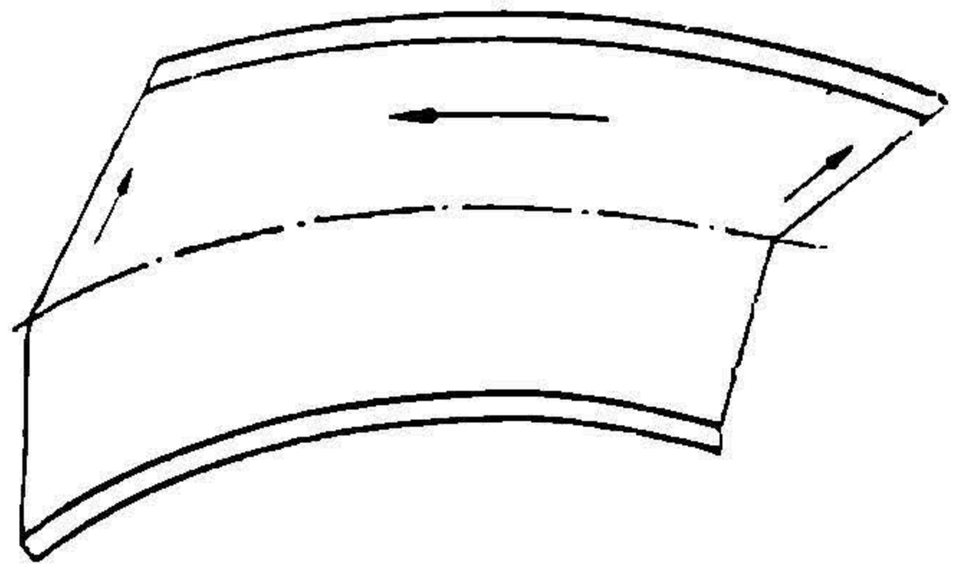


Рис. 147. Обратный вираж (с наклоном во внешнюю сторону кривой, т. е. от центра).

По Т. У. 1938 г. значение первого члена в уравнении уклона поперечного профиля— $\frac{V^2}{127\,R}$, для рекомендуемых радиусов колеблется от 0,01 до 0,03, для основных расчетных от 0,06 до 0,08 и для минимальных от 0,19 до 0,21.

Отсюда легко видеть, что при расчетных скоростях и принятом коэфициенте поперечного сцепления $\varphi_2 = 0{,}06 - 0{,}07$: а) для рекомендуемых радиусов вираж не нужен,

НБ УАДИТ (ДИТ)

движение может происходить безопасно даже при наличии обратного виража, т. е. при наклоне ската проезжей части от внутренней кромки кривой к наружной (рис. 147); б) для основных расчетных радиусов вполне достаточен уклон односкатного профиля по величине равный уклону проезжей части на нормальном двухскатном профиле; в) для минимальных радиусов, для скоростей, показанных в первой строчке классификации, потребовался бы весьма значительный уклон проезжей части на вираже — около 13 — 15%. Для расчетных скоростей, показанных во второй строчке классификации, соответствующих скользкой дороге, уклоны виражей, указанные в Т. У., достаточны.

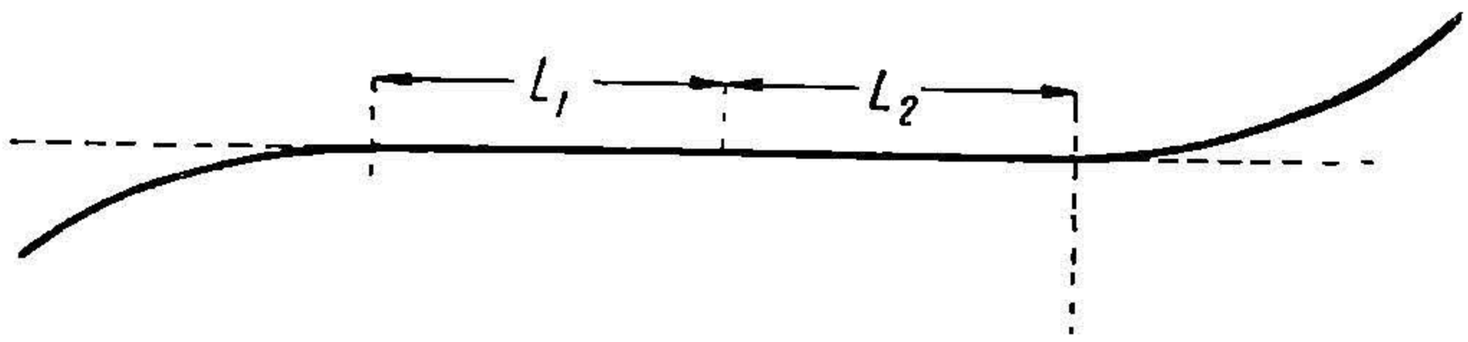


Рис. 148. Прямая вставка между обратными кривыми, необходимая для размещения отгонов виражей.

Придание большого уклона односкатному профилю на кривых минимального радиуса связано с трудностями. Осуществление его потребовало бы большой длины отгона виража, для чего необходимо иметь соответствующей длины прямые вставки между обратными кривыми (рис. 148). В значительно пересеченной или застроенной местности, где, главным образом, и применяются кривые минимальных радиусов, трассирование дороги с большими прямыми вставками редко может быть выполнено, так как постройка такой дороги потребует значительных затрат (на земляные работы, снос строений).

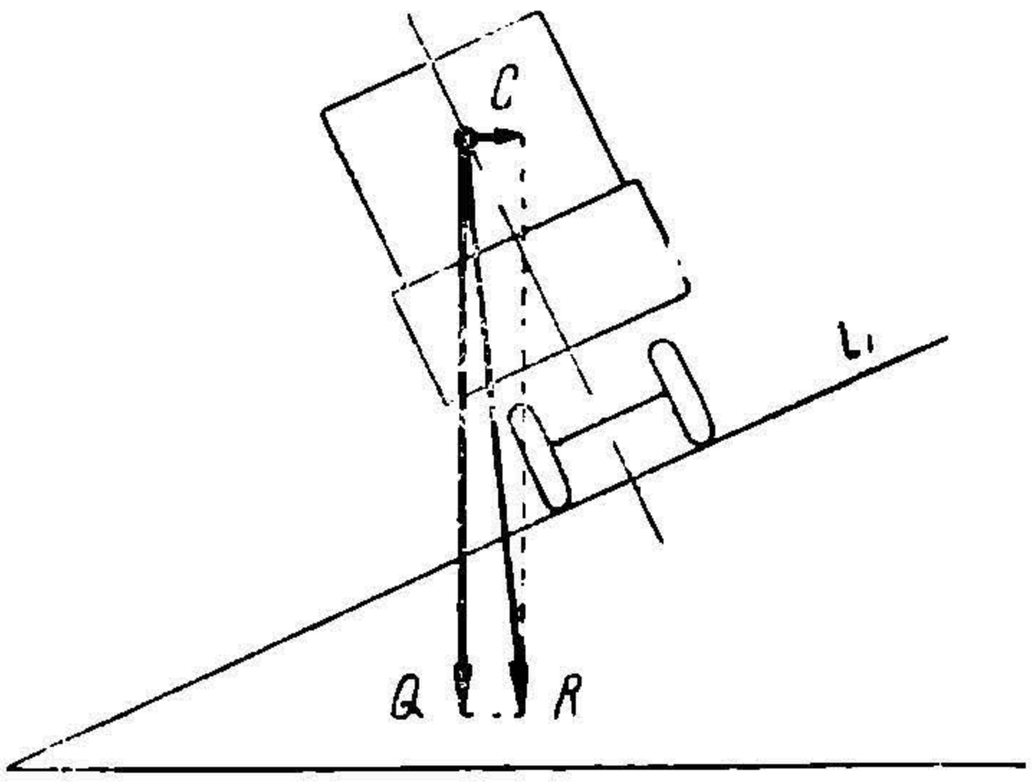


Рис. 149. Неустойчивое положение машин и повозок, идущих с малой скоростью по виражу с крутым поперечным скатом.

Кроме того, проход виражей с большим поперечным уклоном был бы небезопасен для машин, идущих с небольшой скоростью и с высоко расположенным центром тяжести, так как влияние составляющей силы веса может оказаться значительнее влияния центробежной силы (рис. 149).

Ввиду этих трудностей, Т. У. установлены уклоны односкатного профиля на вираже до 6% (для горной местности). На таких виражах, при принятом коэфициенте поперечного сцепления $\varphi_2=0{,}06—0{,}07$, расчетные скорости для сухой дороги (первая строчка

НБ УДУНТ (ДІІТ)

классификации) не будут обеспечены. При покрытой небольшим слоем снега загрязненной проезжей части на всех кривых, где поперечный уклон виража менее расчетного, получаемого по формуле $i_0 = \frac{V^2}{127R} - \varphi_2$, необходимо будет уменьшать фактическую скорость движения до величин, указанных во второй строчке, т. е. для скользкой дороги.

В горной местности при прохождении дороги по крутым склонам (при крутизне больше 30%), если кривая обращена выпуклостью к горе (рис. 150), проезжая часть хотя и устраи-

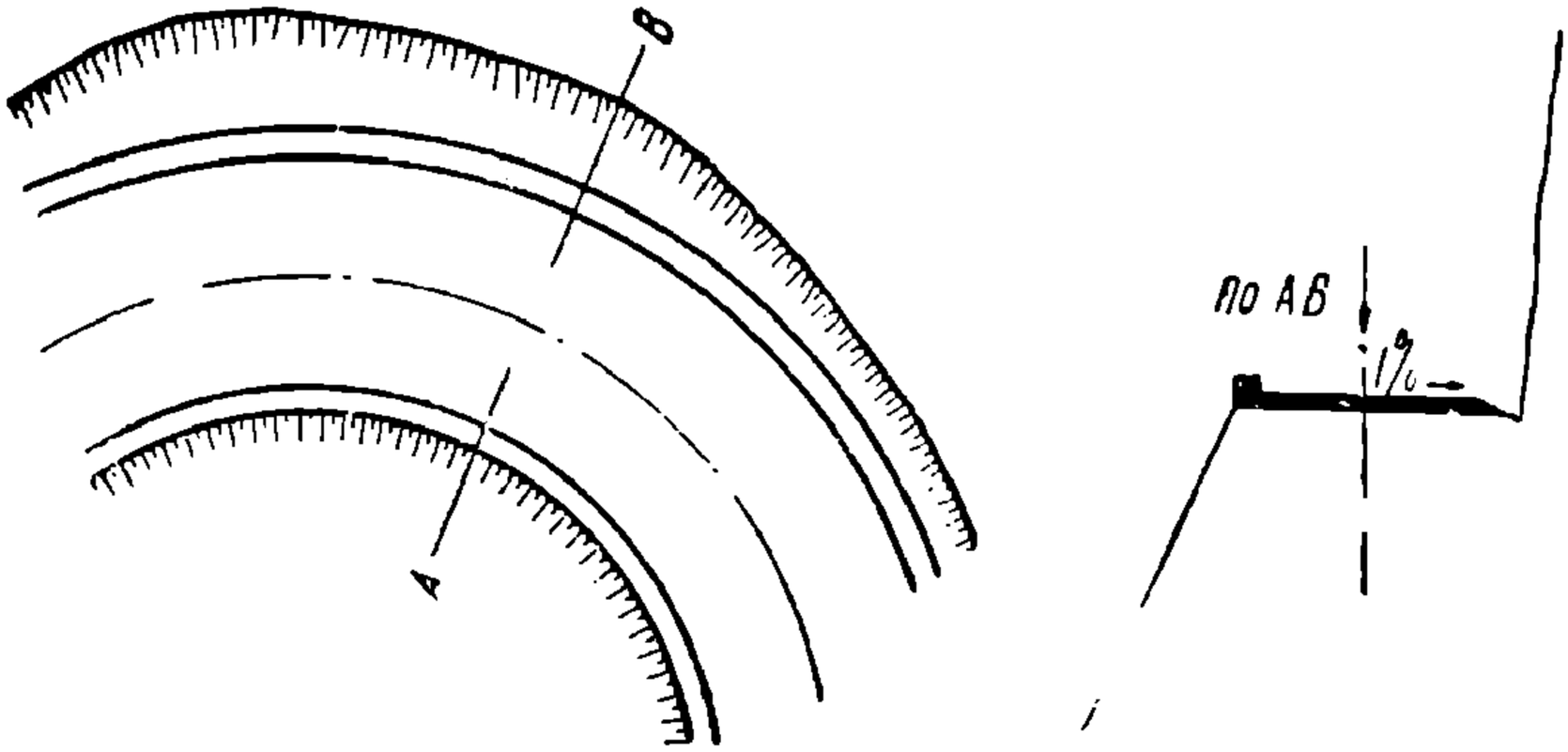


Рис. 150. Односкатный профиль с обратным виражом на горных дорогах при расположении кривой выпуклостью к горе.

вается с односкатным поперечным профилем, но уклон делается в сторону горы, т. е. получается обратный вираж; скорость движения по таким участкам должна быть соответственно уменьшена. Такое устройство вызывается желанием обеспечить большее спокойствие водителю машин на крутых склонах. Правильно устроенный вираж на таком участке мог бы показаться водителю опасным, способствующим скольжению или опрокидыванию машины под откос, почему водитель машины мог бы невольно уменьшить скорость движения на закруглении. При обеспеченности хорошей видимости все же можно было бы и на кривых, обращенных выпуклостью к горе, устраивать нормальный вираж, хотя бы не больше уклона проезжей части, так как указанные обстоятельства не так существенны; вираж же обеспечивает большую скорость прохождения автомобилей.

Второй основной элемент виража — протяжение участка с односкатным профилем — зависит от угла поворота α и равен (считая протяжение по оси) $\frac{\pi R \alpha}{180}$, в том случае, когда нет переходной кривой, а при наличии последней равен $\frac{\pi R (\alpha - 2\varphi)}{180}$ (см. § 71).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

68. Отгон виража

Отгон виража представляет (рис. 151) постепенный переход от двухскатного профиля на прямой к односкатному на закруглении. На рис. 151 можно видеть, что наружная половина проезжей части на отгоне *1 2 4 5* и *7 8 10 11* представляет косую поверхность (гиперболический параболоид). Эта поверхность образована скольжением прямой линии поперечного ската $\overline{12}-\overline{45}$ по двум непараллельным прямым $\overline{14}$ и $\overline{25}$. Прямая $\overline{12}$ (образующая) при своем скольжении все время меняет свой наклон к горизонтальной плоскости, оставаясь в то же время в плоскости, нормальной к продольной оси дороги. При отсутствии уширения проезжей части внутренняя (по отношению к центру кривой) часть поверхности представляет собой плоскость, если наклон линий $\overline{23}$ и $\overline{56}$ одинаков, или слабоизогнутую косую поверхность, если эти наклоны неодинаковы. Проезжая часть на вираже в пределах круговой кривой представляет коническую поверхность. Поверхность виража получает также характер конической поверхности, если вираж устраивается на переходной кривой или имеется уширение проезжей части.

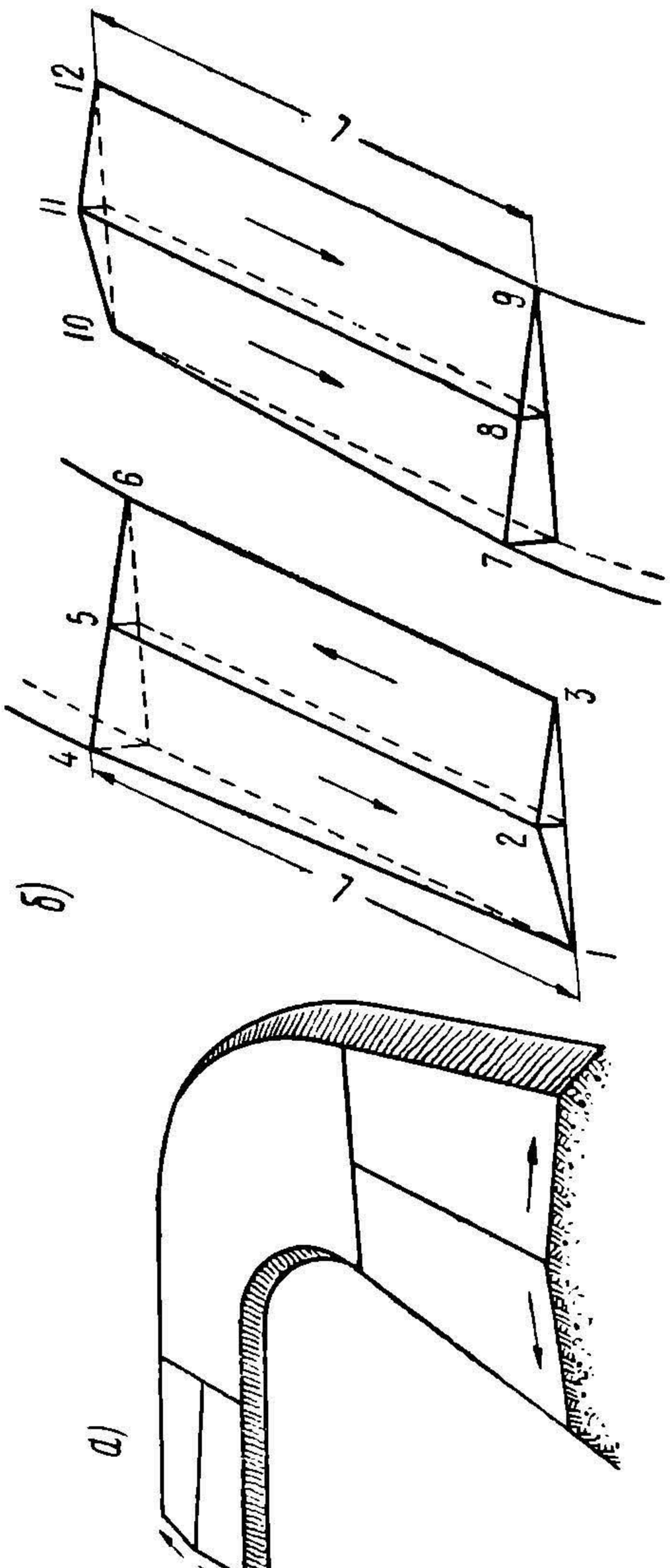


Рис. 151. Переход от односкатного профиля к двухскатному (*а*). Косые поверхности на отгонах виража (*б*).

Длина отгона виража должна быть настолько большой, чтобы переход от нормального двухскатного профиля к односкатному произошел достаточно плавно, чтобы для движущихся с большой

НБ УДУНТ (ДІІТ)

скоростью автомобилей этот переход не представлял бы заметных неудобств.

На переходном участке — отгоне виража — автомобиль находится в худших условиях, чем на прямом участке с нормальным двухскатным профилем, и условия движения ухудшаются с уменьшением длины отгона.

При движении автомобилей по участку отгона виража (рис. 151-б):

1. Нагрузка между колесами распределяется неравномерно—одно из четырех колес может быть слабо нагруженным; при переходе от положения *45* к положению *12* или от *10—11* к *7—8* соотношение между нагрузками правых и левых колес меняется, также меняются условия сцепления.

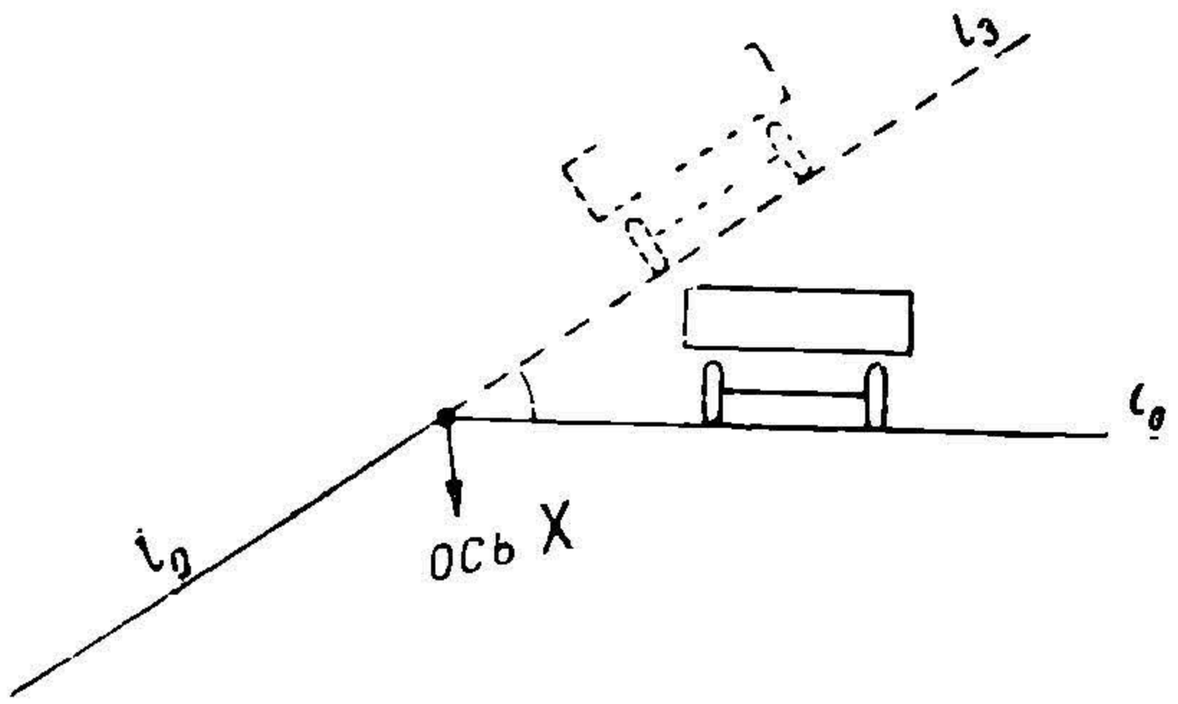


Рис. 152. Вращение кузова автомобиля вокруг продольной оси *X* при проходе по отгону виража.

Неравномерность нагрузки на колеса отчасти выправляется рессорами и пневматическими шинами. Для назначения длины отгона виража этот пункт не является решающим, тем более, что точный расчет допускаемого отклонения от плоскости для поверхности проезжей части на отгоне затруднителен.

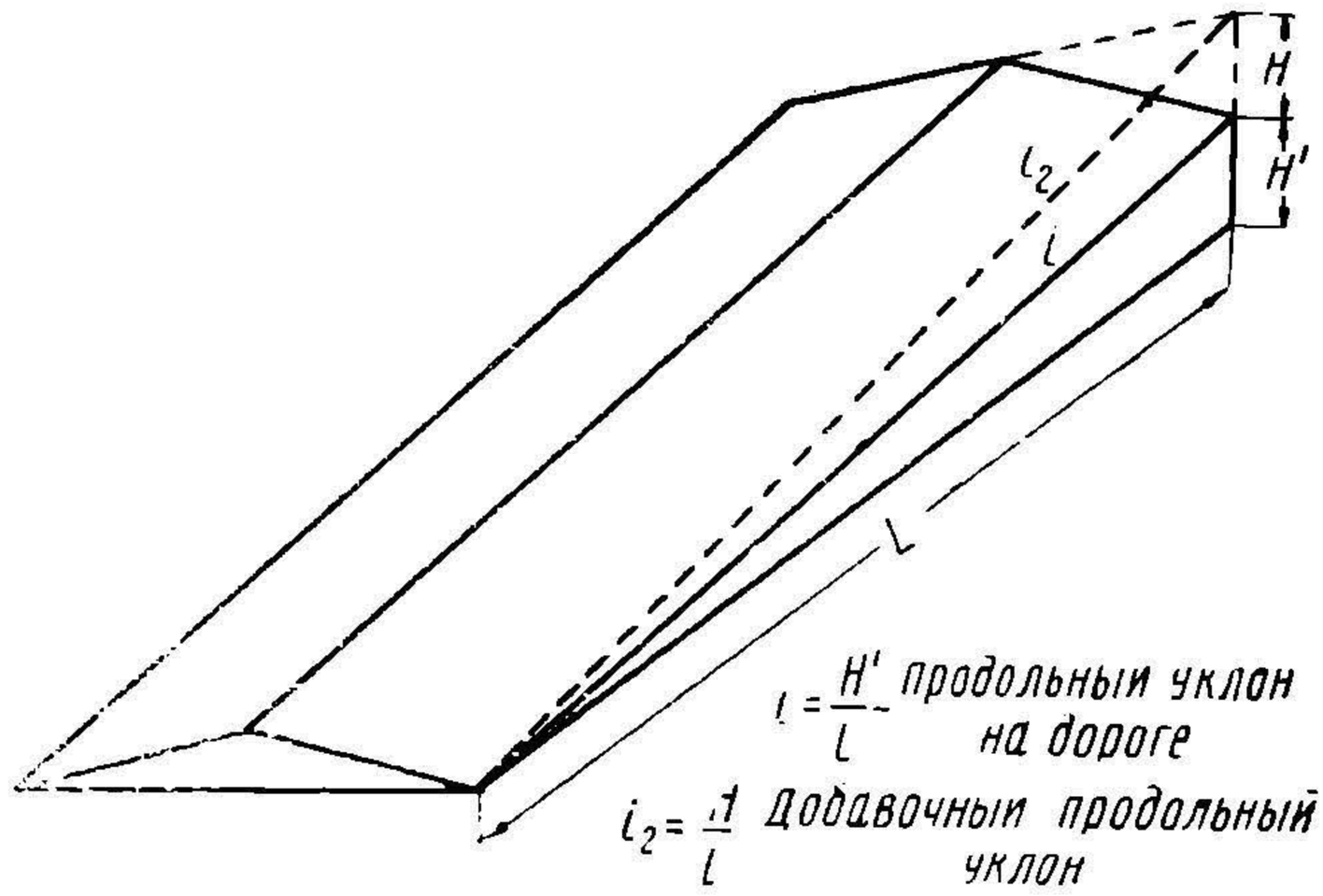


Рис. 153. Добавочный продольный уклон на отгонах виражей.

2. Кузов автомобиля получает вращение вокруг продольной оси *X*, совпадающей с направлением движения (рис. 152).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Вращение автомобиля вокруг оси X существенного влияния на длину отгона виража не оказывает.

3. Из-за повышения кромки проезжей части на величину H получается добавочный продольный уклон, который приходится преодолевать автомобилям (рис. 153). Если принять длину отгона лишь из условия спокойного движения при вращении вокруг горизонтальной оси, то может оказаться, что сумма уклона дороги i и уклона отгона i_2 будет превосходить максимальный продольный уклон, допустимый для дороги. Очевидно, величина добавочного уклона по кромке проезжей части должна быть уменьшена и, следовательно, необходимо увеличивать длину отгона виража.

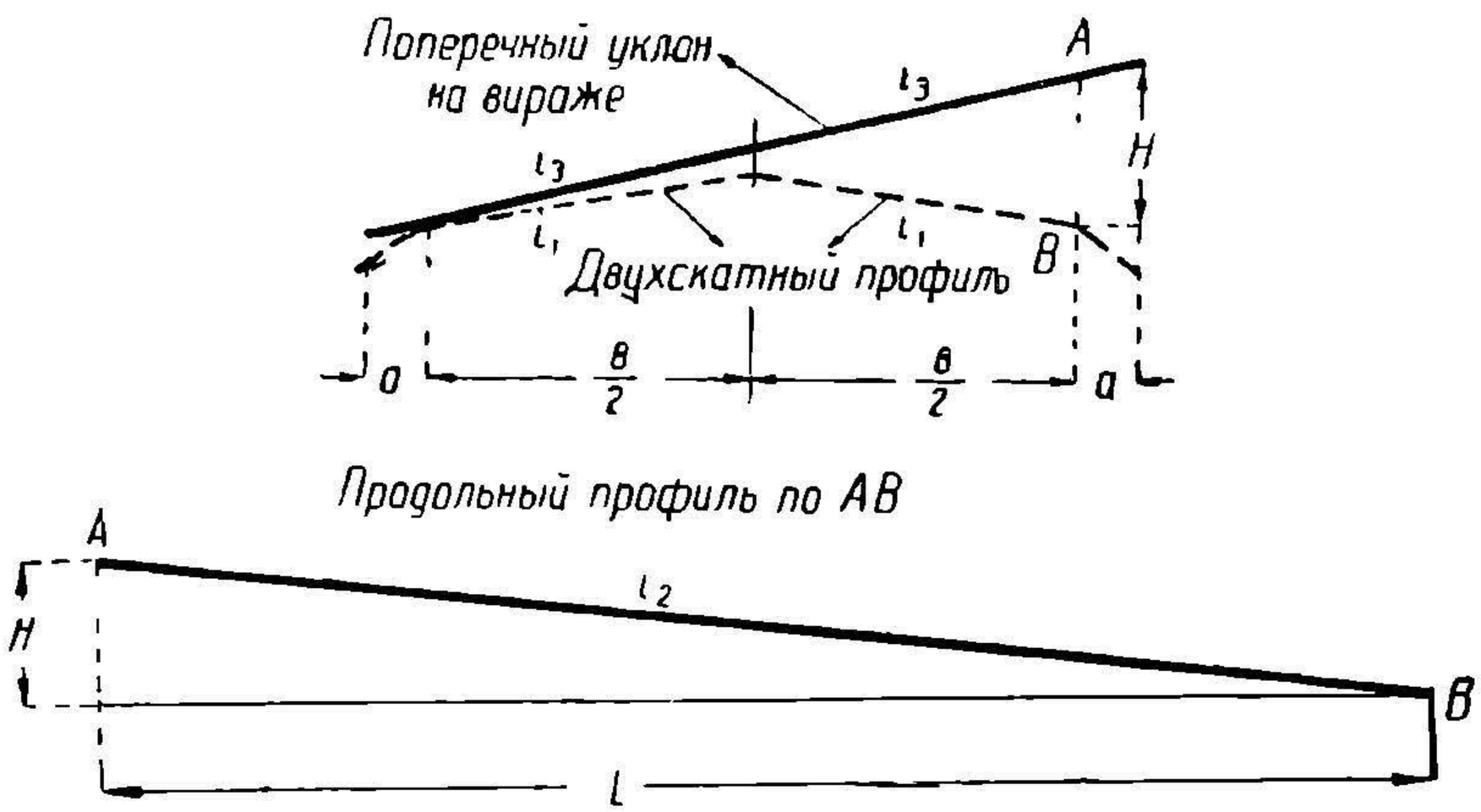


Рис. 154. Зависимость длины отгона виража от величины подъема кромки проезжей части на односкатном профиле.

Если постепенный переход от двухскатного профиля к односкатному происходит путем вращения ската не вокруг оси проезжей части, а вокруг кромки, то длина отгона (рис. 154)

$$L = \frac{bi_3}{i_2}$$

Длина отгона L округляется до целого числа метров, i_3—поперечный уклон проезжей части на односкатном профиле в м; b—ширина проезжей части.

По Т. У. 1938 г. уклон по кромке проезжей части принимается: для дорог I класса не более 0,5%, для дорог II и III класса в равнинной и пересеченной местности не более 1%, для дорог II и III класса в горной местности не более 2%.

Длину отгона иногда принимают равной длине переходной кривой (см. § 71).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

69. Разбивка виража (построение поперечных профилей)

Построение косой поверхности отгона виража производится посредством разбивки последовательных поперечных профилей проезжей части и обочин.

Наиболее простой разбивка виража получается в том случае, когда уклон односкатного профиля на вираже равен нормальному поперечному уклону проезжей части на двухскатном профиле. В этом случае переход от двухскатного профиля к односкатному осуществляется путем вращения наружного ската проезжей части вокруг вершины O_1, лежащей на оси дороги (рис. 155).

Внутренний скат проезжей части не меняет своего положения.

Схема разбивки виража изображена на рис. 155. До начала отгона наружной и внутренней[1] обочинам придается уклон, равный уклону проезжей части двухскатного профиля, т. е. наружная и внутренняя бровки земляного полотна поднимаются на величину

$$h_1 = a\ (i_0 - i_1),$$

где a — ширина обочины; i_0 — уклон обочины; i_1 — поперечный уклон проезжей части на двухскатном профиле.

Обычно повышение бровок на величину h_1 производится на расстоянии $l_1 = \frac{h_1}{i_4}$, где i_4 — добавочный продольный уклон на отгоне виража по наружной бровке земляного полотна. Вообще говоря, это повышение может быть сделано и на меньшей длине, так как автомобильного движения по обочине не происходит.

Данные для построения поперечного профиля в любом расстоянии l_2 от начала отгона легко получаются следующим образом. Отметка оси c_n (рис. 155) и отметка внутренней кромки проезжей части d_n, остаются неизменными, т. е. такими же, как и в том случае, если бы виража не устраивалось. Отметка наружной кромки b_n будет больше отметки d_n на величину

$$h_n = \frac{Hl_n}{L},$$

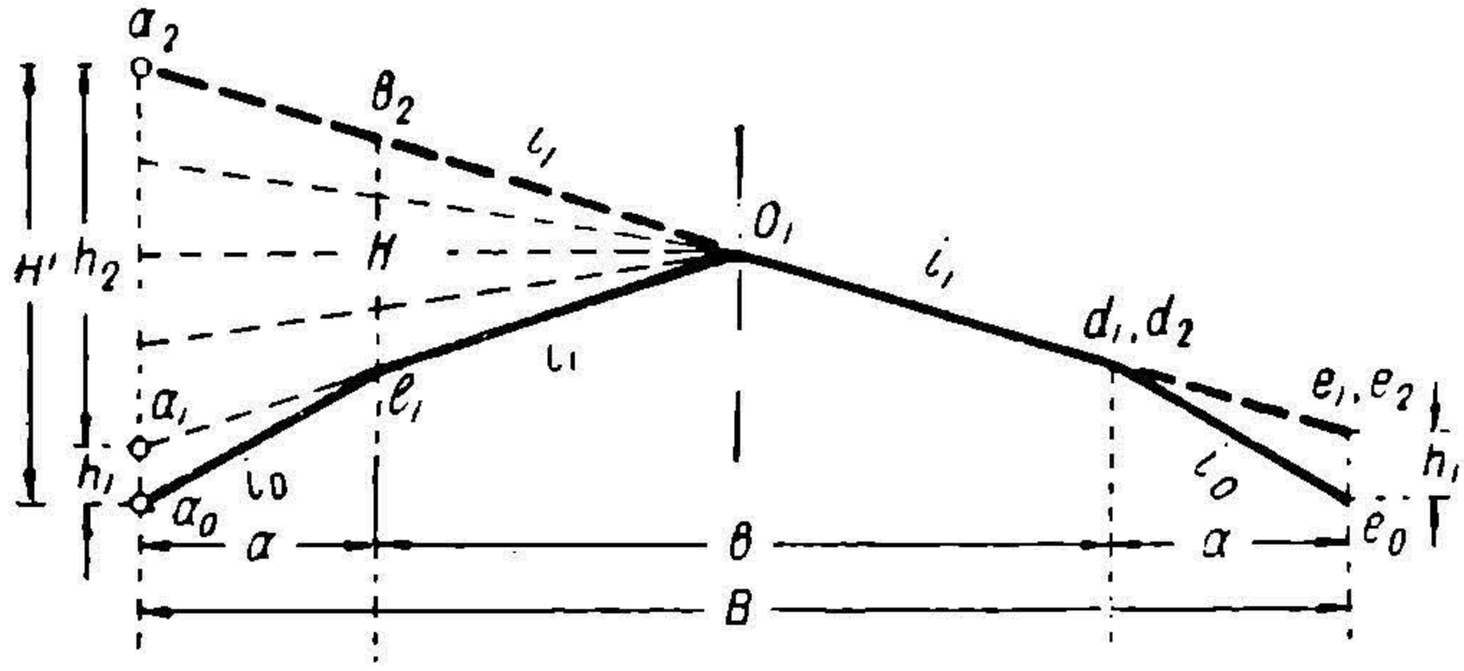
где H—полное повышение кромки проезжей части в м; l_n—расстояние в м рассматриваемого поперечника от начала отгона; L—длина отгона виража.

Отметка наружной бровки земляного полотна a_n будет больше отметки b_n на величину $a\left(\frac{h_n - \frac{b}{2}i_1}{\frac{b}{2}}\right)$, где a — ширина обочины.

---

[1] По „Техническим условиям на сооружение автомобильных дорог и мостов 1938 г“ уклон внутренней обочины i_0 на вираже не меняется. Это нельзя признать целесообразным; никаких преимуществ не получается, а при наличии уширения разбивка виража осложняется.

НБ УДУНТ (ДИТ)



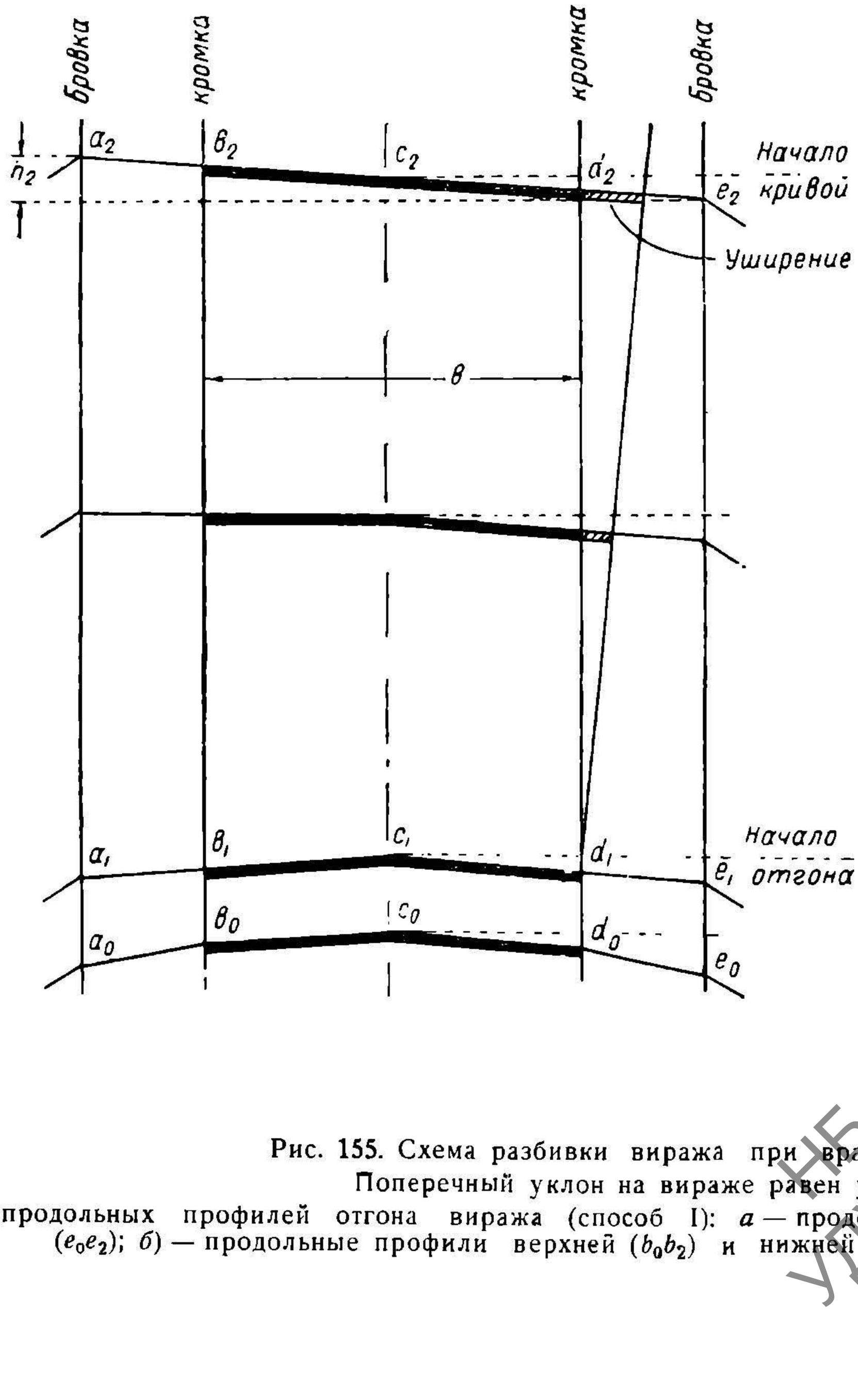


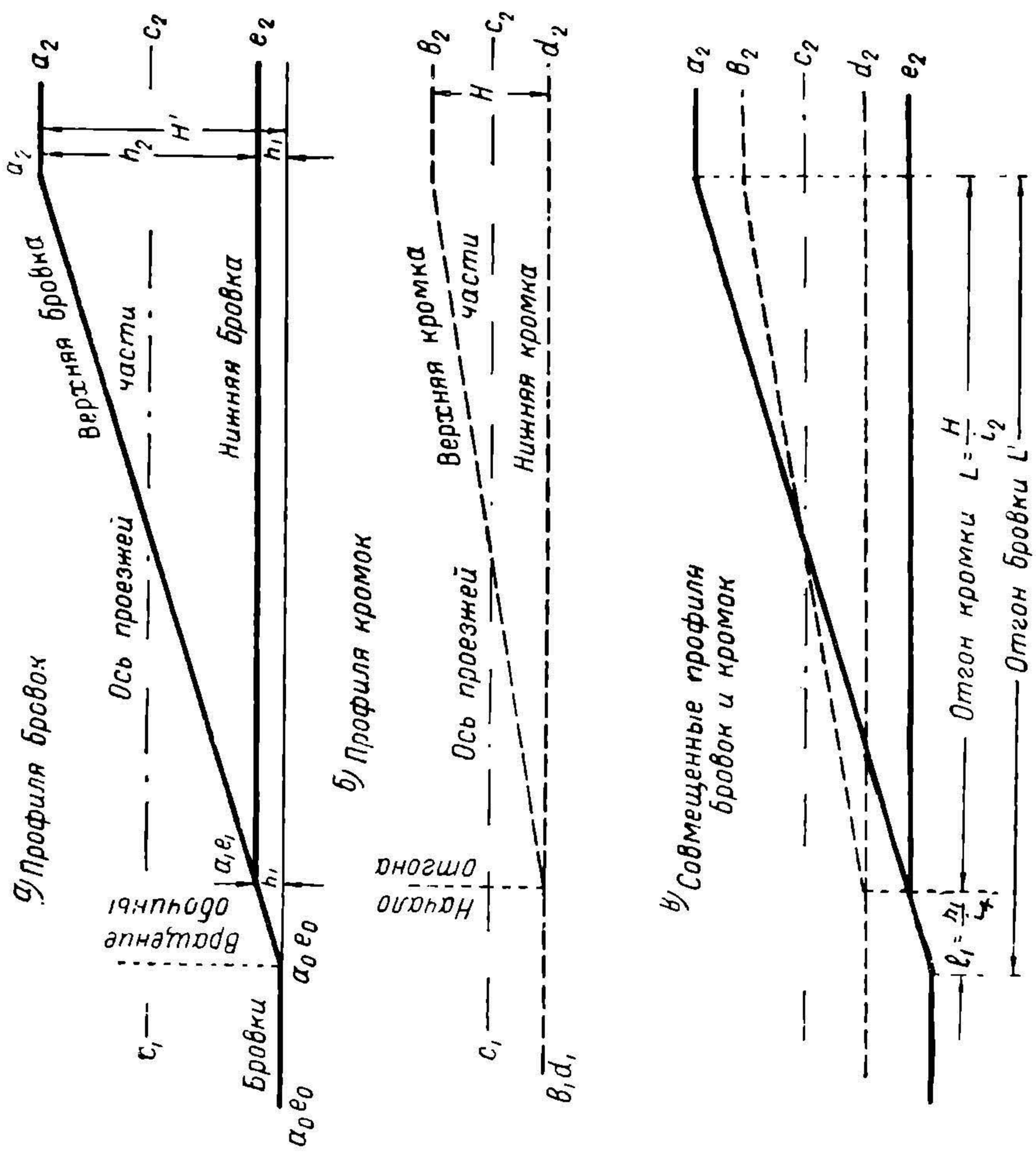
Рис. 155. Схема разбивки виража при вращении
Поперечный уклон на вираже равен уклону
Схема продольных профилей отгона виража (способ I): *а* — продольные (e_0e_2); *б*) — продольные профили верхней (b_0b_2) и нижней (d_0d_2)

НБ УДУНТ (ДИТ)

$\left(\frac{h_n - \frac{b}{2} i_1}{\frac{b}{2}}\right)$ — уклон наружной половины проезжей части на рассматриваемом поперечнике.

Отметка внутренней бровки e_n будет меньше отметки d_n (в том случае, если не производится уширение земляного полотна) на величину ai_1.

Если уклон односкатного профиля на вираже больше уклона проезжей части на нормальном двухскатном профиле, то пере-



наружного ската вокруг точки O_1 на оси дороги.

проезжей части на двухскатном профиле.

профили верхней (наружной) бровки земляного полотна (a_0a_2) и нижней бровки кромок проезжей части; *в* — совмещенные профили бровок и кромок.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

ход от двухскатного профиля к односкатному можно осуществить (рис. 156) или: 1) вращением ската вокруг точки A кромки проезжей части; 2) вращением вокруг вершины B, расположенной на оси проезжей части, причем внутренняя половина проезжей части будет понижаться против нормального положения (рис. 156б).

При первом решении по оси дороги получится некоторый подъем в продольном направлении, не представляющий, однако, неудобства для езды. При втором решении потребуется меньше земляных работ (в насыпи) для повышения наружной обочины. Однако, с внутренней стороны получится, как можно видеть из продольного профиля рис. 157, толчок, вследствие довольно резкого понижения нижней кромки при входе на кривую, а затем обратное повышение этой кромки при возвращении на прямую. Поэтому вращение вокруг внутренней кромки A дает более спокойную езду. Т. У. 1938 г. принят первый способ, т. е. сначала

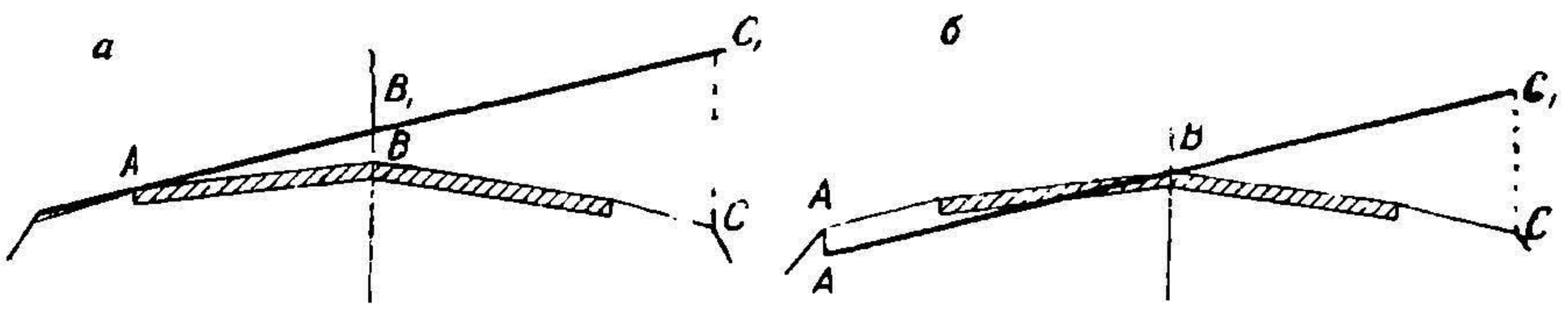


Рис. 156. Два: способа устройства виража
а — вращение вокруг точки A; *б* — вращение вокруг точки B (оси дороги) (способ II). Оба способа применяются, если $i_3 > i_1$.

происходит вращение ската вокруг осевой точки до тех пор, пока наружный скат не приобретет того же уклона, как и внутренний скат; после этого происходит вращение всей поверхности земляного полотна около внутренней кромки (без учета уширения).

Разбивка виража (рис. 158) до односкатного поперечника III, имеющего уклон, равный уклону проезжей части на двухскатном профиле, производится аналогично рассмотренному ранее случаю. Поперечник этот отстоит от начала отгона на величину $l'_2 = \frac{bi_1}{i_2}$. За этим поперечником вращение ската начинает происходить уже около внутренней кромки A. Данные для построения поперечника в каком угодно расстоянии l_n от начала отгона виража (где $l_n > l'_2$) могут быть найдены из условия, что отметка внутренней кромки проезжей части d_n остается такой же, как и при нормальном двухскатном профиле. Отметка наружной кромки b_n больше отметки d_n на величину $h_n = l_n i_2$ $\left(\text{или, что то же, на величину } \frac{Hl_n}{L}\right)$. Отметка осевой точки c_n будет равна полусумме отметок точек b_n и d_n.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

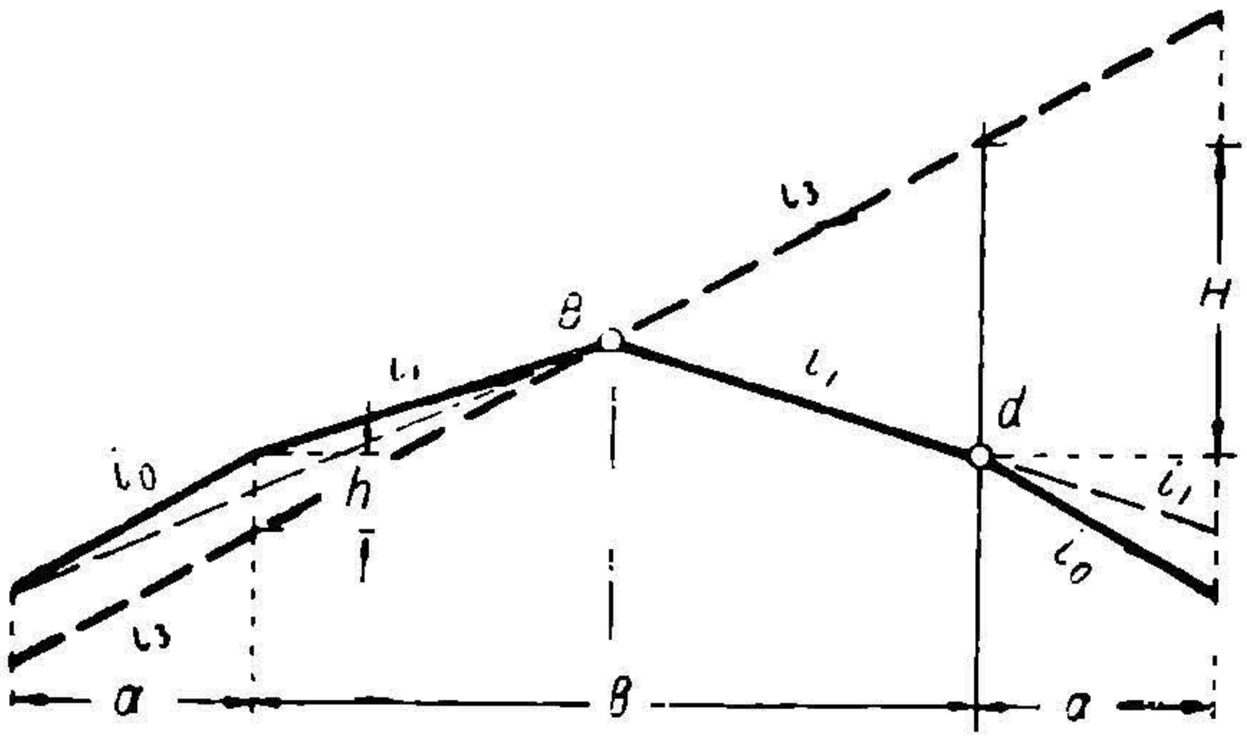
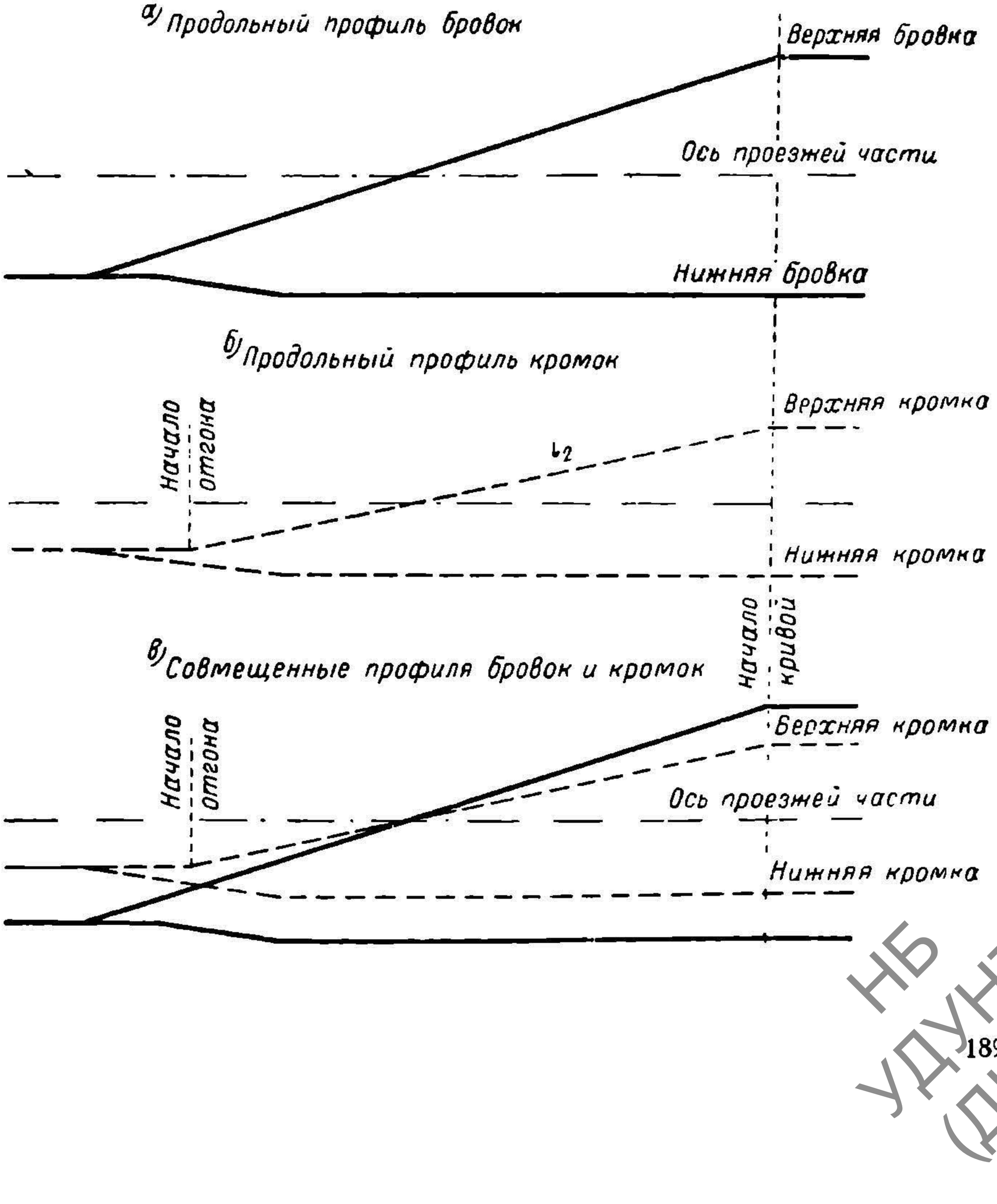


Рис. 157. Устройство виража.

Вращение вокруг оси B; $i_в > i_1$.



НБ УДУНТ (ДІІТ)

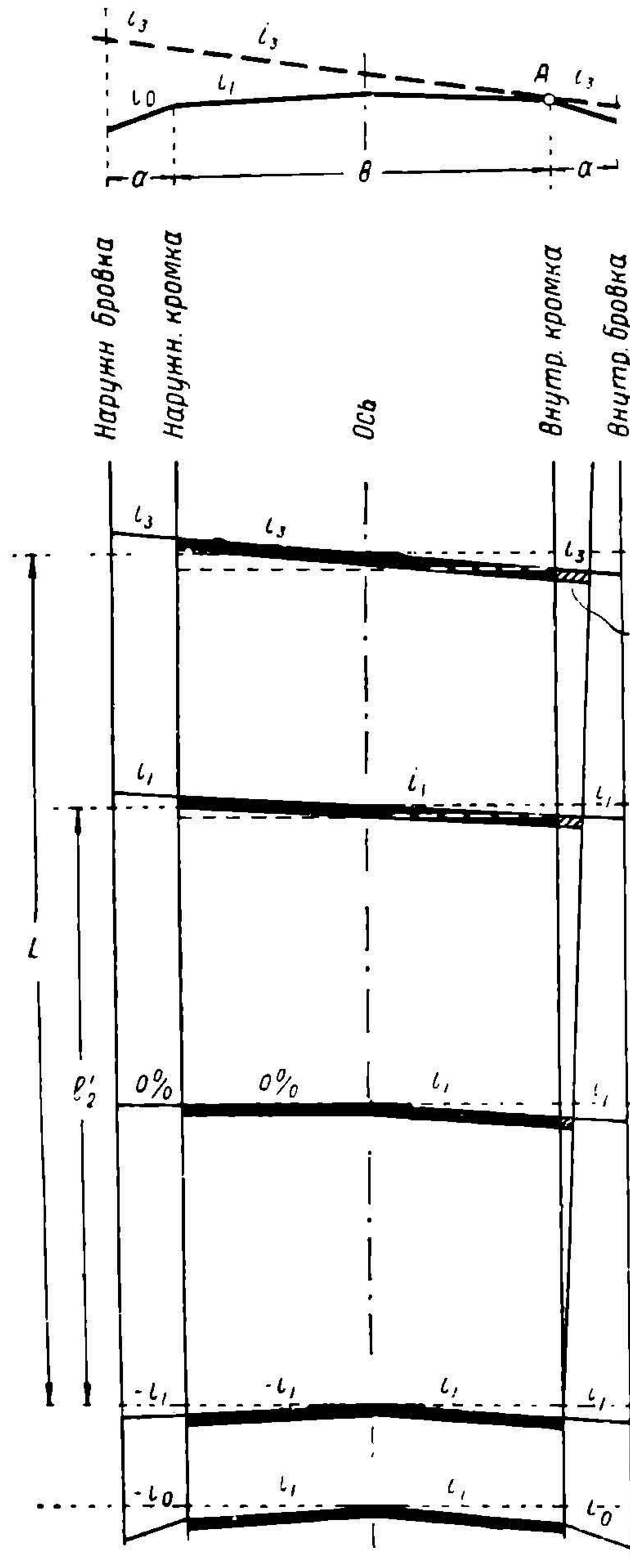


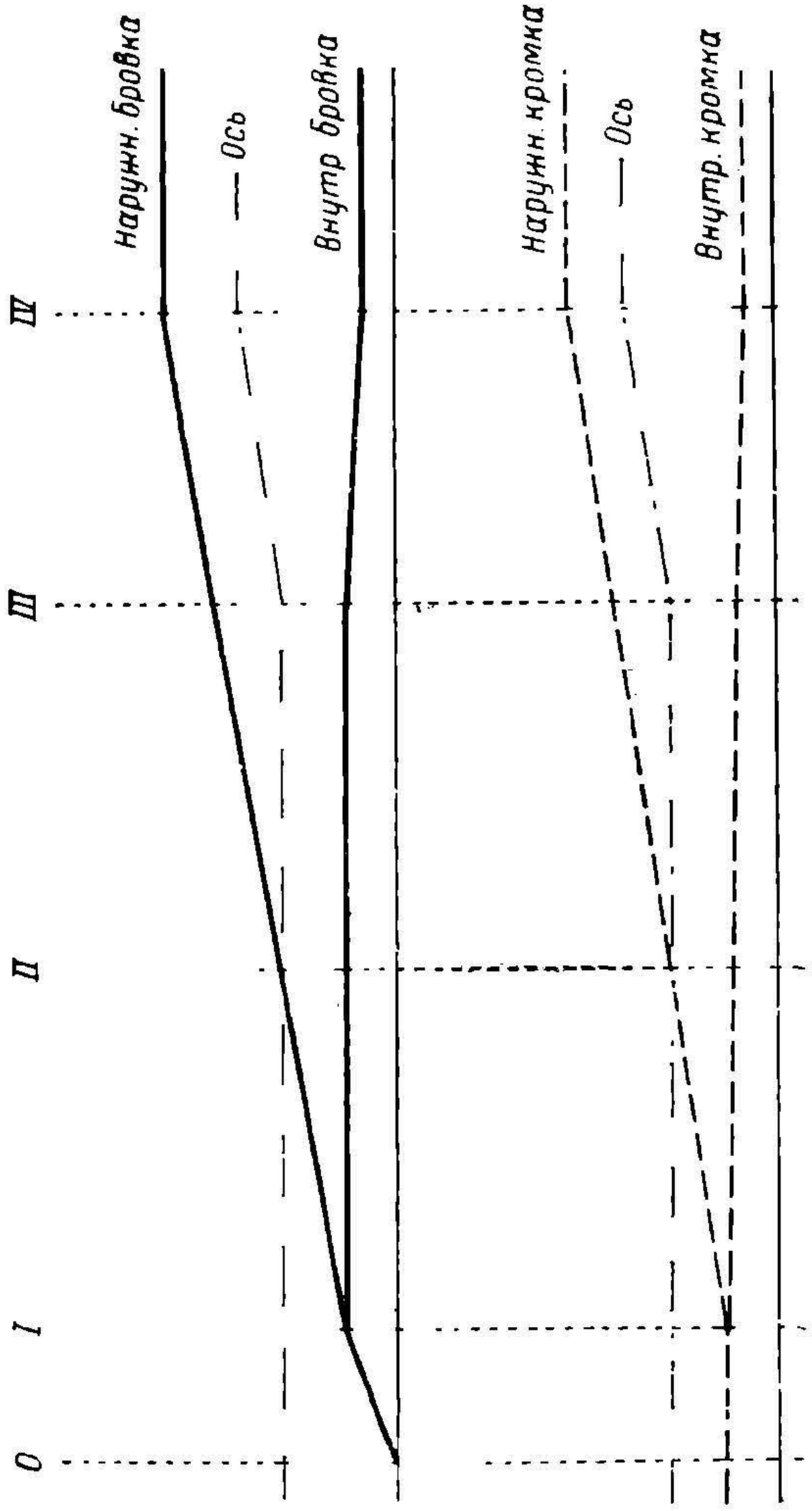
Рис. 158. Разбивка

Последовательное расположение поперечных профилей на длине отгона уклоне виража больше нормаль

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Отметка наружной бровки $a_з$ больше отметки $b_п$ на величину [1] $\frac{ah_п}{b}$, где a — ширина обочины, $\frac{h_п}{b}$ — уклон проезжей части на рассматриваемом поперечнике.

Отметка внутренней бровки $e_п$ при отсутствии уширения земляного полотна меньше отметки $d_п$ на ту же величину $\frac{ah_п}{b}$.



отгона виража.

(способ I). Постепенное изменение наклона обочин и проезжей части при ного уклона проезжей части.

[1] По Т. У Гушосдора НКВД 1938 г. — на величину ai_0, где i_0 — уклон обочины, a — ширина обочины.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При наличии уширения земляного полотна на y отметка внутренней бровки получится меньше отметки d_n на $\frac{(a+y)\,h_n}{b}$.

Чем больше будет найдено поперечников, тем точнее будет произведена разбивка виража. Обычно бывает вполне достаточно

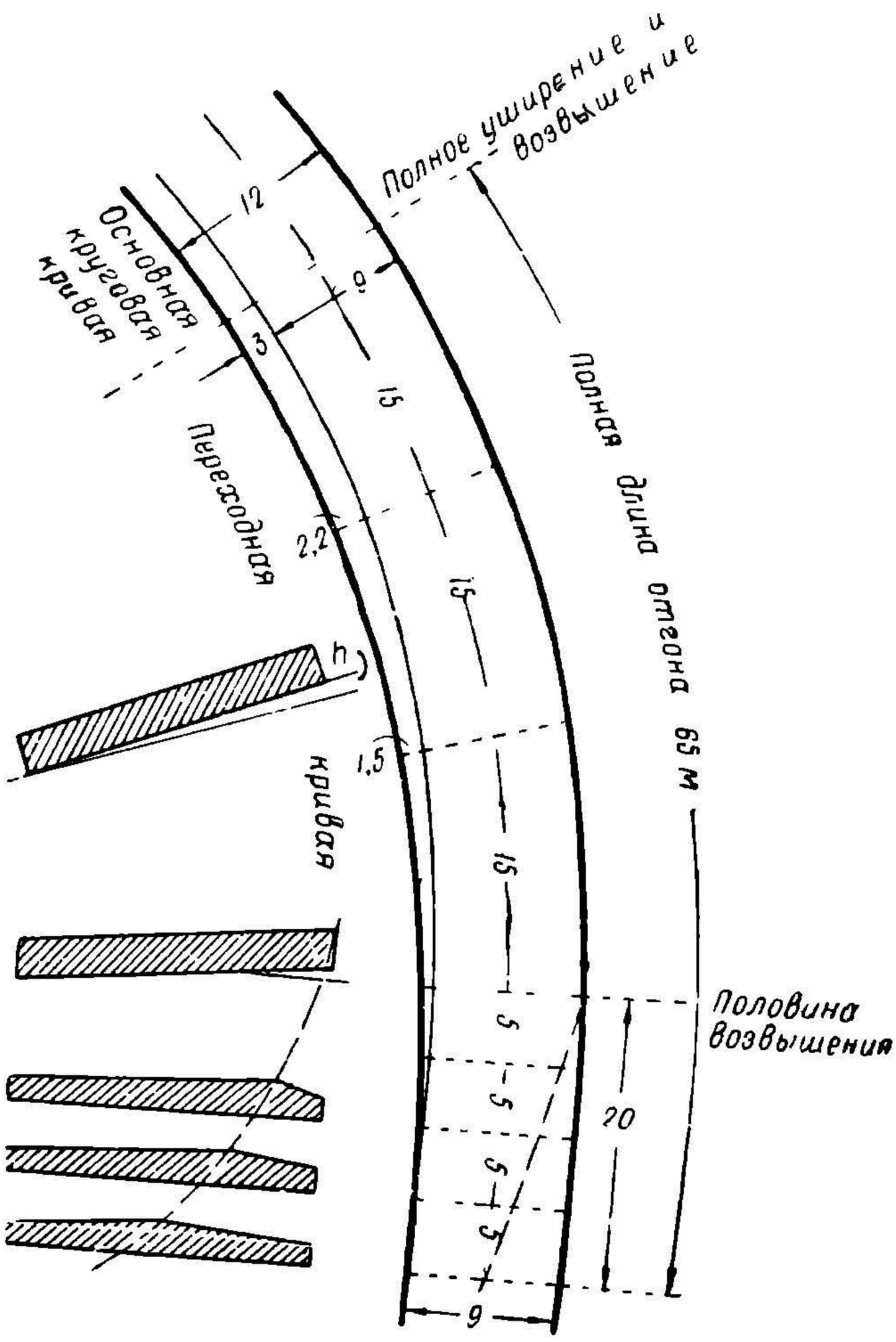


Рис. 159. Диагональный способ разбивки отгона виража (способ III).

Переход осуществлен смещением гребня (вершины) проезжей части; ширина односкатного профиля увеличивается за счет схода на-нет ширины ската.

пять поперечников: один — в начале отгона — двухскатный поперечный профиль с обочинами, которым придан уклон проезжей части; один односкатный профиль в конце отгона виража и три промежуточных.

НБ УДУИТ (ДІІТ)

За границей применяется иногда переход по способу III (рис. 159), при котором наружная часть двухскатного профиля сходит постепенно на-нет за счет уширения внутреннего ската. При этом автомобили, идущие по наружной стороне, должны пересекать гребень, хотя это пересечение и не вызывает заметного толчка, но может способствовать езде по неправильному (левому) пути и увеличить опасность столкновений.

70. Уширение проезжей части на закруглениях

На закруглениях малых радиусов ширина проезжей части дороги увеличивается во внутреннюю сторону кривой на некоторую величину, называемую уширением (см. рис. 146). Уширение необходимо для обеспечения свободного скрещения встречных автомобилей.

На схемах поворота автомобилей (см. рис. 80) было показано, что каждое колесо идет по своей траектории, причем заднее внутреннее колесо идет по дуге наименьшего радиуса, а переднее наружное по наибольшему радиусу. Эта разность радиусов еще больше при движении автомобиля или тягача с двухосным прицепом (рис. 160). Если нормальная ширина хода A, то ширина для прохода грузовика с прицепом будет:

$$B = A + a + b + c.$$

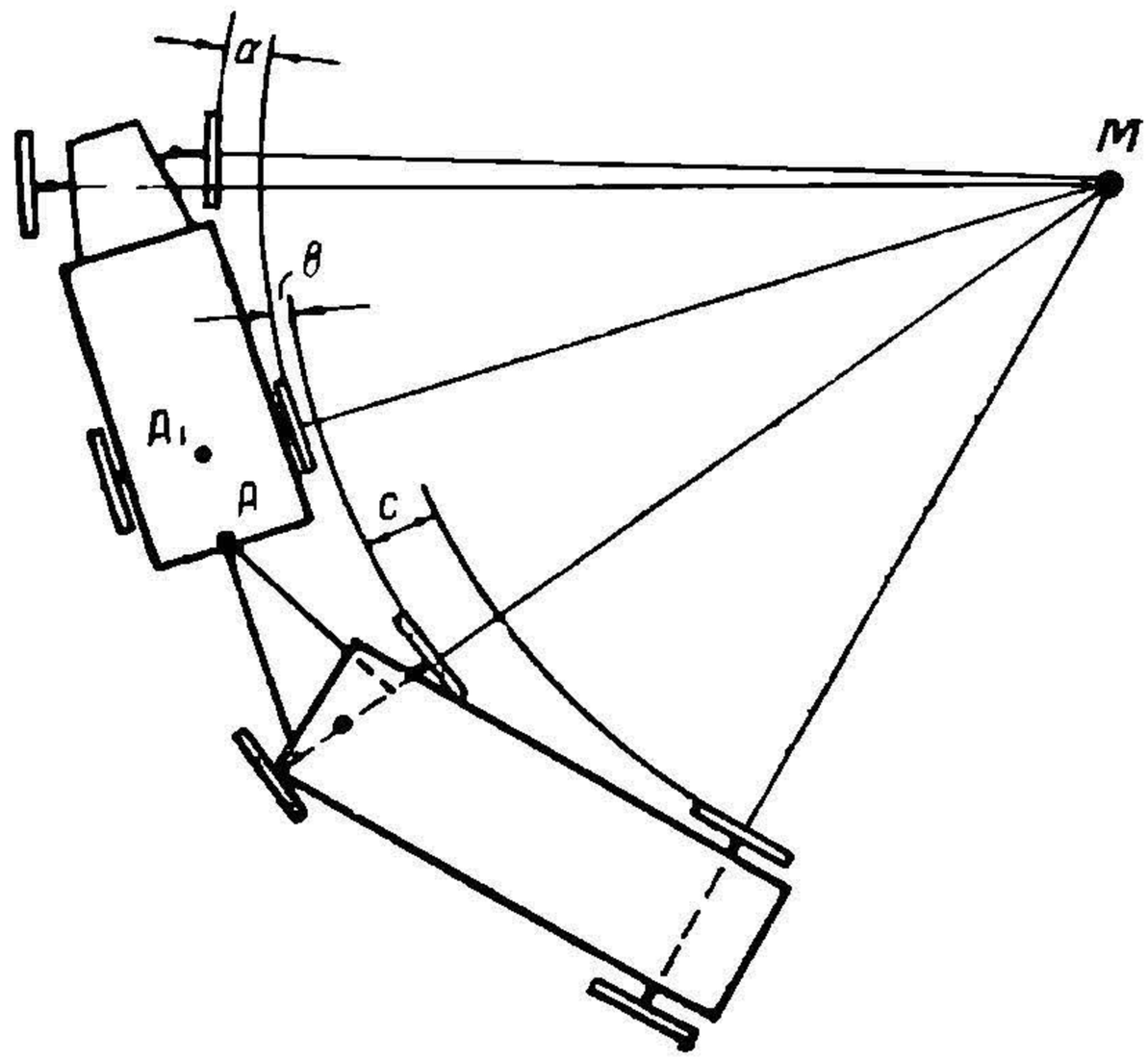


Рис. 160. Схема поворота тягача с двухосным прицепом.

Это обстоятельство затрудняет применение грузопоездов с несколькими прицепами. Для такого поезда оси прицепов должны быть соединены особыми шарнирными сочленениями, обеспечивающими движение колес по одному следу.

На рис. 161 представлена перевозка бревен на грузовиках с прицепами. Ширина проезжей части должна, очевидно, обеспечивать свободное и безопасное скрещение и обгон автомобиля. Если перевозка бревен по дороге носит постоянный характер, а радиусы закругления малы, то может потребоваться увеличение ширины проезжей части на кривых при двухпутной дороге до 10—12 м. С развитием внегородских автобусных сообщений увеличивается длина кузовов (шести- и восьмиколесные автобусы). При больших скоростях должно быть обеспечено вполне

НБ УДУИТ (ДИТ)

безопасное их скрещение, что также требует уширения проезжей части на закруглениях (рис. 162).

В каждом отдельном случае величина уширения, необходимая для вписывания заданного подвижного состава, может быть опре-

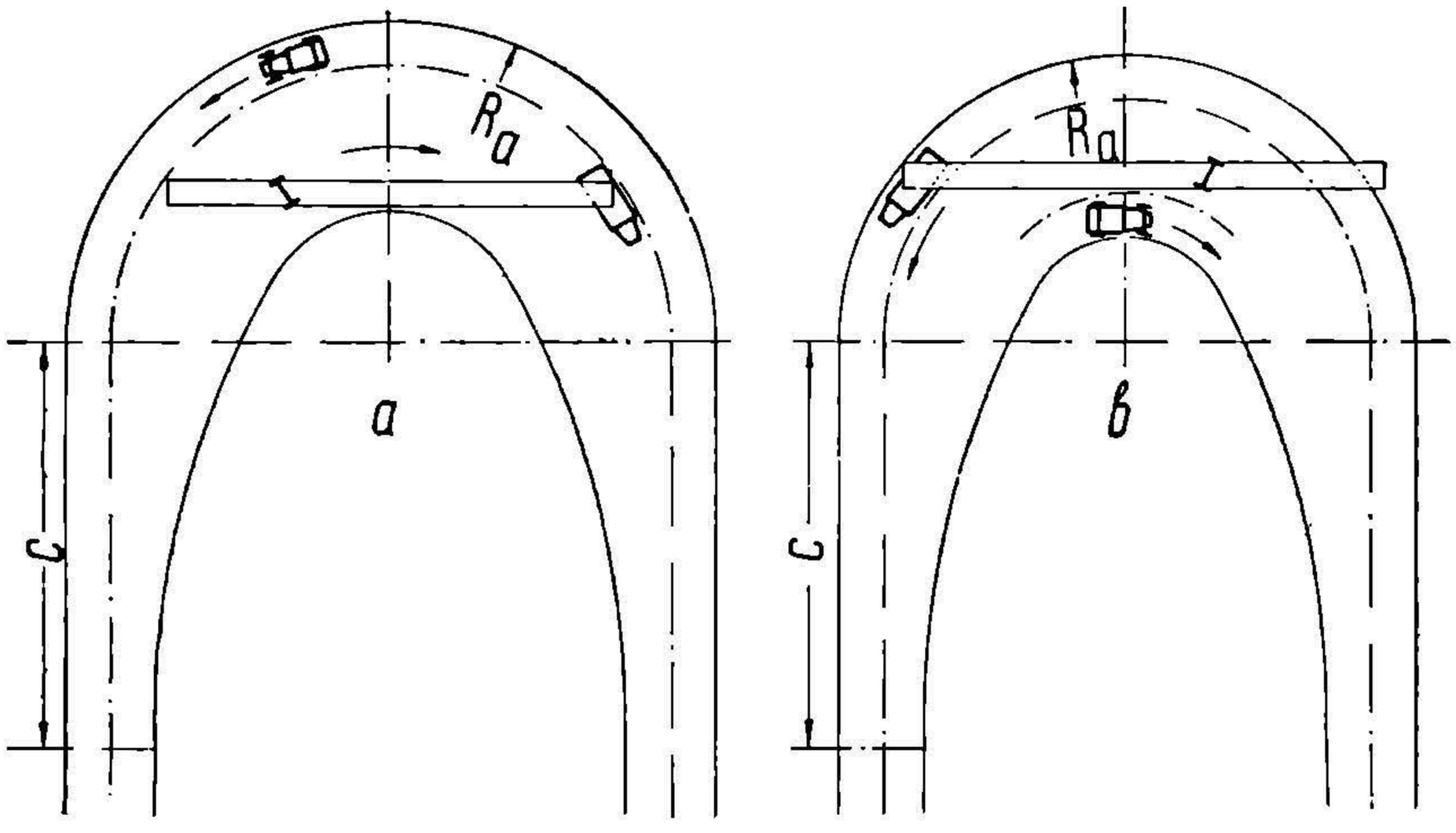


Рис. 161. Проход по закруглению грузовика и прицепа с длинным бревном
Наибольший радиус закругления $BO = r_6$, наименьший $AO = r_4$.

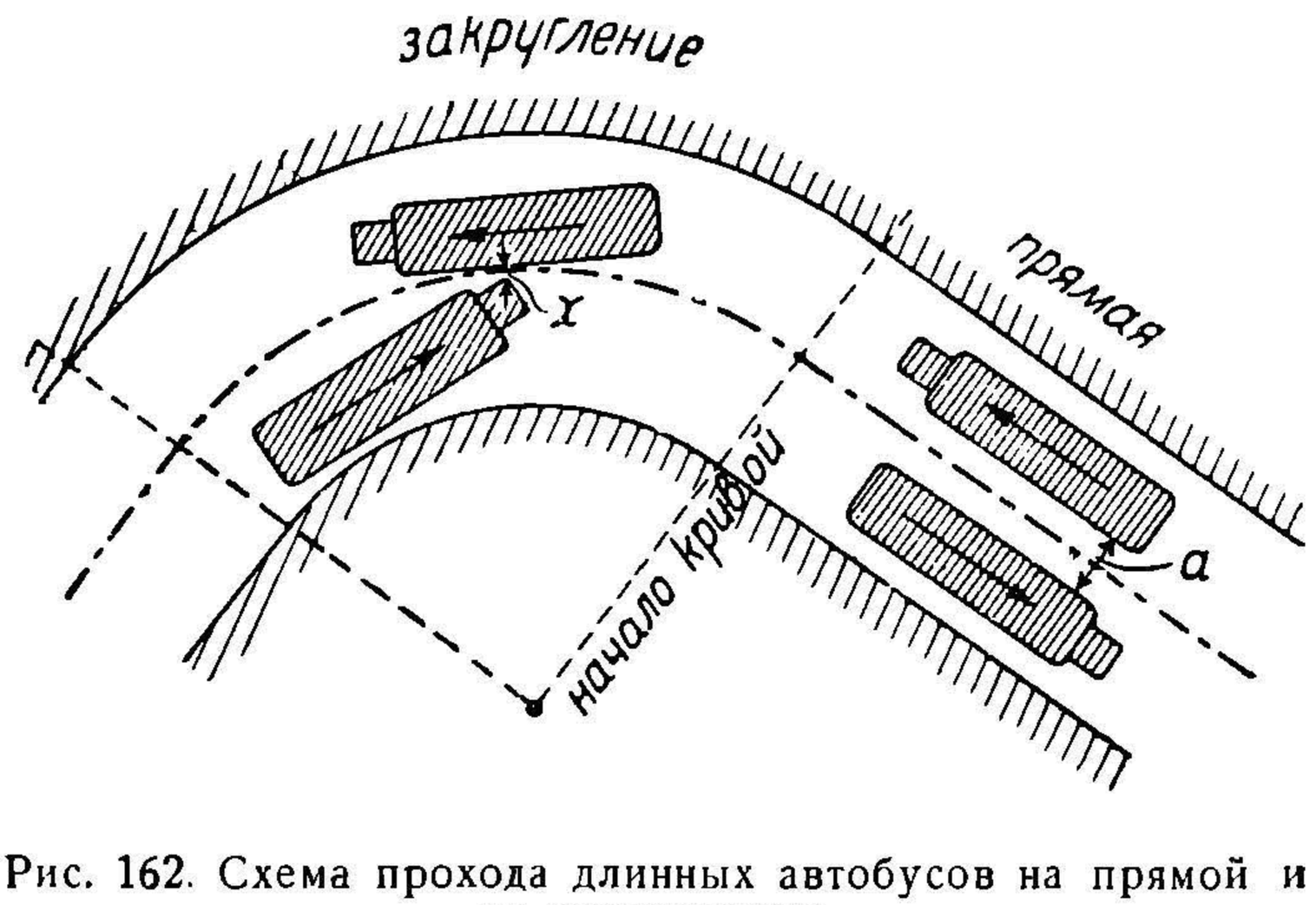


Рис. 162. Схема прохода длинных автобусов на прямой и на закруглении.
Зазор x на закруглении без уширения меньше нормального зазора a на прямой.

делена расчетом или графическим построением. Приближенно величину уширения x на двухпутной дороге для автомобиля с базой большой длины L можно определить по схеме рис. 163, рассматривая базу автомобиля как перпендикуляр к диаметру $2R$.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Для одной полосы

$$x = \frac{L^2}{2R}.$$

Для дороги с двумя полосами

$$y = 2x = \frac{L^2}{R}.$$

При базе автомобиля $L = 6$ м и радиусе $R = 100$ м, получим $y = 0{,}36$ м.

Эта формула, так же как и выведенная при более детальном рассмотрении схемы движения формула инж. Д. П. Великанова,

$$y = \sqrt{\left(R + \frac{b}{2}\right)^2 + L^2} - \left(\frac{b}{2} + \sqrt{R^2 - L^2}\right)$$

(где $\frac{b}{2}$ — половина ширины проезжей части) учитывает лишь необходимость уширения проезжей части из-за вписывания в кривую геометрических элементов расчетных габаритов автомобилей. Поэтому по этим формулам величину уширения можно подсчитывать лишь для дорог с небольшой скоростью движения. При больших скоростях движения условия вписывания автомобиля зависят не только от размеров его (базы, ширины колесного хода), но еще в большей степени от соответствующего положения колес. При значительных скоростях небольшое отклонение колес может вынести автомобиль на чужую полосу движения или даже вообще за пределы проезжей части. Поэтому при назначении уширения для обеспечения безопасного движения на кривых необходимо брать некоторый запас, учитывая скорость движения, а также наличие или отсутствие переходных кривых. В США величину уширения определяют по формуле:

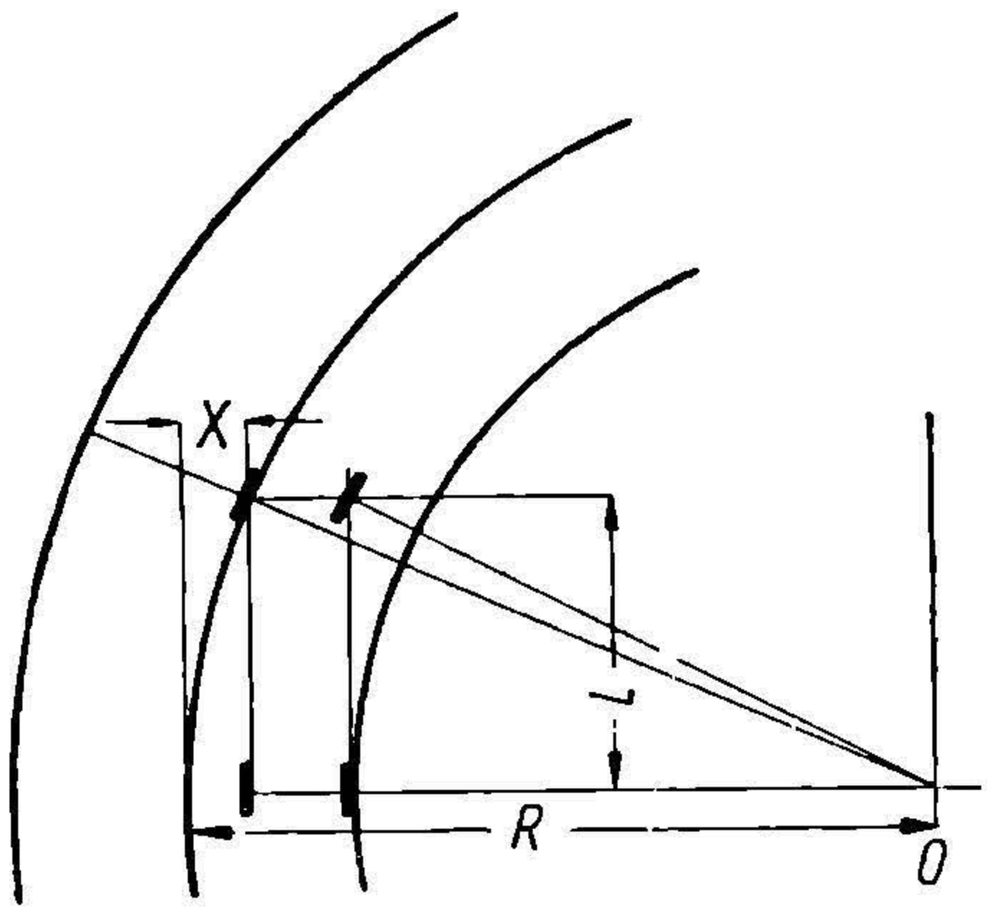


Рис. 163. Простейшая схема прохода автомобиля по кривой.

Для прохода автомобиля необходимо уширение размером x на каждой полосе.

$$y = \frac{3{,}6}{\sqrt[3]{R}},$$

во Франции по формуле

$$y = \frac{12}{\sqrt{R}}$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Эти величины выработались на практике, с учетом безопасности при действительных траекториях прохода автомобилей по закруглению, не всегда совпадающих с дугами круга.

По Т. У. 1938 г. уширения делаются на кривых с радиусом 300 и менее м. Величины уширения приведены в табл. 27.

Таблица 27

Радиус в м	35	50	70	100	150	200	300
Уширение в м							
На 2 полосы движения	1,8	1,5	1,3	1,0	0,7	0,5	0,3
На 4 полосы движения	3,5	3,0	2,5	2,0	1,4	1,0	0,5

Уширение проезжей части производится целиком за счет внутренней обочины (земляное полотно не уширяется), если остающаяся часть обочины получается не менее 1 м в равнинной и пересеченной местности, и не менее 0,5 м в горной местности. Если же после уширения проезжей части обочины получаются меньше указанных размеров, производится уширение и земляного полотна.

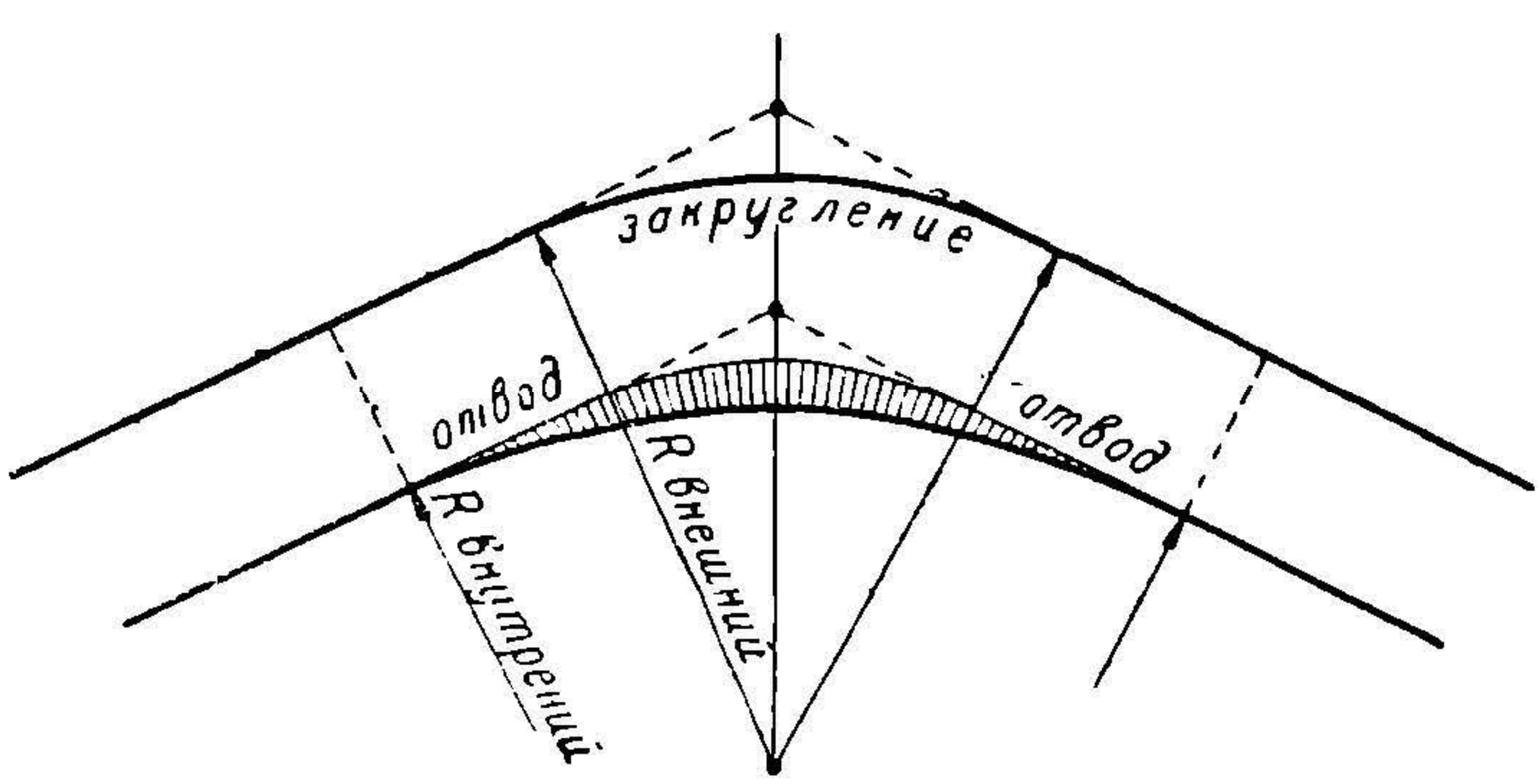


Рис. 164. Отвод уширения по дуге круга большого радиуса.

Уширение разгоняется постепенно на примыкающих к закруглению прямых или переходных кривых в пределах так называемой длины отвода уширения, обычно совпадающих с длиной отгона виража.

Очертание постепенного увеличения уширения на длине отгона простейшим образом может быть разбито по прямой (см. рис. 146). Однако при этом внутренняя кромка проезжей части будет иметь два угла в начале и конце отгона. Плавное уширение может быть сделано по дуге круга большого радиуса, причем (рис. 164) средина кривой должна соответствовать полному уширению, а тангенсы совпадать с концами отгонов. При этом,

НБ УДИТ (ДИТ)

однако, в начале кривой величина уширения будет неполной. При полноте уширения в начале и в конце кривой придется в средней части уширение сделать больше нормы и длину отвода уширения в некоторых случаях сделать больше длины отгона возвышения.

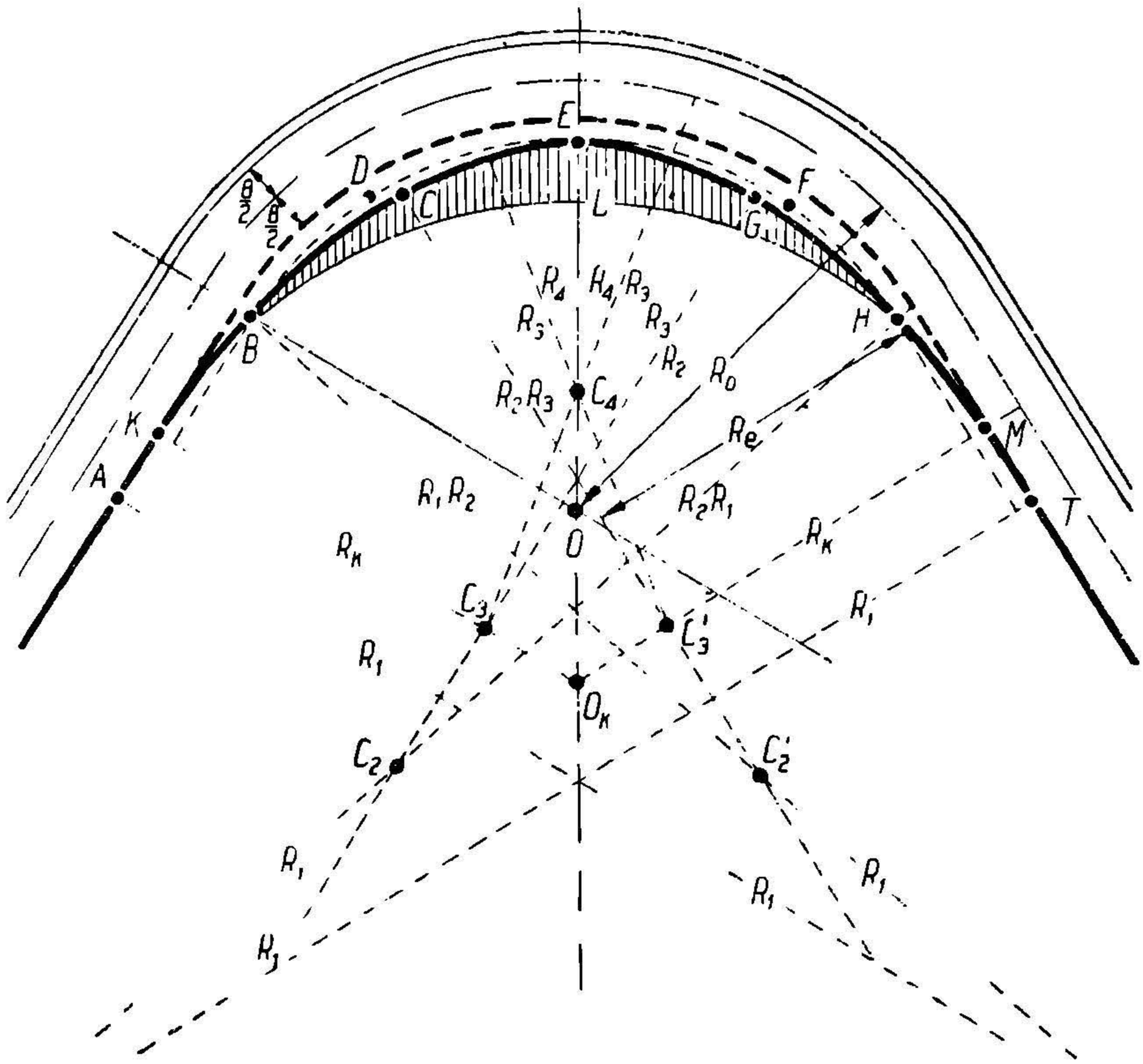


Рис. 165. Уширение проезжей части по коробовой кривой.

Всегда можно подобрать плавную многоцентровую кривую (коробовую), которая, сохраняя плавность очертания границы уширения проезжей части, в то же время не давала бы значительного увеличения поверхности проезжей части. На рисунке видно, что введением коробовой кривой *ABCEHT*, вместо круговой кривой *KLM*, можно сэкономить заштрихованные площади *BCEGHLB*. Можно так подобрать центры и радиусы коробовой кривой, что излишек площади (против минимально необходимой площади уширения) *BCED* и *EHFE* может быть совсем незначителен.

Кривая *BDEFH* — дуга круга радиуса $R_e = R_0 - \left(\frac{b}{2} + e\right)$, где $\frac{b}{2}$ — половина ширины проезжей части, e — уширение проезжей части.

Кривая *ABCEGHT* — коробовая кривая, описанная последовательно убывающими радиусами R_1, R_2, R_3, R_4, кривая *KLM* — дуга круга с радиусом $R_k > R_e$.

Избежать значительных излишков ширины проезжей части и в то же время достигнуть плавного перехода можно посредством разбивки отвода уширения по коробовой кривой (рис. 165).

НБ УДУНТ (ДИТ)

71. Переходные кривые

При переходе автомобиля с прямого участка на кривую сравнительно малого радиуса условия движения ухудшаются. Одной из мер повышения качества дорог, именно облегчения и улучшения движения по закруглениям, может быть введение переходных кривых. Переходными кривыми можно достичь постепенности поворота автомобиля и колес вокруг вертикальной оси на требуемый угол γ (см. рис. 80 и 83) и, кроме того, постепенно перейти к наибольшему значению центробежного ускорения $\frac{v^2}{R}$ на кривой радиуса R. Угол γ вращения передних колес вокруг вертикальной оси тем больше, чем меньше радиус и чем больше база автомобиля. С достаточной для практических целей точностью можно считать, что $\gamma = \frac{l}{\pi R} \frac{180}{}$, где l — база автомобиля; R — радиус кривой.

Поворот на этот угол осуществляется водителем посредством вращения руля не мгновенно, а постепенно — угол поворота возрастает от 0 до γ, а радиус кривизны траектории движения машины убывает от бесконечности до R (рис. 83). Для правильного положения траектории на ширине проезжей части (рис. 84) необходимо, чтобы очертание начала дорожного закругления соответствовало постепенности поворота штурвала руля. Исходя из этого условия, можно получить уравнение кривой для начала поворота.

В самом деле, движение автомобиля по закруглению можно разложить на поступательное со скоростью V км/час $= \frac{dS}{dt}$ и вращательное с угловой скоростью $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$, где $d\alpha$ — центральный угол дуги длиной dS.

Если предположить, что скорость V постоянна, а угловая скорость ω в начале закругления возрастает постепенно с течением времени по мере поворота руля, то

$$V = \frac{dS}{dt} = \text{const} = \frac{S}{t};$$

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = bt,$$

где b — есть величина $\frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\alpha}{dt^2}$.

Если разделить первое уравнение на второе и принять во внимание, что радиус кривизны $\rho = 57{,}3 \frac{dS}{d\alpha}$, то получим

$$\rho = 57{,}3 \frac{dS}{d\alpha} = \frac{57{,}3S}{bt^2} = \frac{57{,}3V^2}{bS \cdot 3{,}6^2} = 4{,}4 \frac{V^2}{bS}.$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

При постоянной скорости поступательного движения и заданной постоянной величине углового ускорения b получаем

$$\rho = \frac{C}{S},$$

где C — есть величина постоянная — параметр кривой. Мы получили общий вид уравнения переходной кривой (спирали, рис. 166), радиус кривизны которой убывает обратно пропорционально длине кривой, считая эту длину от начала закругления.

На автомобильных дорогах переходные кривые применяются преимущественно следующих четырех видов:

1. Радиоида с уравнением $\rho = \frac{C}{S}$, где S — длина дуги.

2. Кубическая парабола $\rho = \frac{C}{x}$, где x — длина абсциссы.

3. Лемниската Бернулли с уравнением $\rho = \frac{C}{a}$, где a — длина хорды.

4. Коробовая спираль $R_n = \frac{R_1}{n}$, где R_1 — радиус кривизны на первом звене, R_n — радиус на n-м звене дуги.

72. Радиоида

Из всех переходных кривых радиоида (рис. 166) в точности удовлетворяет основному уравнению спирали

$$\rho = \frac{dS}{d\alpha} = \frac{C}{S},$$

где ρ — переменный радиус кривизны; S — полная длина дуги, считая от начальной точки; α — величина угла поворота каса-

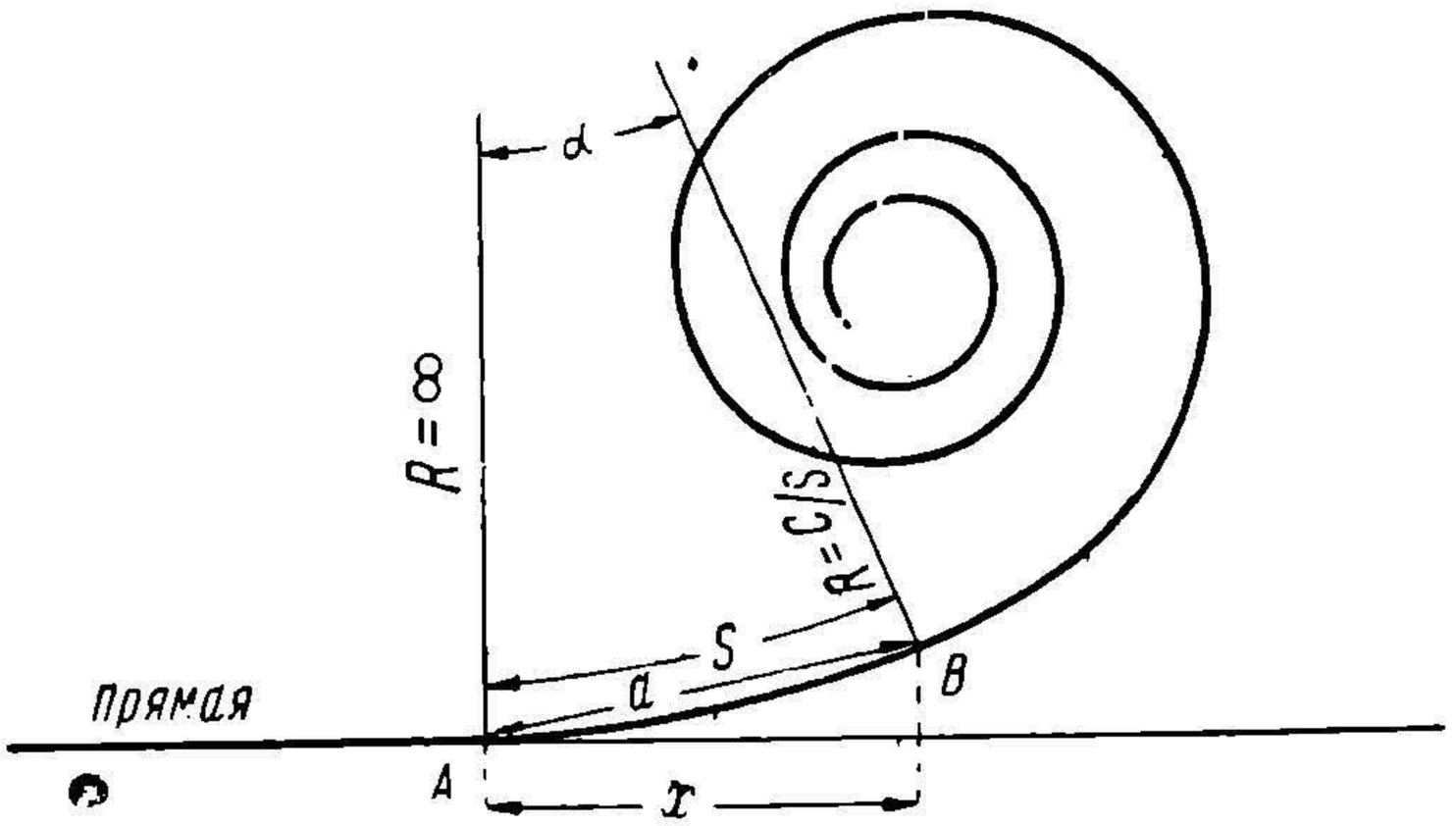


Рис. 166. Спираль. Радиус кривизны убывает обратно пропорционально длине дуги.

На схеме показаны близкие между собой величины: *1* — длина дуги S (знаменатель уравнения радиоиды); *2* — хорды a (знаменатель уравнения лемнискаты); *3* — абсцисса x (знаменатель уравнения кубической параболы).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

тельной относительно прямой (величина центрального угла); C — постоянная, называемая параметром кривой.

Параметр C находится из условия, что при длине кривой S, равной длине L, обеспечивающей спокойный переход от прямого участка к кривой, радиус кривизны равен радиусу основной кривой, т. е. $\rho = R$, откуда $C = RL$. Для разбивки этой кривой обычно пользуются способом ординат от тангенса; координаты точек кривой находятся по формулам:

$$x = S - \frac{S^5}{40C^2} + \frac{S^9}{3456C^4},$$

$$y = \frac{S^3}{6C} - \frac{S^7}{336C^3} + \frac{S^{11}}{42240C^7},$$

где S — длина дуги, для конца которой определяются координаты; C — параметр кривой, равный RL.

73. Коробовая спираль

Радиоида с достаточной для практики точностью может быть заменена коробовой спиралью, состоящей из нескольких сопряженных дуг круга равной длины (рис. 167), с последовательно убывающими радиусами. Коробовая спираль, широко применяемая в США, отличается от радиоиды только тем, что радиусы убывают не непрерывно, а ступенями, оставаясь постоянными на протяжении некоторой элементарной дуги ΔS, как можно видеть из табл. 28.

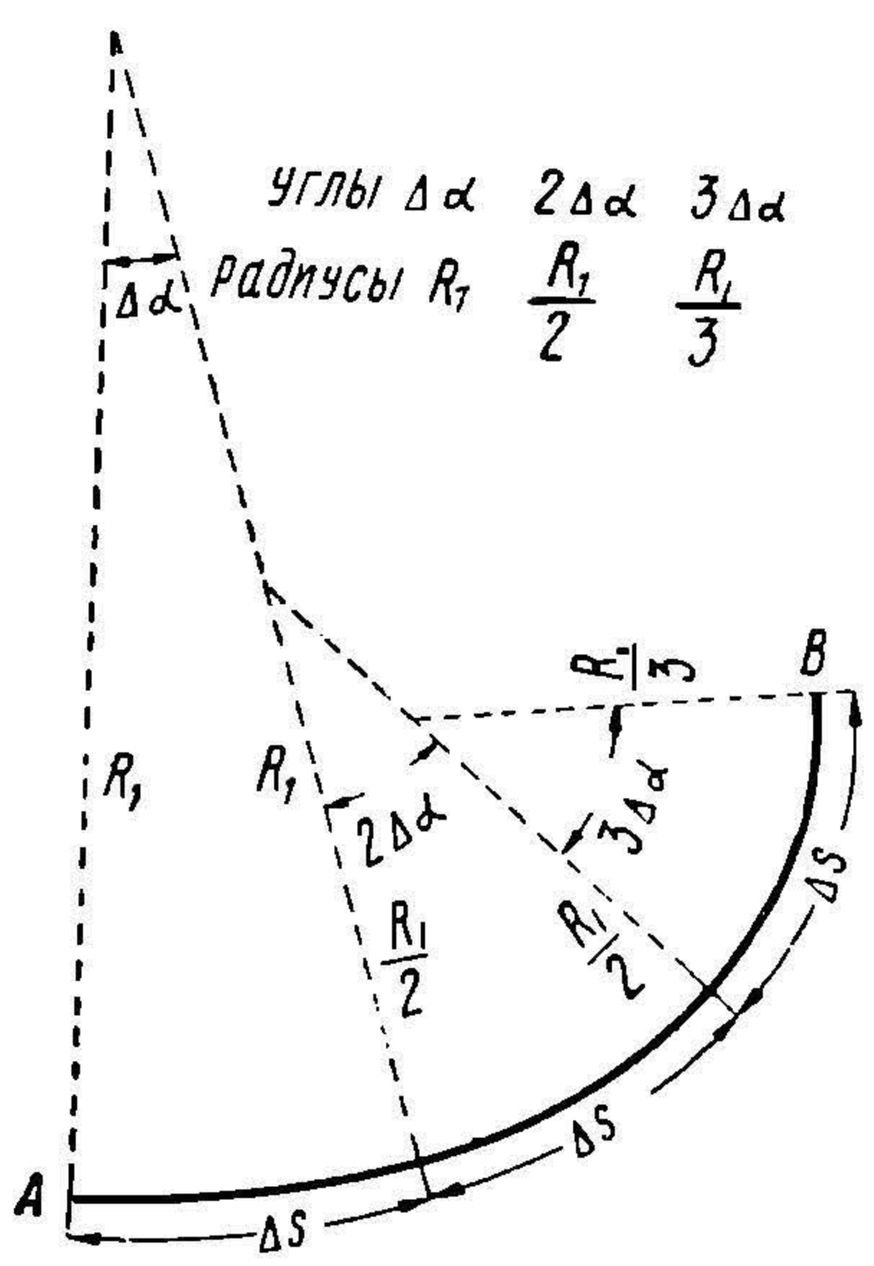


Рис. 167. Переходная коробовая спиральная кривая из трех равных элементов Δs дуг круга с последовательно убывающими радиусами R_1, $\frac{R_1}{2}$, $\frac{R_1}{3}$ (см. табл. 28).

Постепенность нарастания центрального угла $n\Delta\alpha$ и вместе с тем возрастание кривизны для каждого элемента $\frac{n\Delta\alpha}{\Delta S}$ соответствует постепенному, хотя и не идеально плавному повороту штурвала руля и передних колес автомобиля.

В зависимости от числа элементов в переходной кривой, вся кривая поворота обычно носит название: при $n = 1$—трехзвенной, при $n = 2$—пятизвенной, при $n = 3$—семизвенной и т. д. Средняя часть кривой—дуга с конечным радиусом R, может быть самой разнообразной длины; размеры этой дуги зависят от длин переходных кривых и угла поворота трассы.

НБ УДИТ (ДІТ)

Таблица 28.

№ элемента	Длины элементарных дуг	Полная длина дуги от начала кривой	Величина центрального угла для каждого элемента	Полная величина угла, считая от начала кривой	Радиусы кривизны
1	ΔS	ΔS	$\Delta\alpha$	$\Delta\alpha$	R_1
2	ΔS	$2\Delta S$	$2\Delta\alpha$	$3\Delta\alpha$	$\frac{R_1}{2}$
3	ΔS	$3\Delta S$	$3\Delta\alpha$	$6\Delta\alpha$	$\frac{R_1}{3}$
4	ΔS	$4\Delta S$	$4\Delta\alpha$	$10\Delta\alpha$	$\frac{R_1}{4}$
n	ΔS	$n\Delta S$	$n\Delta\alpha$	$\frac{n\ (n+1)\ \Delta\alpha}{2}$	$\frac{R_1}{n}$

Подбор элементов коробовой спирали может быть сделан на основании условия:

$$n = \frac{L}{\Delta S};\ R_1 = (n+1)\ R,$$

где n — число элементов в переходной кривой; L — длина переходной кривой; ΔS — длина элементарной дуги; R_1 — первый радиус переходной кривой и R — радиус основной кривой.

Величины абсцисс $x_1\ x_2 \ldots\ x_n$ и ординат $y_1\ y_2 \ldots y_n$ могут быть определены по схеме рис. 168, вычисляя последовательно вертикальные и горизонтальные проекции радиусов $R_1, R_2 \ldots R_n$ с центральными углами $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n$

$$x_1 = R_1 \cdot \sin\alpha_1$$
$$x_2 = x_1 + R_2\ (\sin\alpha_2 - \sin\alpha_1)$$
$$x_3 = x_2 + R_3\ (\sin\alpha_3 - \sin\alpha_2)$$
$$\cdot\quad\cdot\quad\cdot\quad\cdot$$
$$x_n = x_{n-1} + R_n\ (\sin\alpha_n - \sin\alpha_{n-1});$$
$$y_1 = R_1\ (1 - \cos\alpha_1)$$
$$y_2 = y_1 + R_2\ (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$
$$y_3 = y_2 + R_3\ (\cos\alpha_2 - \cos\alpha_3)$$
$$\cdot\quad\cdot$$
$$y_n = y_{n-1} + R_n\ (\cos\alpha_{n-1} - \cos\alpha_n).$$

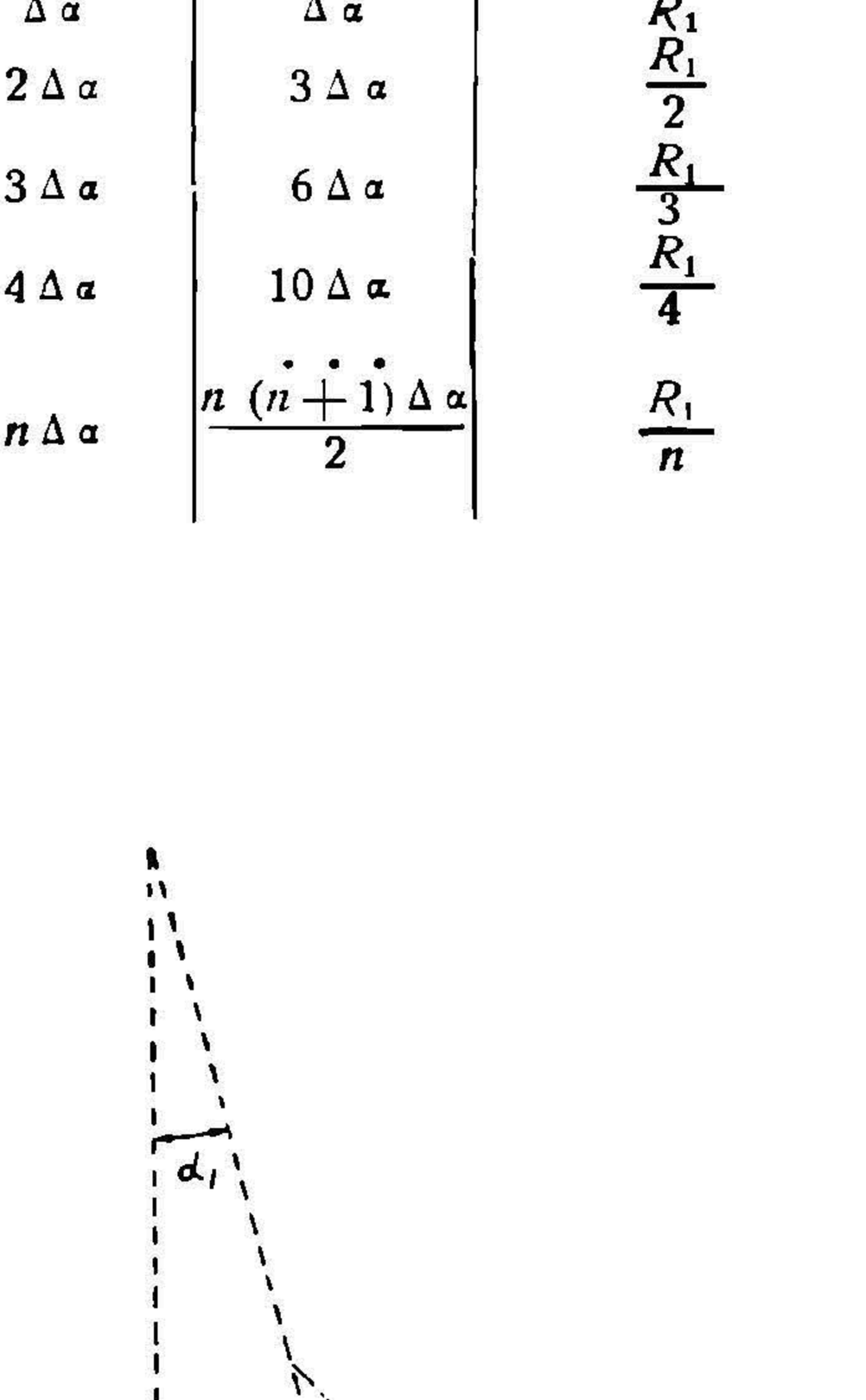


Рис. 168. Абсциссы x_1, x_2, x_3 и ординаты y_1, y_2, y_3 последовательных элементов коробовой кривой.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Эти простые формулы пригодны для всякой коробовой кривой. Для коробовой спирали имеем

$$\alpha_2 = 3\alpha_1;\ \alpha_3 = 6\alpha_1 \qquad \alpha_n = \frac{n\,(n+1)}{2}\cdot\alpha_1$$

$$R_2 = \frac{R_1}{2};\quad R_3 = \frac{R_1}{3} \qquad R_n = \frac{R_1}{n}$$

Откуда

$$x_1 = R_1 \sin\alpha_1 \qquad y_1 = R_1\,(1-\cos\alpha_1)$$

$$x_2 = x_1 + \frac{R_1}{2}(\sin 3\alpha_1 - \sin\alpha_1) \qquad y_2 = y_1 + \frac{R_1}{2}(\cos\alpha_1 - \cos 3\alpha_1)$$

$$x_3 = x_2 + \frac{R_1}{3}(\sin 6\alpha_1 - \sin 3\alpha_1) \qquad y_3 = y_2 + \frac{R_1}{3}(\cos 3\alpha_1 - \cos 6\alpha_1).$$

Таким образом, все вычисление разбивки основных точек, а также координат для промежуточных точек коробовых спиралей, может быть сделано по простым формулам с применением тригонометрических функций.

74. Кубическая парабола

Кубическая парабола (рис. 169) приближенно удовлетворяет основному уравнению радиоидальной спирали:

$$\rho = \frac{C}{S}.$$

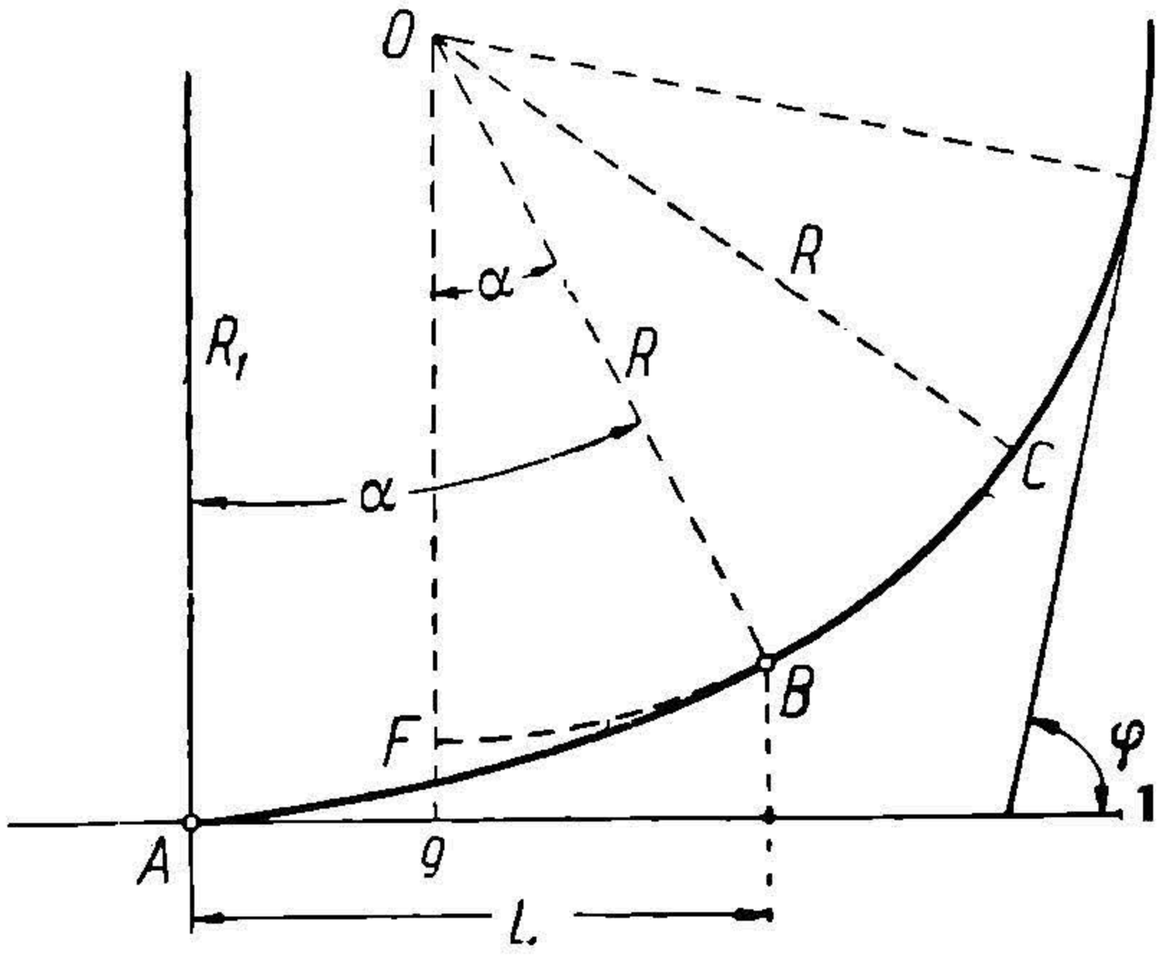


Рис. 169. Кубическая парабола.

Длина переходной кривой применяется равной длине ее абсциссы L. Введение переходной кривой сокращает протяжение основной круговой кривой радиуса R до величины BC, т. е. уменьшает на двойную величину дуги FB.

Именно точное выражение радиуса кривизны

$$\rho = \frac{\left[1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}}$$

можно заменить приближенным $\rho = \frac{1}{\frac{d^2y}{dx^2}}$, учитывая, что центральные углы переходной кривой не превышают $\alpha = 10 - 15^\circ$. При таких величинах угла $\operatorname{tg}\alpha \leqslant 0{,}2$ и величина $\operatorname{tg}^2\alpha = \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 \leq 0{,}04$ мала сравнительно с единицей.

Длина дуги переходной кривой S может быть, по тем же соображениям, приближенно заменена длиной абсциссы x.

В таком случае уравнение кривой принимает вид:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{C}$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

или

$$\frac{dy}{dx}=\frac{x^2}{2C}+C_1,$$

но так как при $x=0$, $\frac{dy}{dx}=0$, то и $C_1=0$; $y=\frac{x^3}{6C}+C_2$.

Кроме того, при $x=0$, $y=0$, поэтому и $C_2=0$ и окончательно

$$y=\frac{x^3}{6C}.$$

Это и есть уравнение кубической параболы.

Так как для всякой непрерывной переходной кривой при $S=L$, $\rho=R$ и, следовательно, параметр $C=RL$ (при числе звеньев $n=\infty$), то и в этом случае уравнение кубической параболы принимает вид:

$$y=\frac{x^3}{6RL}.$$

Заметим, что уравнение кубической параболы получается как приближенный вид уравнения радиоиды, если в выражении для координат ограничиваться только первыми членами (стр. 200):

$$x=S;\quad y=\frac{S^3}{6C}=\frac{x^3}{6C}.$$

Отсюда и виден размер расхождения ординат радиоиды и кубической параболы. Это расхождение меньше $\frac{S^7}{336C^3}$ или меньше $\left(\frac{L}{7R}\right)^3 L$, что представляет малую величину, например, при $L=R=30$ м, разница составляет $\frac{L}{336}$ около 10 см.

Между тем, преимуществом кубической параболы сравнительно с радиоидой и коробовой спиралью является то, что ее абсциссы и ординаты могут быть вычислены по простым алгебраическим формулам без таблиц.

75. Лемниската

Если в уравнении спирали $\rho=\frac{C}{S}$ заменить длину дуги S на хорду, или радиус вектор a (см. рис. 166), то получим уравнение $\rho=\frac{C}{a}$.

Эта кривая называется лемнискатой Бернулли (рис. 170); по своим свойствам она занимает промежуточное положение между радиоидальной спиралью и кубической параболой. Лемниската применяется последнее время в качестве переходной кривой на дорогах Англии и Франции.

НТБ УДУНТ (ДИТ)

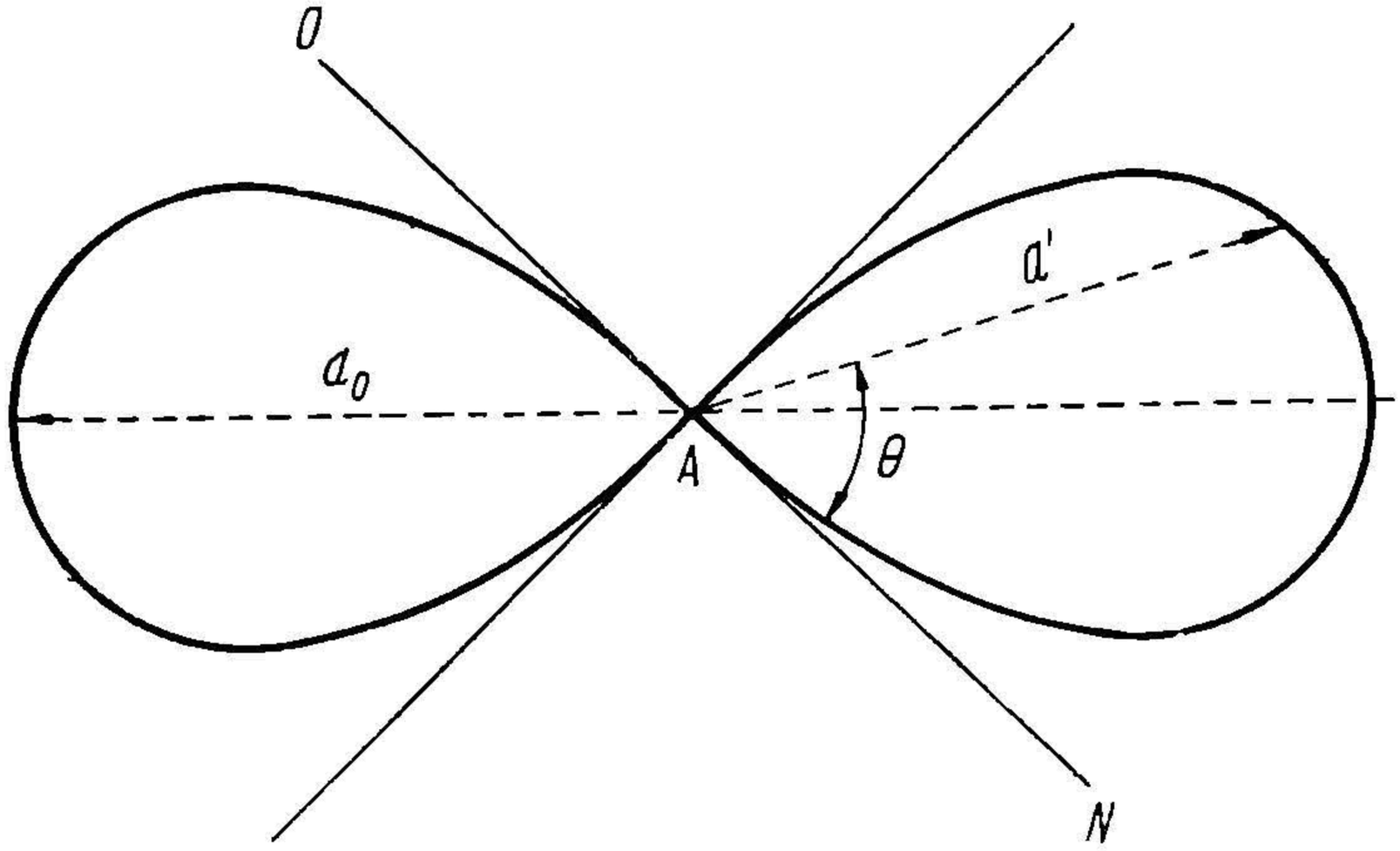


Рис. 170. Лемниската.

76. Сравнение переходных кривых

Автомобиль при движении по дороге не имеет ограничений, которыми являются рельсы на железных дорогах и поэтому движение его осуществляется не всегда строго по оси соответствующей полосы проезжей части. Поэтому небольшие отклонения от идеального очертания переходной кривой не имеют существенного значения. Все указанные выше типы переходных кривых при равных длинах переходной кривой и одинаковом радиусе основной кривой, употребительных на автомобильных дорогах, лишь незначительно отличаются по своим элементам одна от другой, например при длине переходной кривой $L = 100$ м и радиусе $R = 400$ м получаются следующие абсциссы и ординаты точки конца переходной кривой:

Для радиоидальной спирали	$x_k = 99{,}84$	$y_k = 4{,}17$
Для кубической параболы	$x_k = 100{,}00$	$y_k = 4{,}17$
Для коробовой 11-звенной кривой	$x_k = 99{,}84$	$y_k = 4{,}57$
Для лемнискаты	$x_k = 99{,}83$	$y_k = 4{,}16$

Вследствие этого, все эти переходные кривые могут применяться на дорогах всех классов.

Разница между типами переходных кривых заключается только в удобстве разбивки. Радиоида требует специальных таблиц или номограмм, коробовая кривая только таблиц натуральных синусов, кубическая парабола может быть разбита без таблиц, на основе вычислений по простым формулам. Лемнискату удобно разбивать по хордам при помощи теодолита.

В конечном итоге можно сказать, что при нормально производимых изысканиях и проектировании трассы нет оснований отказываться от разбивки переходных кривых по радиоиде, так как она наиболее полно удовлетворяет условиям движения, а при

НБ УДУИТ (ДИТ)

наличии таблиц или номограмм никаких трудностей в ее разбивке встретиться не может.

При необходимости спешной разбивки переходной кривой и при отсутствии таблиц легче всего произвести разбивку переходной кривой по кубической параболе, причем результаты будут весьма близки к радиоиде и лишь небольшая неточность получится в измерении длины трассы (по кривым), так как при разбивке по кубической параболе принимается длина кривой, равной ее проекции на касательную ($L = x$).

77. Длина переходной кривой

Исходя из условий обеспечения спокойного движения по кривой, можно получить величину радиуса кривой, при котором не требуется устройства переходной кривой. Удобное и спокойное движение для пассажиров получается при величине центробежного ускорения около 0,5 — 1 м/сек.², т. е. когда величина $a = \frac{v^2}{\rho} = 0{,}5—1{,}0$ м/сек². Отсюда величина радиуса, при котором еще нет необходимости в переходной кривой $R_0 = \frac{v^2}{a}$ или, подставляя численные значения ($a = 0{,}5 — 1{,}0$ м/сек²), получаем $R_0 = 2 — 1\ v^2$, или, если скорость V задана в км/час, то $R_0 = 0{,}075—0{,}15\ V^2$.

Например для дорог I класса величина этого радиуса (при нормальном ускорении 0,5 м/сек.²) равна $0{,}15 \cdot 120^2 \simeq 2200$ м.

Длина переходной кривой может быть определена из двух условий:

1. Быстроты поворота штурвала руля и соответственно быстроты вращения направляющих (передних) колес автомобиля вокруг вертикальной оси. Эта быстрота соответствует угловому ускорению автомобиля

$$b = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\alpha}{dt^2},$$

где ω — угловая скорость автомобиля; α — угол поворота автомобиля (или траектория пути). Как было указано, длина S переходной кривой может быть определена из условия:

$$S = 4{,}4\ \frac{V^2}{bR},$$

где V — скорость автомобиля в км/час; R — радиус основной круговой кривой. Для быстроты вращения штурвала руля b цифровых данных в практике не имеется.

2. Спокойствия езды, которое можно характеризовать постепенностью возрастания центробежного ускорения:

$$\frac{\Delta\left(\frac{v^2}{\rho}\right)}{\Delta t} = \frac{\Delta a}{\Delta t} = C.$$

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Повидимому для плавного движения можно принять $\frac{\Delta a}{\Delta t} = C = 0{,}5$—$1{,}0$ м/сек.^{2} в 1 сек. или 0,5—1 м/сек.^{3}.

При равномерном возрастании ускорения время, необходимое для достижения ускорения $\frac{v^2}{\rho}$ будет

$$t = \frac{v^3}{R} \quad C \text{ сек.}$$

Так как $S = vt$, то длина переходной кривой

$$S = \frac{V^3}{(3{,}6)^3\, CR} = \frac{V^3}{47CR}.$$

Если возрастание ускорения $C = 0{,}5$ м/сек.^{3}, то длина переходной кривой

$$S = \frac{V^3}{23{,}5\ R}.$$

Например при $V = 120$ км/час, $R = 1000$ м, $S = \frac{1728}{23{,}5} = 73$ м.

Формулу можно несколько изменить, если ввести величину минимального радиуса R_0, при котором не требуется устройства переходной кривой. Как было указано, $R_0 = \frac{v^2}{a} = \frac{V^2}{13a}$.

Отсюда

$$S = \frac{V^3}{47CR} = \frac{Va}{3{,}6C} \quad \frac{R_0}{R}.$$

Если задаться величинами $a = 0{,}5$ м/сек.^{2}; $C = 0{,}5$ м/сек.^{3}, то длина переходной кривой [1]:

$$S = \frac{V}{3{,}6} \quad \frac{R_0}{R}.$$

Полученную по последней формуле длину переходной кривой следует сравнить с длиной отгона виража и окончательно принять большую из этих длин с тем, чтобы на одном и том же участке расположить переходную кривую, отгон виража и отвод уширения проезжей части.

78. Разбивка переходных кривых

В большинстве случаев наиболее удобным способом разбивки переходных кривых является способ разбивки ординатами от тангенса.

Для производства разбивки переходной кривой (рис. 171) необходимо знать:

1. Абсциссы и ординаты точек переходной кривой (либо полярные координаты этих точек).

[1] Формула предложена Б. Г. Корнеевым.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

2. Расстояние AC начала переходной кривой от вершины угла C, т. е. новый тангенс.

3. Расстояние CE от вершины угла C до середины E основной круговой кривой, т. е. новую биссектрису.

4. Новые координаты центра основной кривой x_0 и y_0.

Координаты точек переходной кривой (x_1, x_2, x_3 ., y_1, y_2, y_3) могут быть получены из общих свойств переходных кривых.

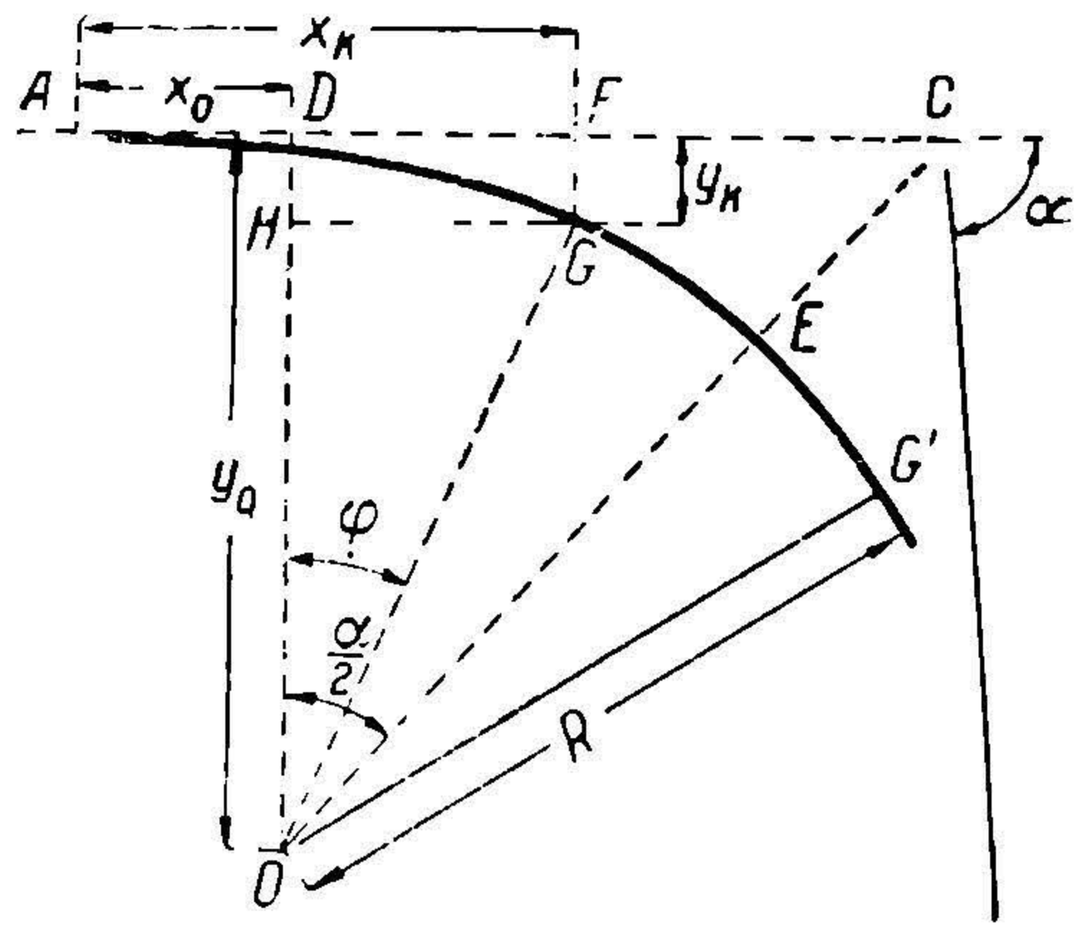


Рис. 171. Разбивка переходных кривых

Новый тангенс, т. е. тангенс с учетом вписывания переходной кривой

$$T_{нов} = AC = AD + DC = \\ = x_0 + y_0 \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}.$$

Новая биссектриса

$$Б_{нов} = CE = CO - OE = \\ = \frac{y_0}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R.$$

В обоих этих формулах α — угол поворота трассы.

Новые координаты центра могут быть получены из элементов переходной кривой; действительно

$$x_0 = AD = AF - DE = x_к - R \quad \sin \varphi$$
$$y_0 = OD = FG + OH = y_к + R \quad \cos \varphi,$$

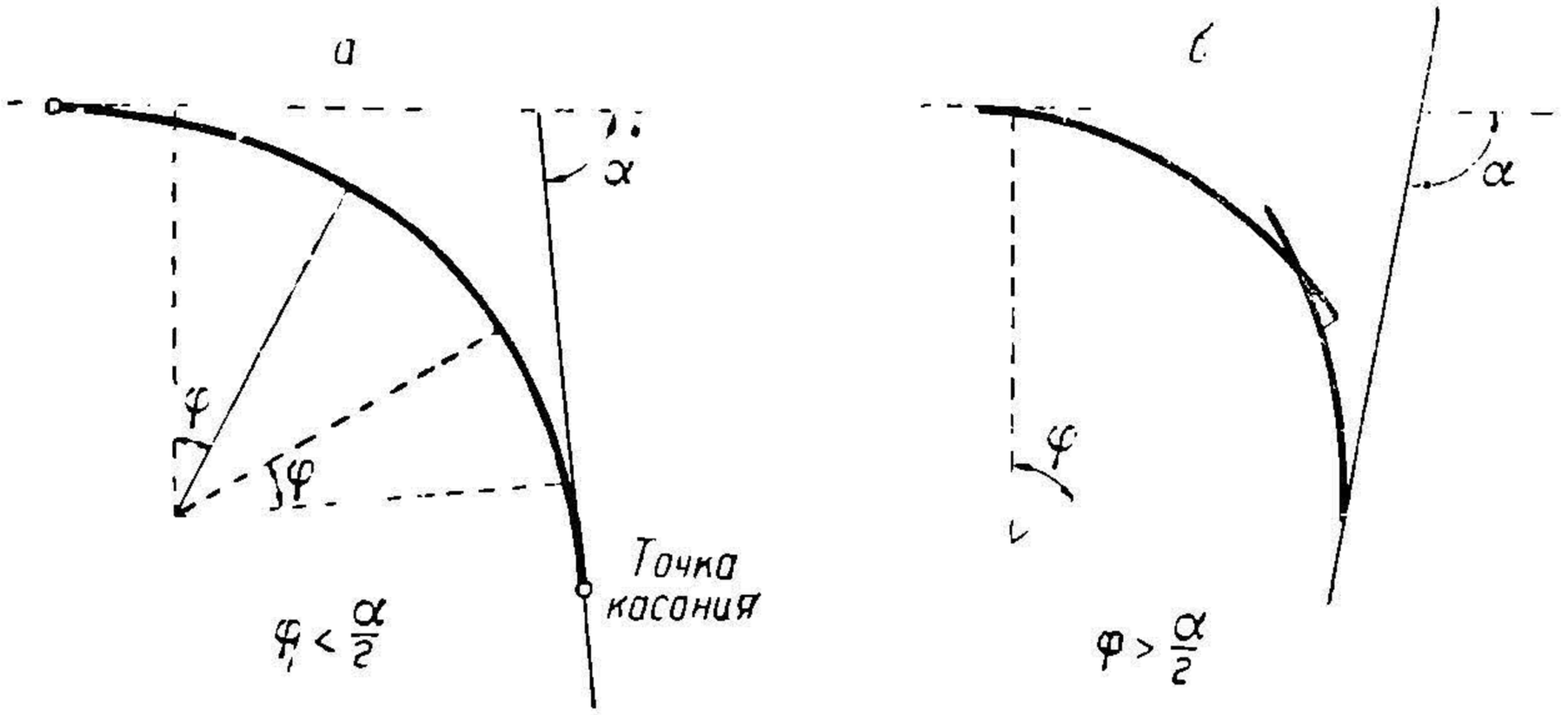


Рис. 172. Условия размещения переходных кривых: $\varphi < \frac{\alpha}{2}$.

где $x_к$ — абсцисса конечной точки переходной кривой; $y_к$ — ордината конечной точки переходной кривой; φ — угол между направлением радиуса в конечной точке переходной кривой и перпендикуляром из центра кривой на линию тангенсов.

НБ УДУНТ (ДИТ)

При этом переходные кривые могут быть вписаны, если $\varphi < \frac{\alpha}{2}$, в противном случае переходные кривые не смогут разместиться (рис. 172).

При описанной разбивке происходит смещение центра кривой на величину $y_0 - R$ (по перпендикуляру от тангенса)

$$y_0 - R = y_к + R\cos\varphi - R = y_к - R\,(1 - \cos\varphi).$$

Это смещение осложняет несколько разбивку и затрудняет трассирование линии, так как необходимо учитывать увеличение биссектрис.

Иногда можно оставить центр основной кривой без изменения за счет уменьшения радиуса на величину

$$y_к - R\,(1 - \cos\varphi).$$

Радиус при этом изменяется незначительно, вписывание же переходных кривых упрощается. Например, при радиоиде длиной $L = 105$ м и радиусе основной кривой 400 м, уменьшение радиуса будет равно: $4{,}58 - 400\,(1 - 0{,}9914) = 1{,}14$ м, т. е. новый радиус при несмещенном положении центра кривой будет равен ~ 399 м (вместо 400), что существенного значения для движения не имеет.

79. Односторонние и обратные кривые

Два смежных угла могут иметь одно и то же направление (например, оба—вправа или оба—влево) или разные направления (рис. 173). При вписывании закруглений в углы, направленные

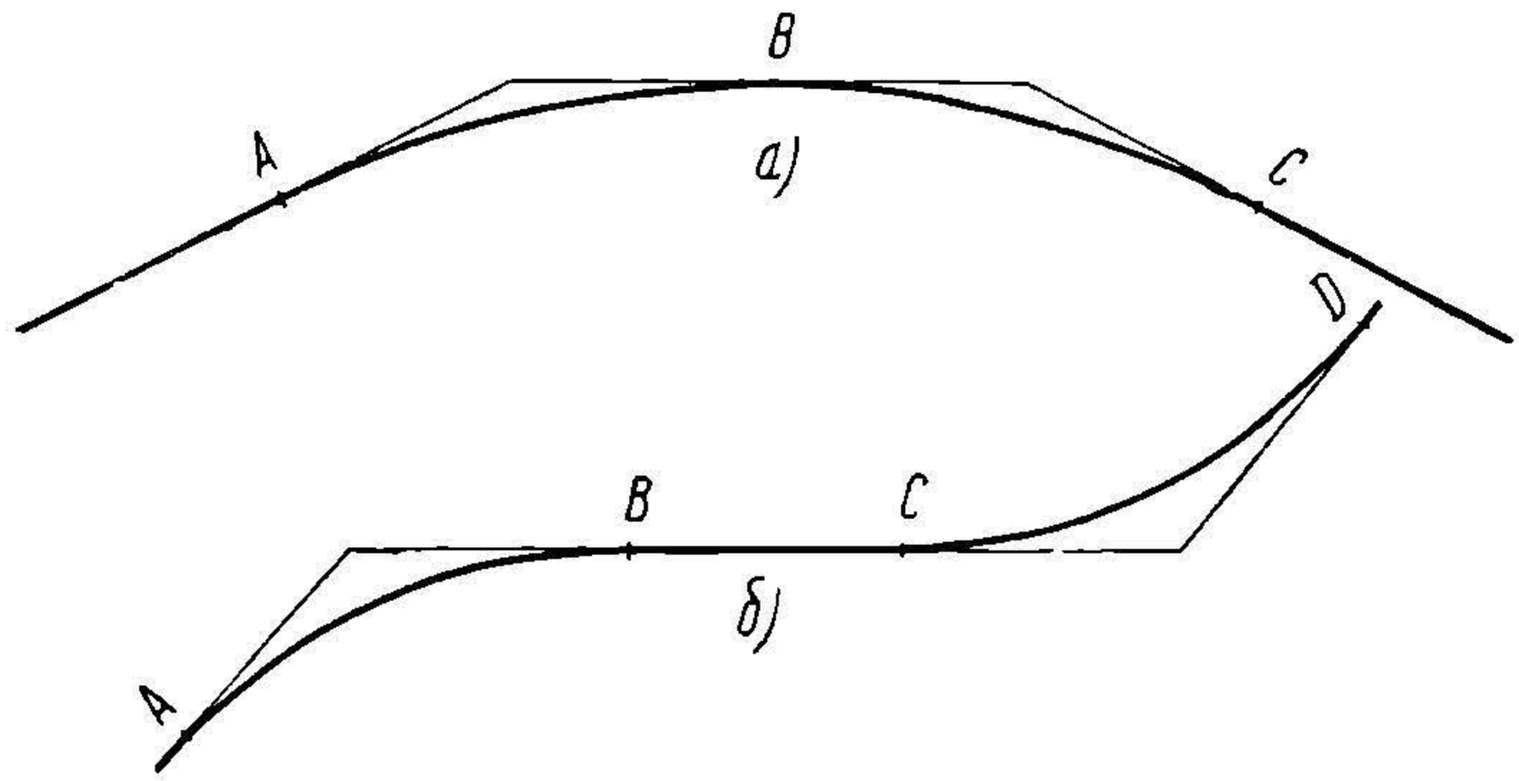


Рис. 173. Односторонние (*а*) и обратные (*б*) кривые.

в одну сторону, нет необходимости в отгонах виражей и в прямой вставке между кривыми. Если на двух смежных кривых, направленных в одну сторону, необходимо устройство виражей с одинаковой величиной уклона односкатного профиля, то эти кривые могут непосредственно примыкать тангенсами одна

НБ УДУТ (ДИТ)

к другой (рис. 174). Если же уклоны односкатного профиля неодинаковы, то переход может быть осуществлен в пределах

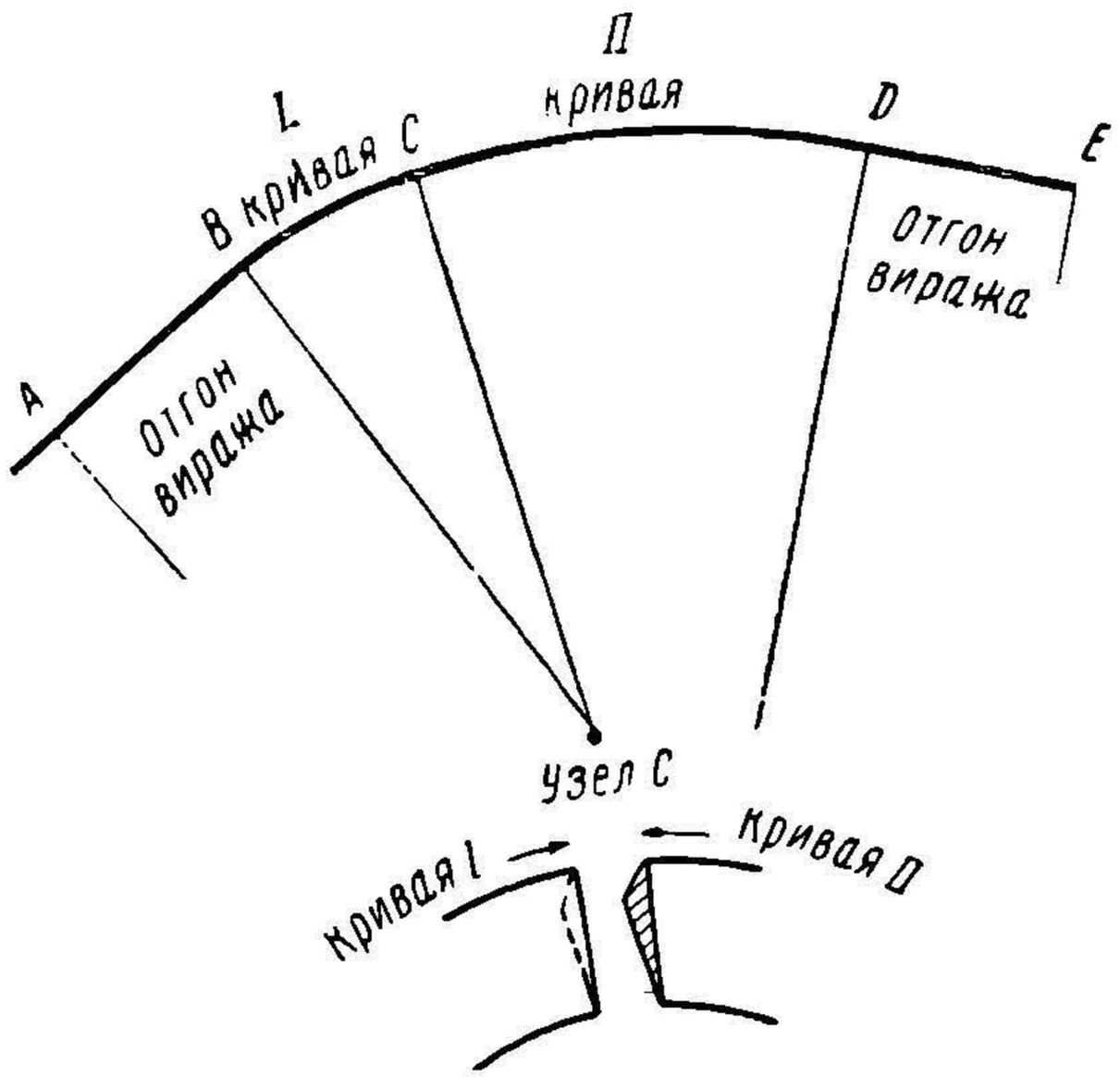


Рис. 174. Непосредственное примыкание односторонних кривых.

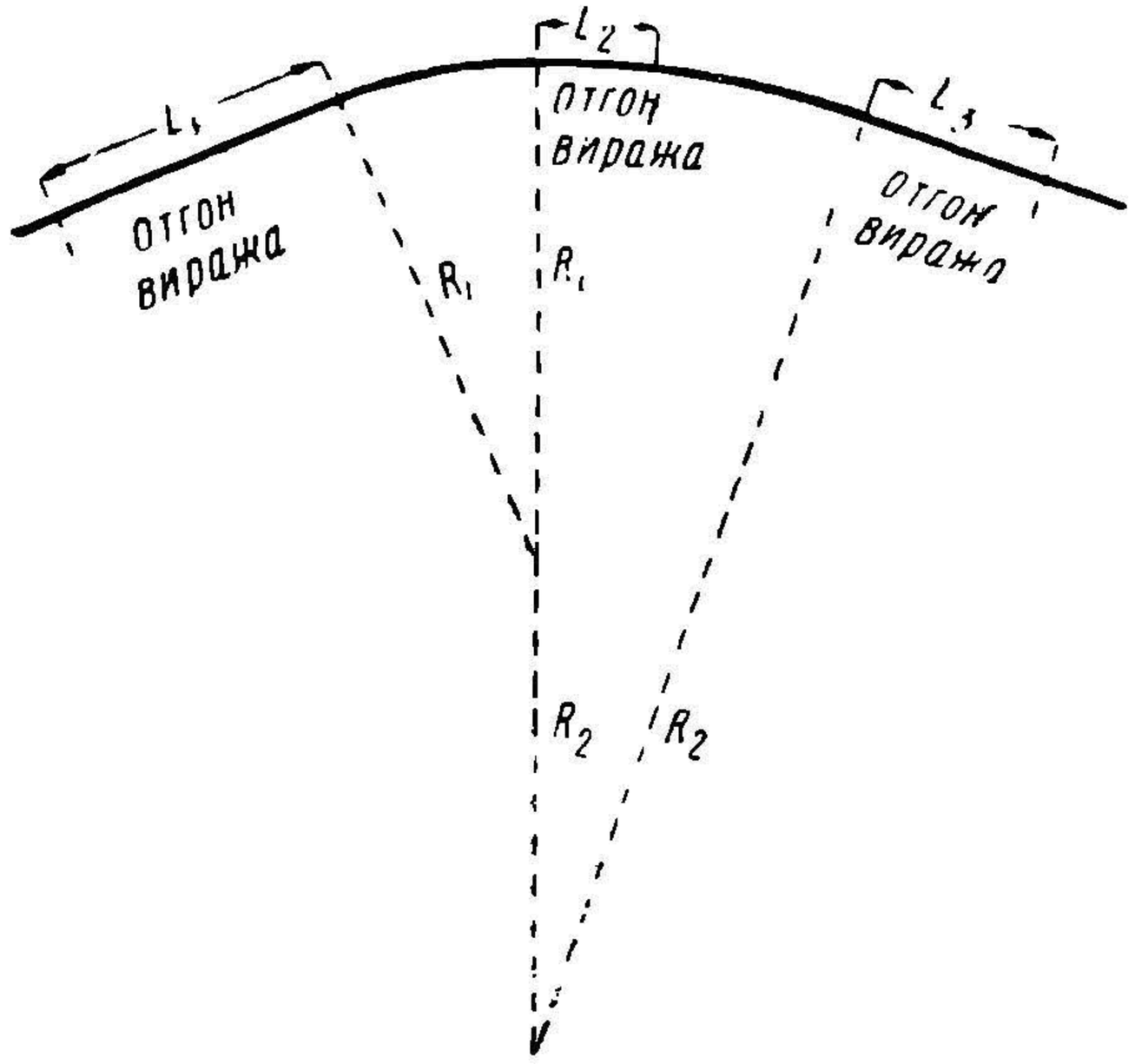


Рис. 175. Изменение односкатного профиля (промежуточный отгон) в пределах дуги большого радиуса.

кривой большего радиуса (рис. 175), т. е. и в этом случае нет необходимости в прямой вставке между кривыми. Если, по условиям трассирования, между кривыми, направленными в одну

НБ УДУНТ (ДПТ)

сторону, требуется прямая вставка большой длины, то устраиваются нормальные отгоны виражей, а между ними располагается участок с двухскатным профилем (рис. 176). Если прямая вставка короткая, то следует или совсем избавиться от нее, увеличив

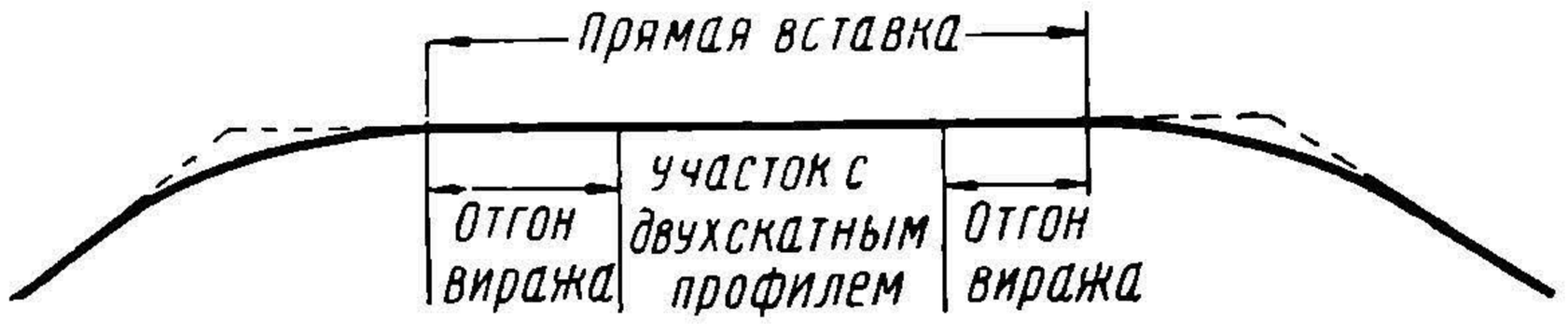


Рис. 176. Односторонние кривые с прямой вставкой двухскатного профиля между отгонами виражей.

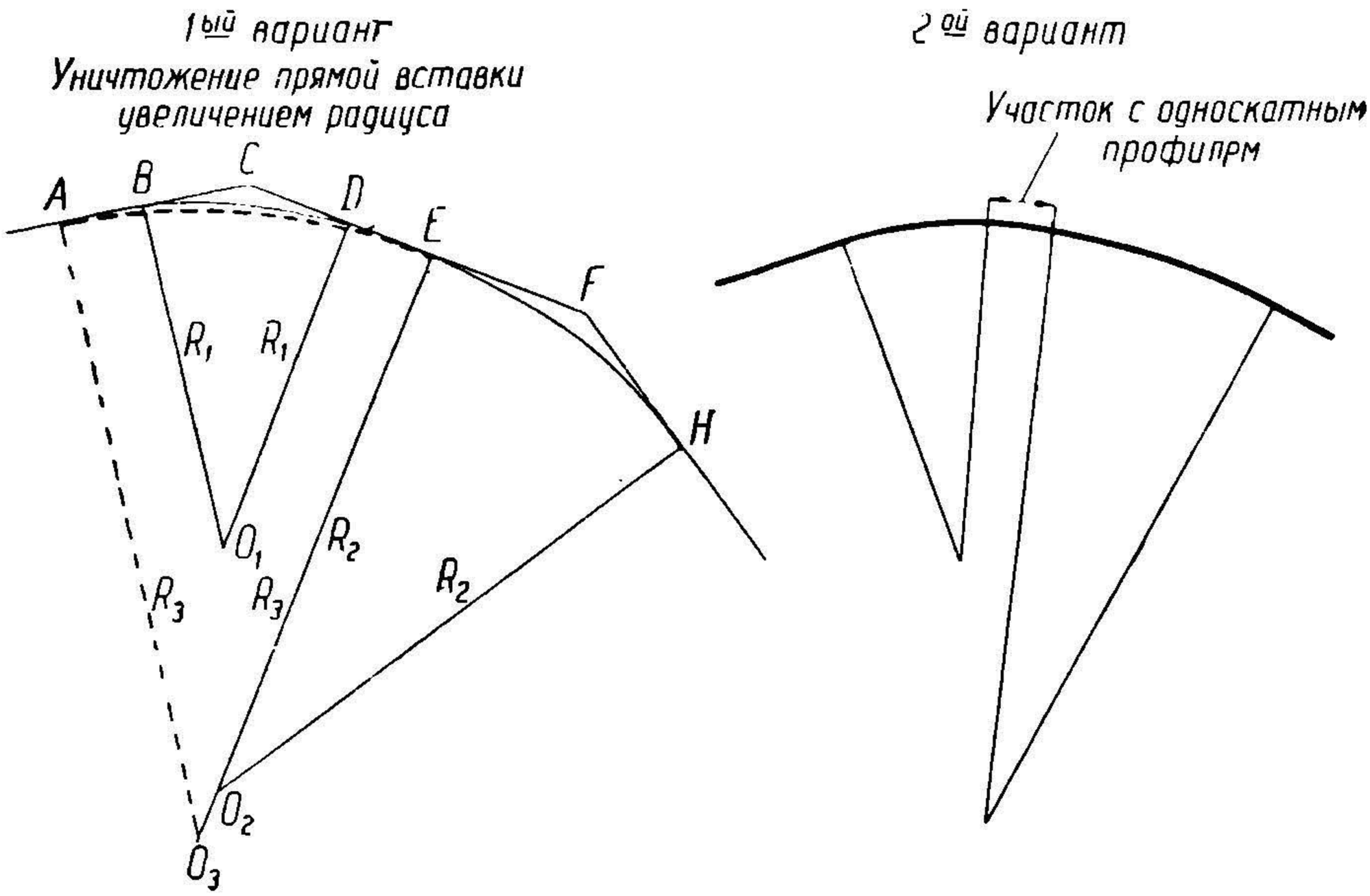


Рис. 177.
Уничтожение прямой вставки между односторонними кривыми путем увеличения радиуса (1-й вариант); устройство на прямой вставке односкатного профиля (2-й вариант).

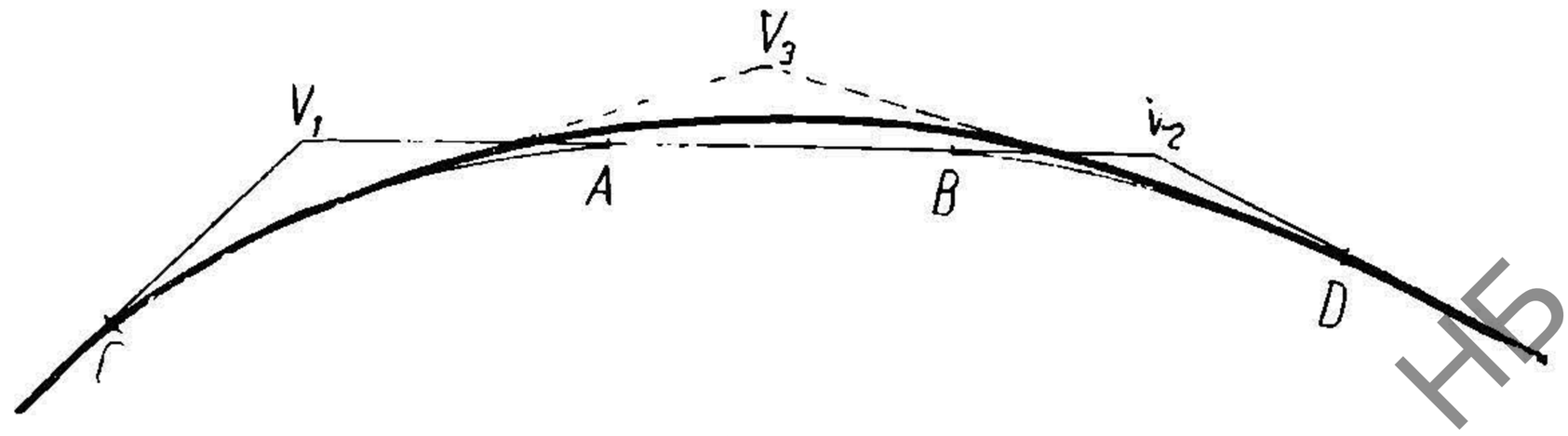


Рис. 178. Уничтожение прямой вставки путем введения нового угла V_3 взамен прежних углов V_1 и V_2.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

радиус одной или обоих кривых, или на всей длине прямой устроить односкатный профиль (рис. 177 и 178).

При наличии обратных кривых, вписанных в углы противоположных направлений (рис. 173б) прямая вставка не требуется лишь тогда, когда обе кривые описаны рекомендуемыми радиусами, или когда отгоны виражей расположены на переходных кривых. Во всех остальных случаях длина прямой вставки должна быть такой, чтобы на ней можно было разместить отгоны виражей, т. е. длина прямой вставки

$$P \geqslant L_1 + L_2,$$

где L_1 и L_2—длины отгонов виражей соседних кривых (рис. 179)

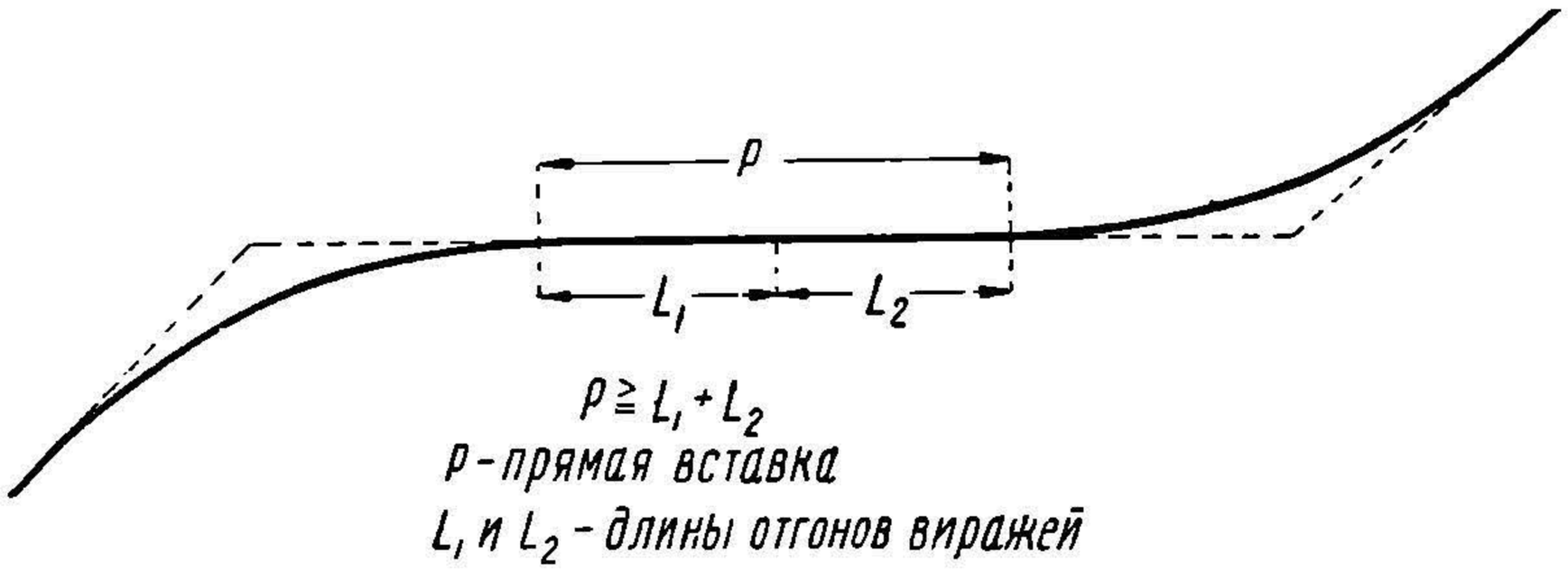


Рис. 179. Обратные кривые и прямая вставка между ними.

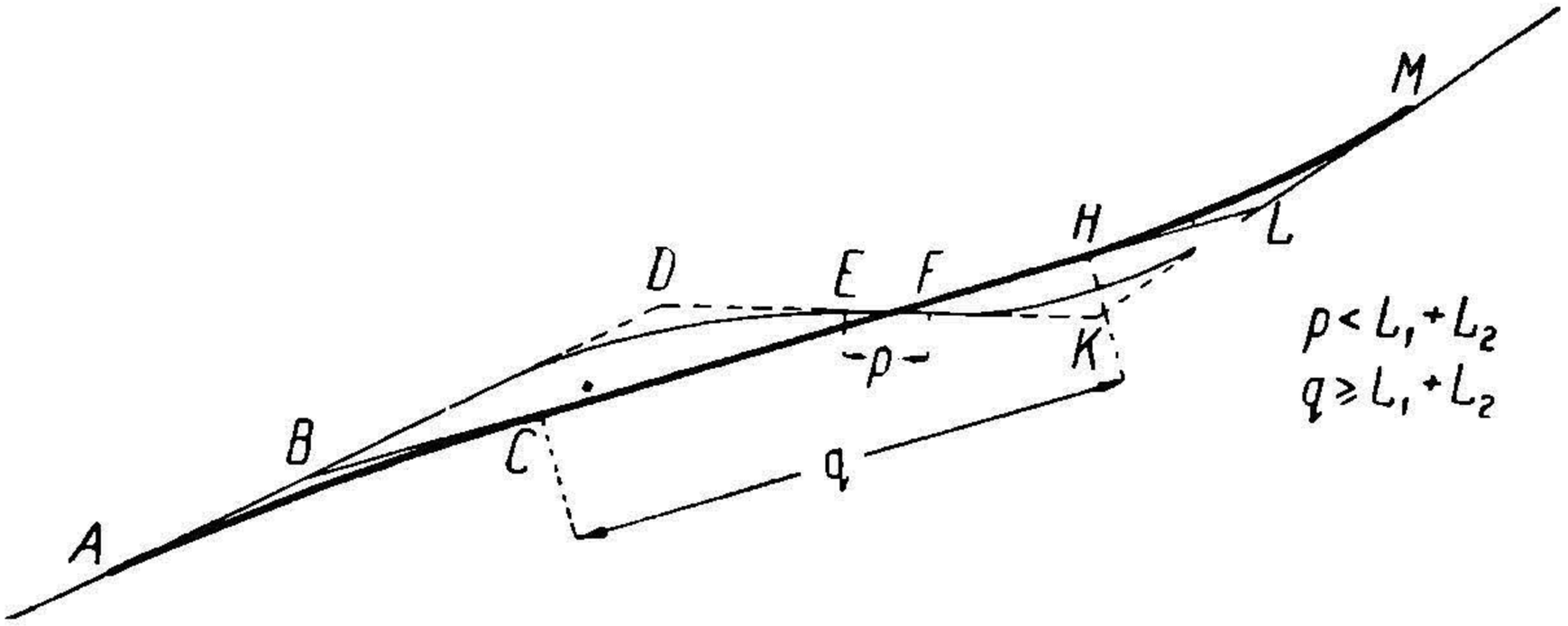


Рис. 180. Увеличение длины существующей прямой вставки посредством перемещения вершин углов из D в B и из K в L.
Сплошной линией показано существующее очертание круговых кривых и прямой вставки $EF = p$. Сплошной толстой линией показано смещенное положение новых закруглений и новое направление прямой вставки между переходными кривыми $CH = q$. При этом $p < L_1 + L_2$; $q > L_1 + L_2$, где L_1 и L_2 — длины отгонов виражей.

В тех случаях, когда длина имеющейся прямой вставки EF мала, иногда может оказаться целесообразным изменить направление прямой вставки (рис. 180), переместив вершины углов D и K в новые точки B и L и тем самым удлинить прямую вставку с одновременным уменьшением углов поворота.

НБ УДУНТ (ДИТ)

80. Серпантины

На многих склонах горной местности из-за сильной пересеченности рельефа и тяжелых геологических условий проложение дороги затруднительно. Часто, поэтому, развивать линию можно только на отдельных участках склонов, болеее спокойных по рельефу и устойчивых в геологическом отношении (рис. 181). При этом иногда встречается надобность в устройстве закругления между двумя направлениями AC и CB (рис. 182), сходящимися под острым углом.

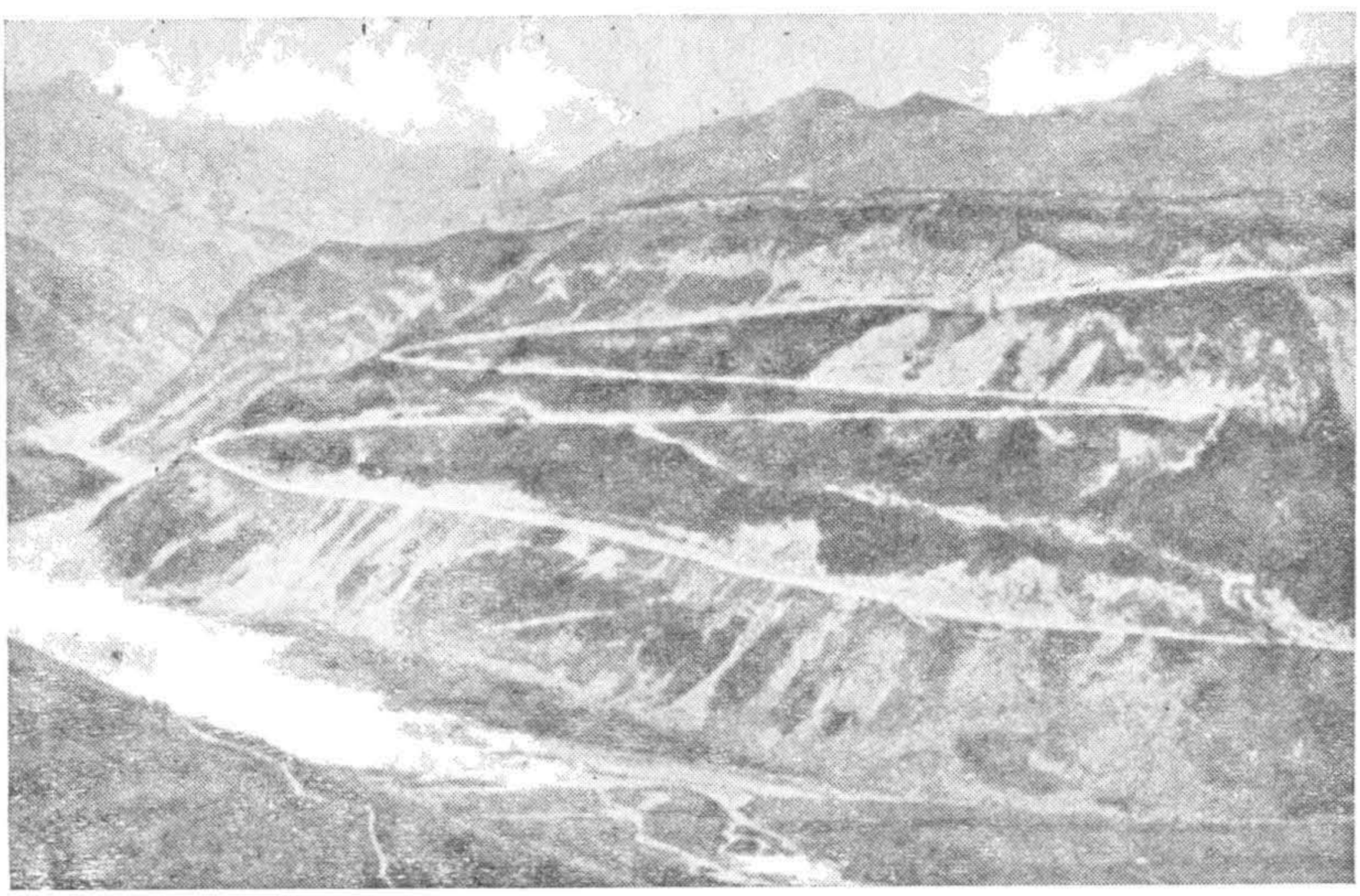


Рис. 181. Развитие линии зигзагами на горном склоне.

Это закругление неудобно делать внутри острого угла (рис. 182б), вследствие недостатка места для закругления. Чтобы вписать закругление наименьшего допустимого радиуса, центр поворотной кривой пришлось бы отодвинуть на значительную длину от вершины угла. При таком сдвиге длина трассы между точками AB сократилась бы сравнительно с ломаной ACB, а уменьшение длины было бы сопряжено с необходимостью увеличения наибольшего подъема, что, по существу, недопустимо. Поэтому, такое сопряжение делается по схеме, представленной на рис. 182в, т. е. устраивается закругление, расположенное вне угла. При этом за центр основной кривой может быть взята любая точка C_3 (рис. 183). Эту основную кривую сопрягают при помощи прямых вставок d_1 и d_2 и обратных кривых с прямыми OM и ON. Такое устройство поворотной петли носит название серпантины. Будем называть серпантиной I рода такую серпантину, у которой вспомогательные кривые радиусов R_1 и R_2 располо-

НБ УДУИТ (ДІІТ)

жены выпуклостью в разные стороны (рис. 183), а серпантиной II рода такую, у которой вспомогательные кривые расположены выпуклостью в одну сторону (рис. 184). Серпантина I рода может быть, в частном случае, симметричной, а центр C может совпадать с вершиной угла (рис. 185). Сооружение дороги на серпантинном участке связано при крутом поперечном склоне местности с крупными земляными и скальными работами, а иногда и с большим объемом кладки подпорных стенок (рис. 186). Наи-

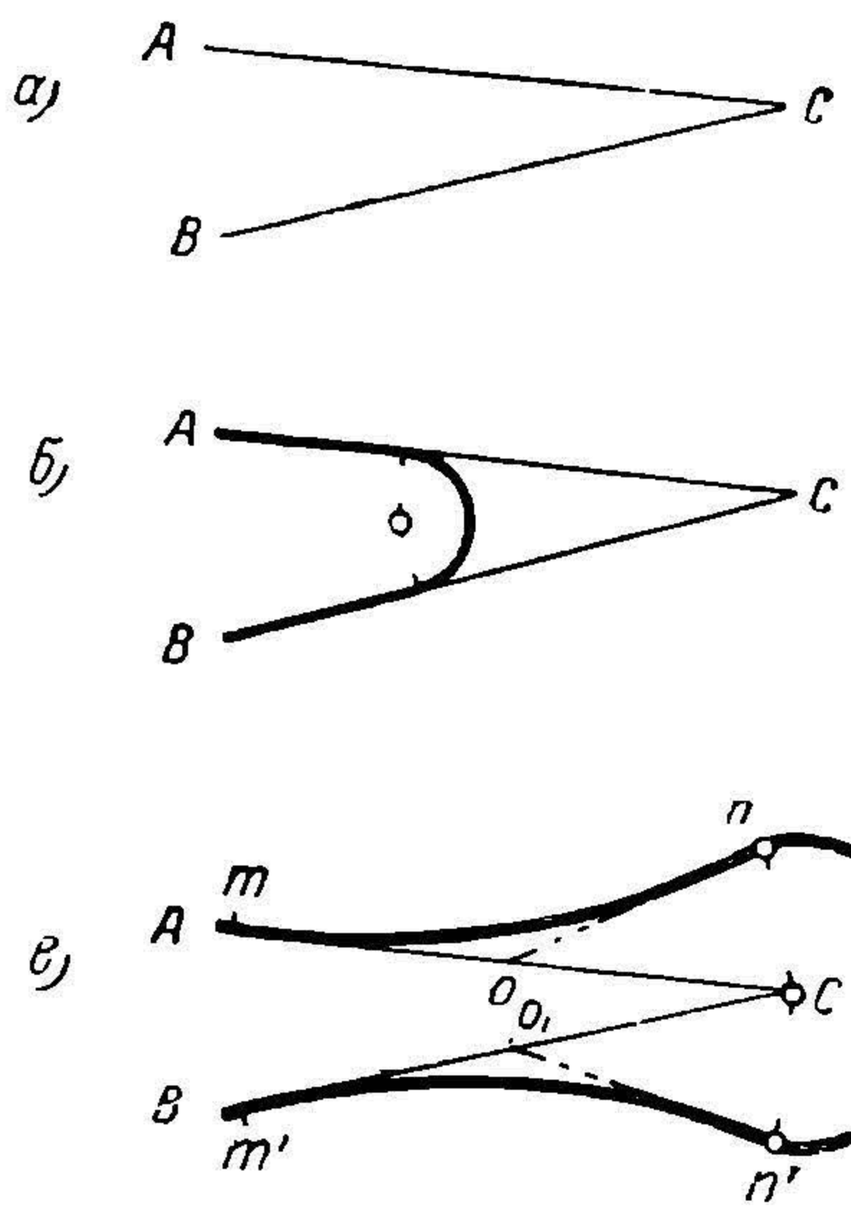


Рис. 182. Схема трассы серпантины при вершине острого угла: *а* — первоначальная трасса двух прямых; *б* — закругление внутри угла (неудобно); *в* — серпантина.

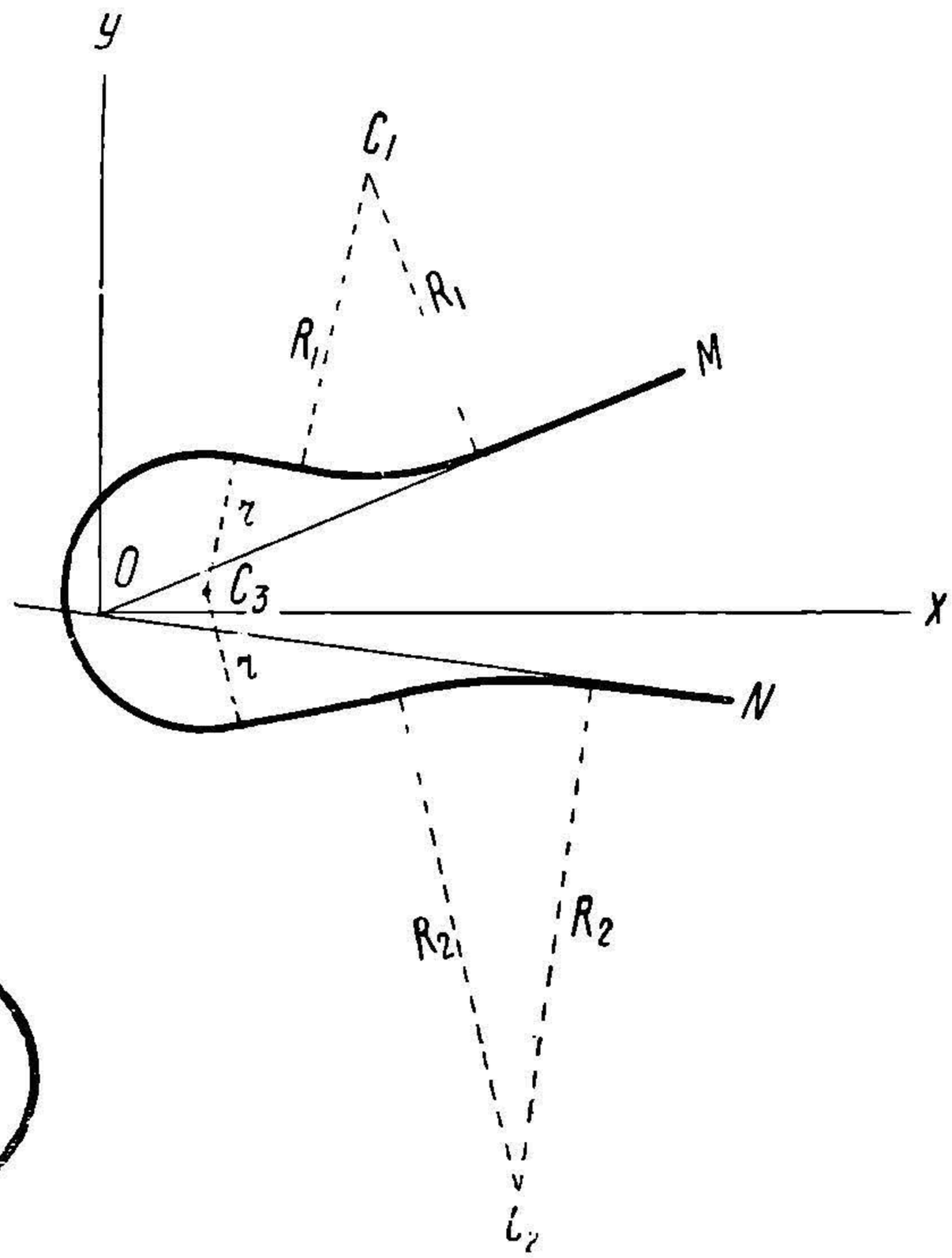


Рис. 183. Серпантина первого рода; вспомогательные кривые выпуклостью в разные стороны.

больший объем работ, как правило, получается на участках B и B основной кривой (рис. 187), так как приходится на крутом склоне располагать две ветви дороги—одну в выемке, другую в насыпи. Оси этих ветвей располагаются на закруглении на сравнительно большом расстоянии одна от другой (около двух радиусов). Уменьшение глубины выемки и высоты насыпи почти невозможно, так как длина кривой, т. е. расстояние—BCB —невелико (около πr), а допускаемый уклон на кривой малого радиуса r также незначителен. Очень существенно, поэтому, выбрать на местности такой пологий участок склона, на котором можно было бы, с небольшими работами, развернуть серпантину. Только в редких случаях (например, на пологом

НВ УДУТ (ДІІТ)

ровном склоне с однообразными и благоприятными геологическими условиями) целесообразно применять симметричную серпантину I рода (см. рис. 185), разбивка которой сводится к элементарным тригонометрическим выкладкам и не представляет особой трудности. В общем же случае, учитывая рельеф местности и геологические условия, серпантину приходится проектировать несимметричной.

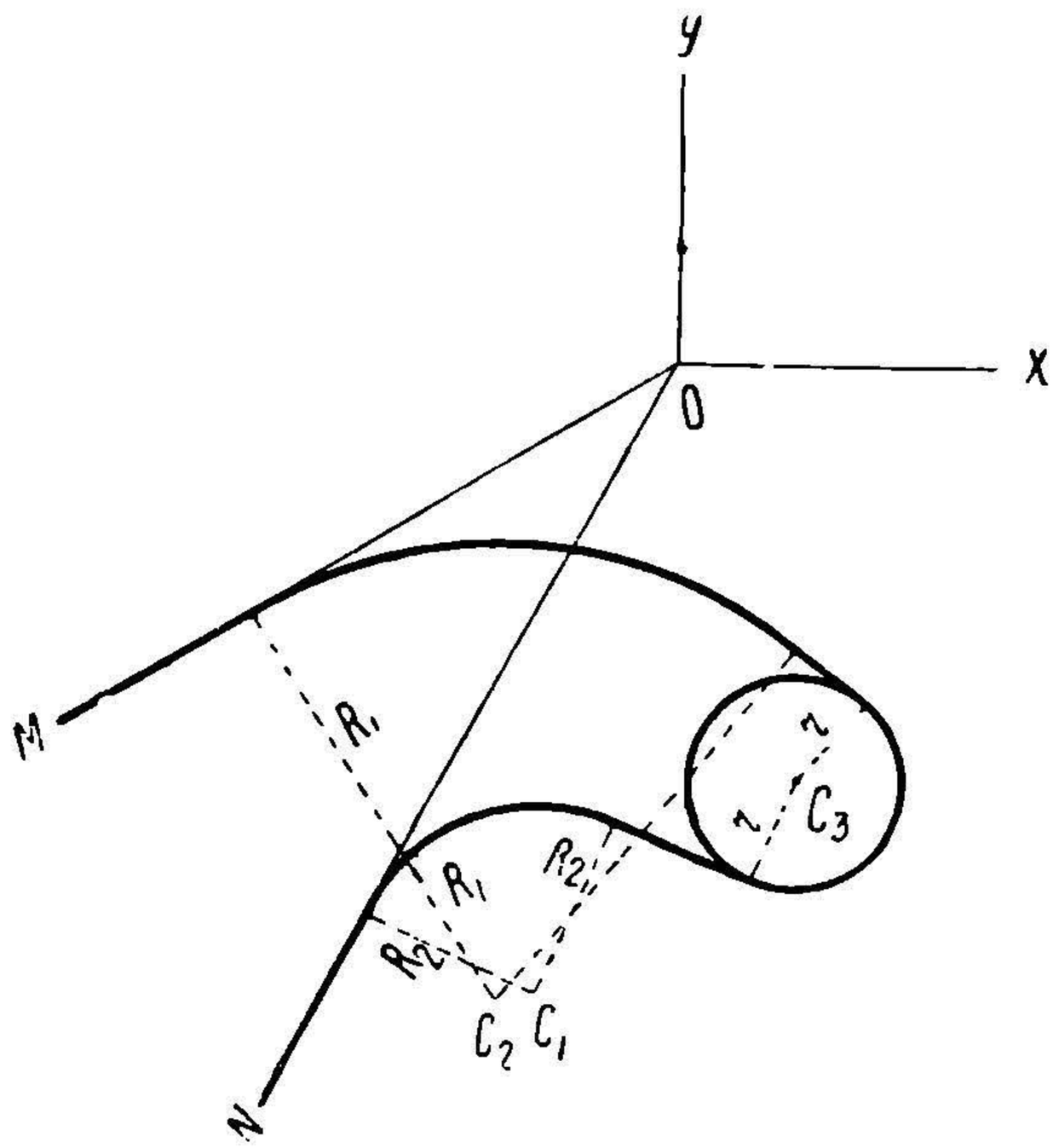


Рис. 184. Серпантина второго рода; вспомогательные кривые выпуклостью в одну сторону.

Исходными данными при проектировании серпантины обычно берут следующие элементы (рис. 188).

1. α—угол поворота трассы; величина его определяется условиями развития трассы на склоне, т. е. направлениями сходящихся прямых.

2. r — радиус основной кривой; берется по Т. У. для заданного класса дороги.

3. Положение центра окружности основной кривой C относительно вершины угла поворота трассы O. Центр окружности C

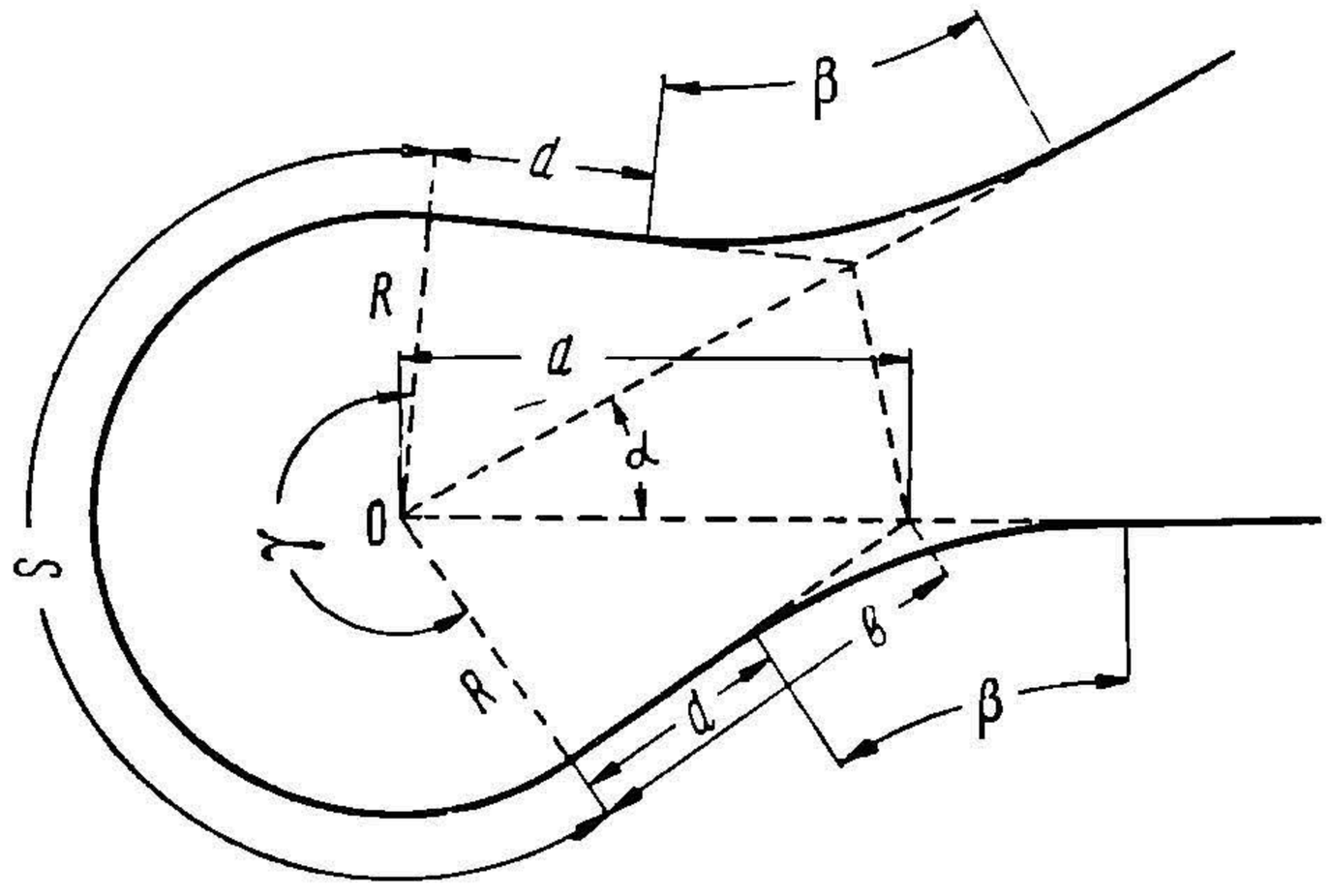


Рис. 185. Схема разбивки симметричной серпантины.

выбирают путем сравнения вариантов, учитывая рельеф местности, таким образом, чтобы устройство серпантины требовало

НБ УДУНТ (ДІІТ)

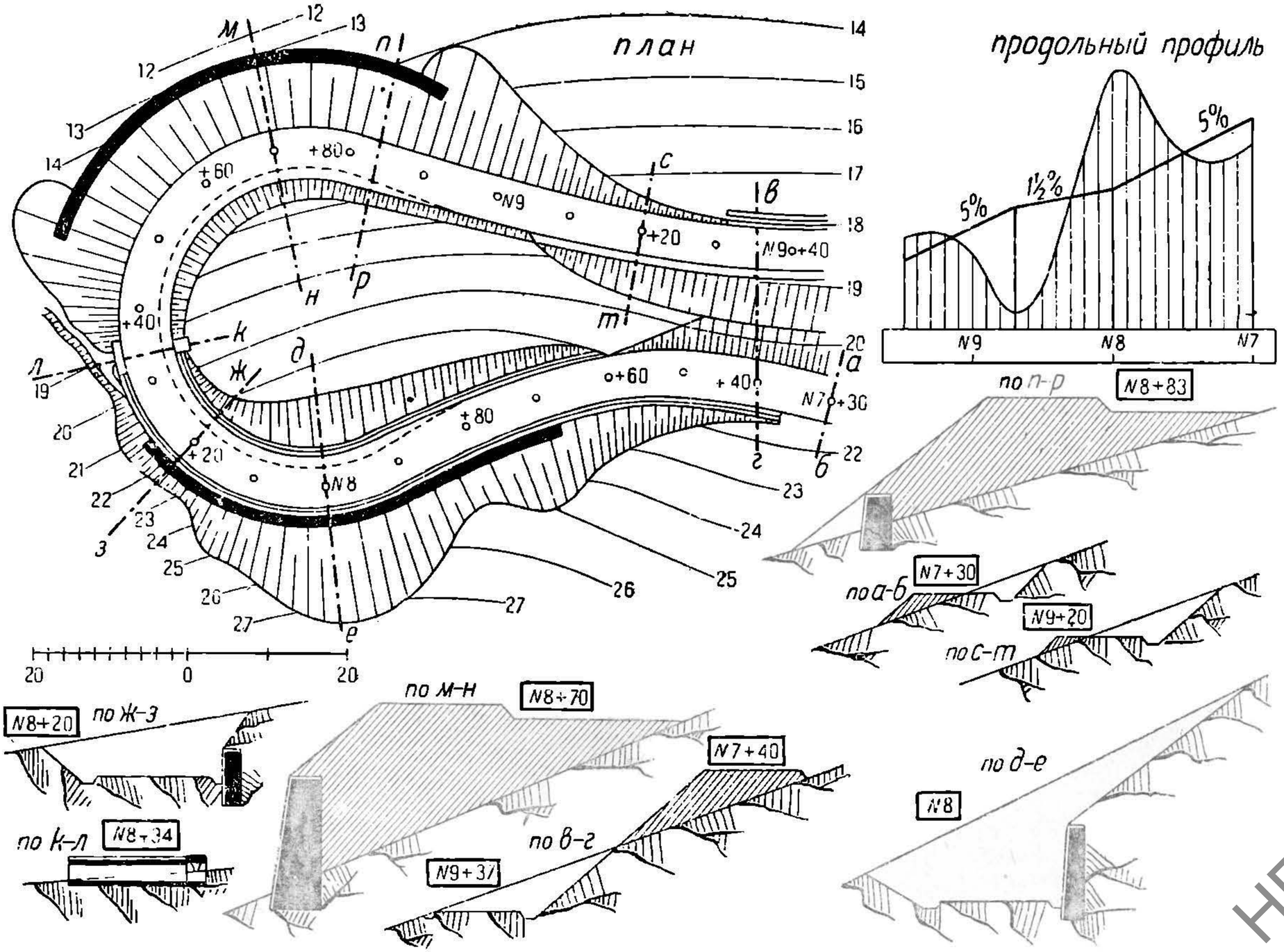


Рис. 186. План, продольный профиль и поперечные профили серпантины с подпорными стенками. В пределах малого радиуса смягчен продольный подъем.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

минимальных затрат. Положение центра окружности C вполне определяется координатами $x_ц y_ц$. Направление осей прямоугольных координат всегда выгодно брать по меридиану и широте, так как, имея румбы отдельных прямых, входящих в очертание серпантины, можно легко определять проекции их отрезков на оси координат. Начало координат можно брать в любой точке, в большинстве случаев целесообразно взять начало в вершине угла поворота трассы O.

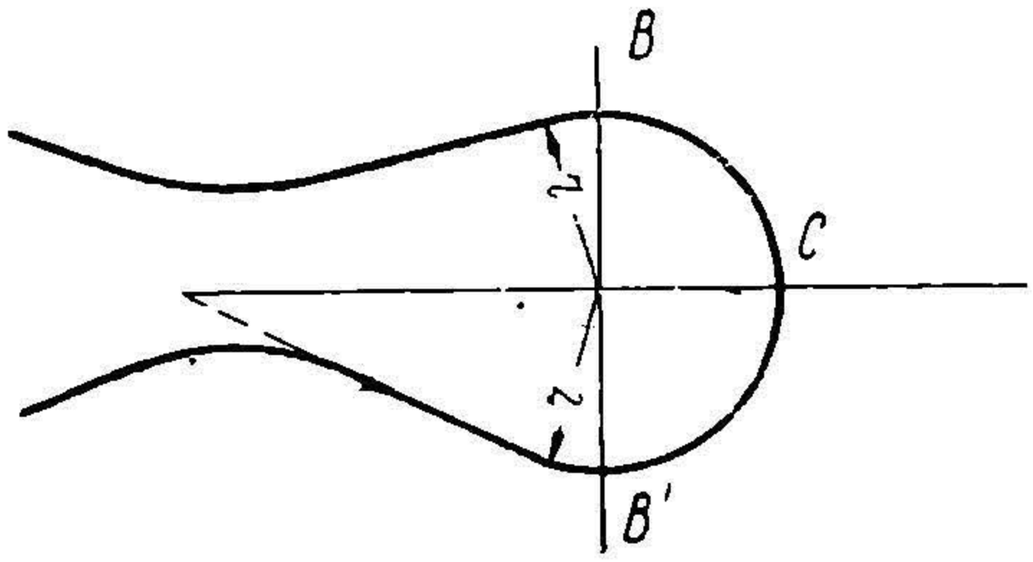


Рис. 187. План и поперечные профили серпантины по направлению диаметра серпантины, совпадающему с линией наибольшей крутизны склона.

Дальнейшая разбивка в плане серпантины симметричного или несимметричного очертания, с любым числом промежуточных кривых, не представляет никаких затруднений. Следует только:

1. Пользоваться обычными элементарными приемами аналитической геометрии, составляя выражения для проекций ломаных на два направления (меридиана и широты), определяя последовательно длины отрезков и координаты отдельных точек (вершин углов и центров окружности).

2. Вести пикетаж по оси, вычисляя пикеты вершин углов и тангенсов кривых.

3. Определять высотные отметки по оси и вычерчивать продольный профиль.

При трассировании оси серпантин следует стремиться, чтобы:

а) R_1 и R_2 — радиусы вспомогательных кривых должны быть, по возможности, такими, при которых не требовалось бы устройства виража.

б) d_1 и d_2 — длины прямых вставок между основной кривой и вспомогательными кривыми были бы достаточны для расположения отгонов виража.

Выбор центра основной кривой, а также радиусов и тангенсов вспомогательных кривых, может быть значительно облегчен, если пользоваться вырезанными из картона или целлулоида лекалами соответствующих радиусов. Прикладывая эти лекала, и прежде всего кружки с радиусом основной кривой, легко перепробовать графически большое количество возможных вариантов симметричных и несимметричных, простых и комбинированных серпантин. На основе такой прикидки можно остановиться на одном-трех наиболее пригодных вариантах.

Для намеченных вариантов надо построить продольные

НВ УДУНТ (ДІТ)

и поперечные профили (пользуясь планом в горизонталях) и сравнить объемы насыпей, выемок и подпорных стенок, а иногда и расположение водоотводных сооружений. На поперечных профилях следует показывать геологические разрезы, исходя из основных шурфов и скважин геологической разведки. Когда путем графического сравнения вариантов выбран основной вариант, для него следует сделать точную разбивку пикетажа, румбов прямых, вершин углов и тангенсов кривых, пользуясь указанным выше приемом составления проекций на две оси координат.

Рис. 188. План разбивки несимметричной серпантины первого рода с центром *C*, расположенным вне вершины угла *O* и осями координат *OX* и *OY*, направленными по меридиану и широте.

Разбивка центра и точек касания производится на основе вычисления координат. Направления касательных проверяются по вычисленным румбам.

Ход разбивки серпантины заключается в последовательном вычислении координат контрольных точек. На рис. 188 представлена схема проведения касательной к основной кривой, центр которой задан координатами $x_ц$ $y_ц$. Касательная *EL* может быть проведена к различным точкам окружности. Целесообразное положение точки касания *E*, румба касательной и наклона к оси абсцисс—угла β_2 может быть найдено подбором следующим образом (рис. 188).

1. Задаемся некоторым углом β_2. Тогда координаты x_2 и y_2 точки касания *E*:

$$x_2 = x_ц + r \sin \beta_2$$

$$y_2 = y_ц + r \cos \beta_2$$

НБ УДУНТ (ДИТ)

где $x_ц$ и $y_ц$ — заданные координаты точки C центра основной кривой, r — радиус этой кривой.

2. Проектируя линии EL и OL на оси координат, получаем

$$x_2 - x_1 = l_1 \cos \beta_1 - l_2 \cos \beta_2,$$

$$y_2 - y_1 = l_1 \sin \beta_1 + l_2 \sin \beta_2,$$

здесь x_1, y_1 — координаты вершин угла O (можно принять $x_1 = 0$; $y_1 = 0$); x_2, y_2 — координаты точки касания E; $l_1 = OL$ — расстояние между вершинами углов O и L; $l_2 = EL$ — длина касательной.

Решая эти два уравнения с помощью определителей

$$\begin{vmatrix} \cos \beta_1, & -\cos \beta_2 \\ \sin \beta_1, & +\sin \beta_2 \end{vmatrix} = \sin (\beta_1 + \beta_2);$$

$$\begin{vmatrix} \cos \beta_1, & x_2 - x_1 \\ \sin \beta_1, & y_2 - y_1 \end{vmatrix} = (y_2 - y_1) \cos \beta_1 - (x_2 - x_1) \sin \beta_1$$

получаем

$$l_2 = \frac{(y_2 - y_1) \cos \beta_1 - (x_2 - x_1) \sin \beta_1}{\sin \beta}.$$

где $\beta = \beta_1 + \beta_2$.

Таким образом, задавшись β_2, получаем x_2, y_2, l_2 на основе известных x_1, y_1, β_1.

3. Очевидно $l_2 = d_1 + R_1 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$. Задаваясь величиной R_1 радиуса вспомогательной кривой, такой, чтобы не требовалось устройства виража, можно вычислить длину прямой вставки d_1 между основной и вспомогательной кривой. Если длина эта достаточна для расположения отгона виража основной кривой, угол β_2 выбран удачно. Если длина d_1 значительно больше длины отгона можно или увеличить R_1 или увеличить угол β_2.

Если длина d_1 недостаточна, надо, наоборот, уменьшить угол β_2. Для устройства переходных кривых очевидно длина d_1 должна быть увеличена, а угол β_2 и $\beta = \beta_1 + \beta_2$ уменьшен.

Аналогичный метод составления уравнений проекций должен быть применен и для нижней ветви серпантины. Таким образом, ход проектирования трассы оси серпантины заключается: в подборе положения центра C основной кривой, ее радиуса r, румба касательной $90° - \beta_2$, радиусов вспомогательных кривых R_1 и R_2. Этот подбор делается посредством шаблонов; в разбивке очертания оси на основе вычисления координат и проекцией отрезков прямых; составлении продольных и поперечных профилей и подсчета объема работ.

При этом надо проверить: а) размещаются ли в самом узком месте PQ обе ветви, ширина этого узкого места („талии") между осями легко вычисляется по координатам точек касания;

НБ УДУНТ (ДІІТ)

б) обеспечивается ли смягчение продольного уклона на серпантине; в) можно ли разбить переходные кривые.

Во многих трудах и инструкциях по проектированию серпантин приводятся более или менее сложные формулы для вычисления отдельных элементов — углов, отрезков прямых и т. д. Как правило, можно сказать, что разобраться в таких готовых формулах гораздо труднее, чем самому спроектировать конкретную серпантину любого очертания, посредством элементарных проекций.

Внимание инженера должно быть направлено не на применение громоздких и ненужных формул и расчетов, а на обеспече-

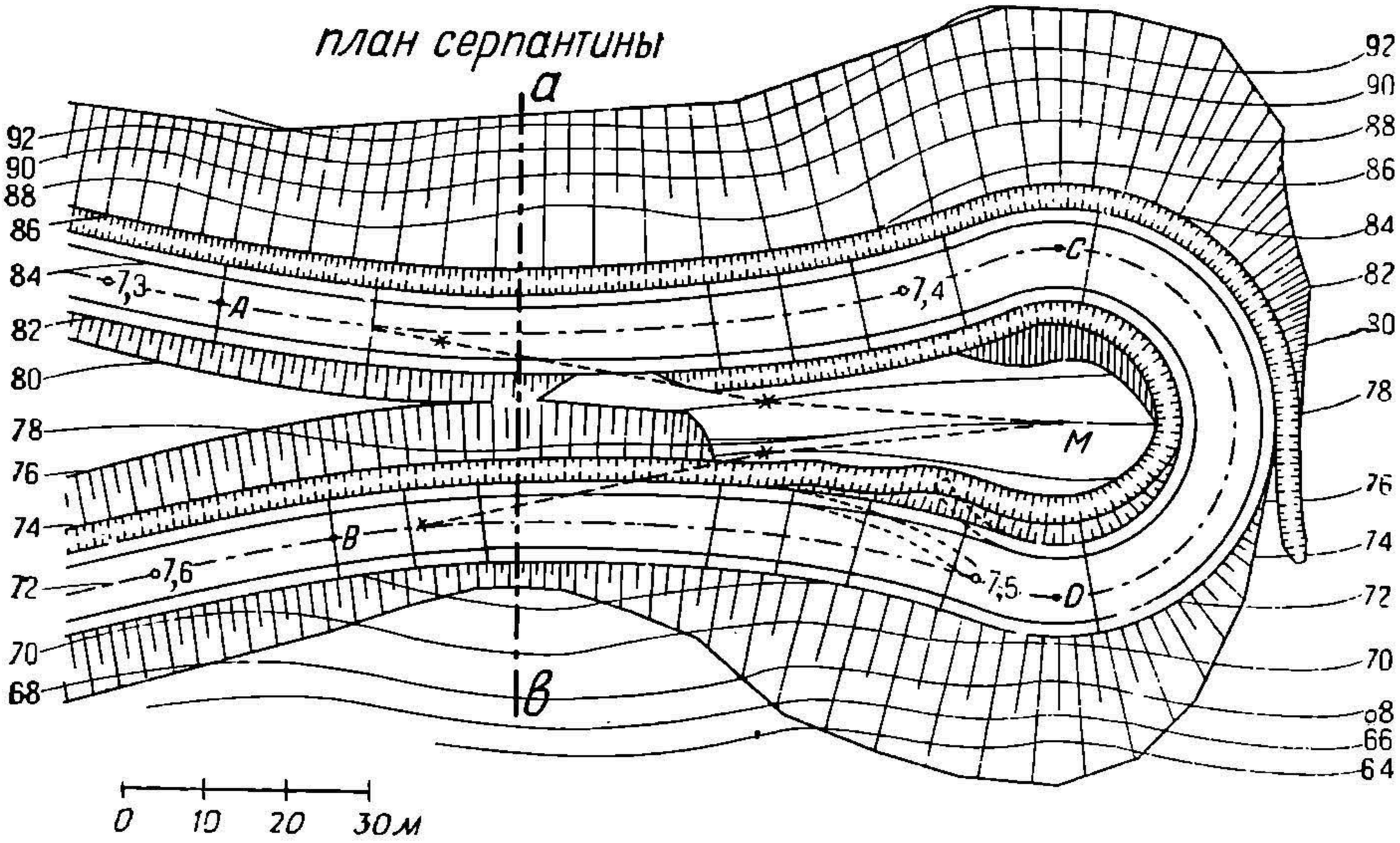


Рис. 189. План серпантины.

Трасса показана в деталях на условном плане и продольном профиле (рис. 190); наименьший радиус 21 м. Штриховкой размечены откосы выемок и насыпей (короткие штрихи везде нанесены в верхней части откоса).

ние качества серпантины и достижение наименьшего объема работ при определенных качествах.

Качество серпантины определяется той скоростью, с которой безопасно могут проходить по ней автомобили.

Скорость эта зависит:

Во-первых, от условий видимости — днем она больше, чем ночью. Для улучшения видимости ночью целесообразно окрасить парапеты в белый цвет или, если парапетов нет, поставить хотя бы направляющие камни или надолбы, также окрашенные в белый цвет, ясно видимые водителю машины при свете фар автомобиля. Это дает большую уверенность при управлении

НБ УДИТ (ДИТ)

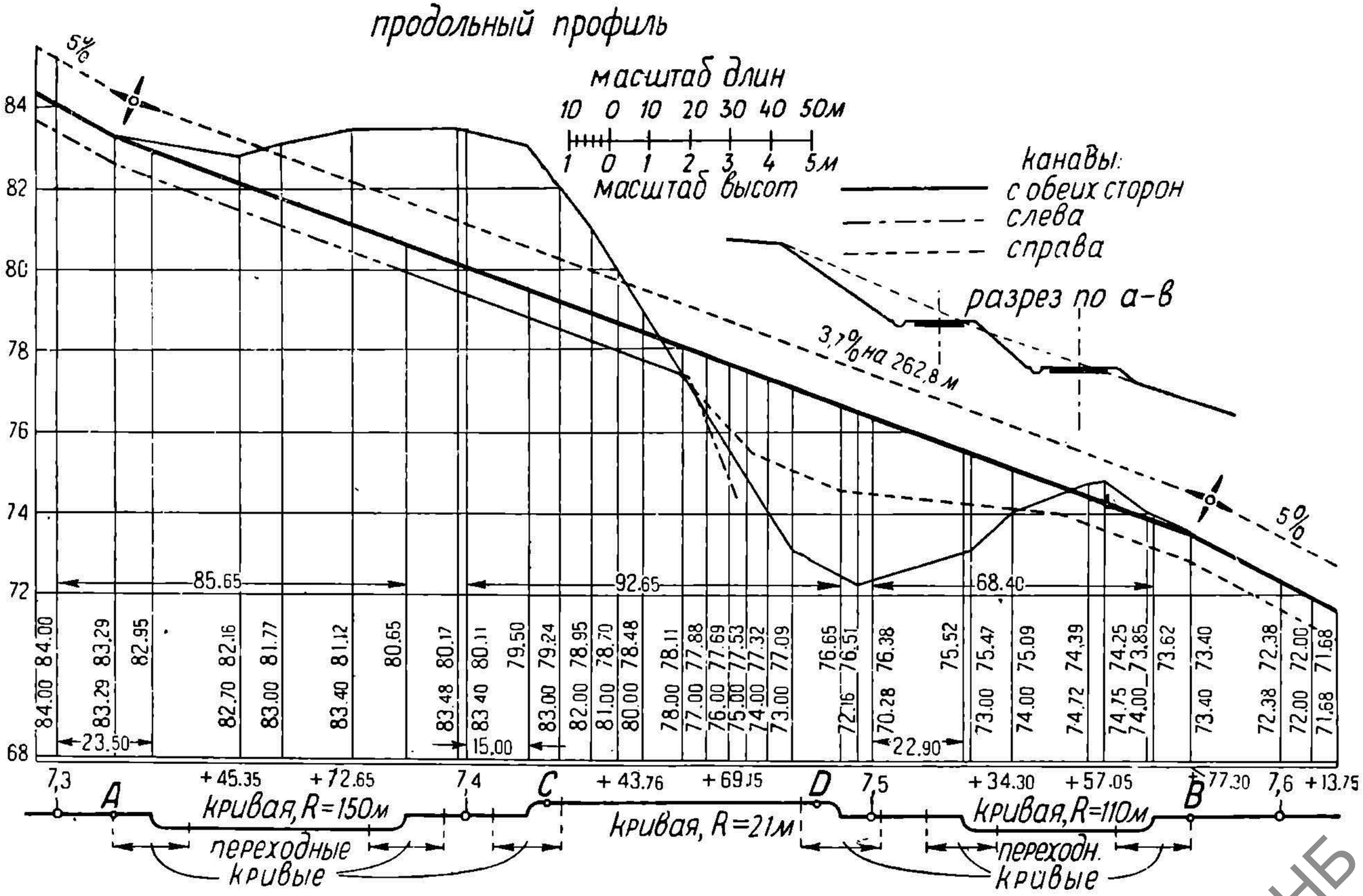


Рис. 190. Продольный профиль условный план серпантины.

На продольном профиле разными пунктирами (см. условные обозначения) показано дно канав. Кроме того, показан поперечный профиль в разрезе по *a — b* (план см. рис. 189).

НБ УДУНТ (ДІІТ)

рулем. Как днем, так и ночью должна быть обеспечена возможно далекая видимость в отношении встречных автомобилей.

Во-вторых, скорость движения зависит от состояния дороги в скользкую погоду и, в особенности, в гололедицу. Там, где климатические условия неблагоприятны, следует основную кривую серпантин делать достаточно большим радиусом, исходя при его назначении из скорости движения на скользкой дороге.

В-третьих, скорость движения зависит от устройства поверхности дороги на серпантине, применения виражей, устройства отгонов на виражах, смягчения уклонов на закруглении. Особо следует проверять уклон на внутренней кромке

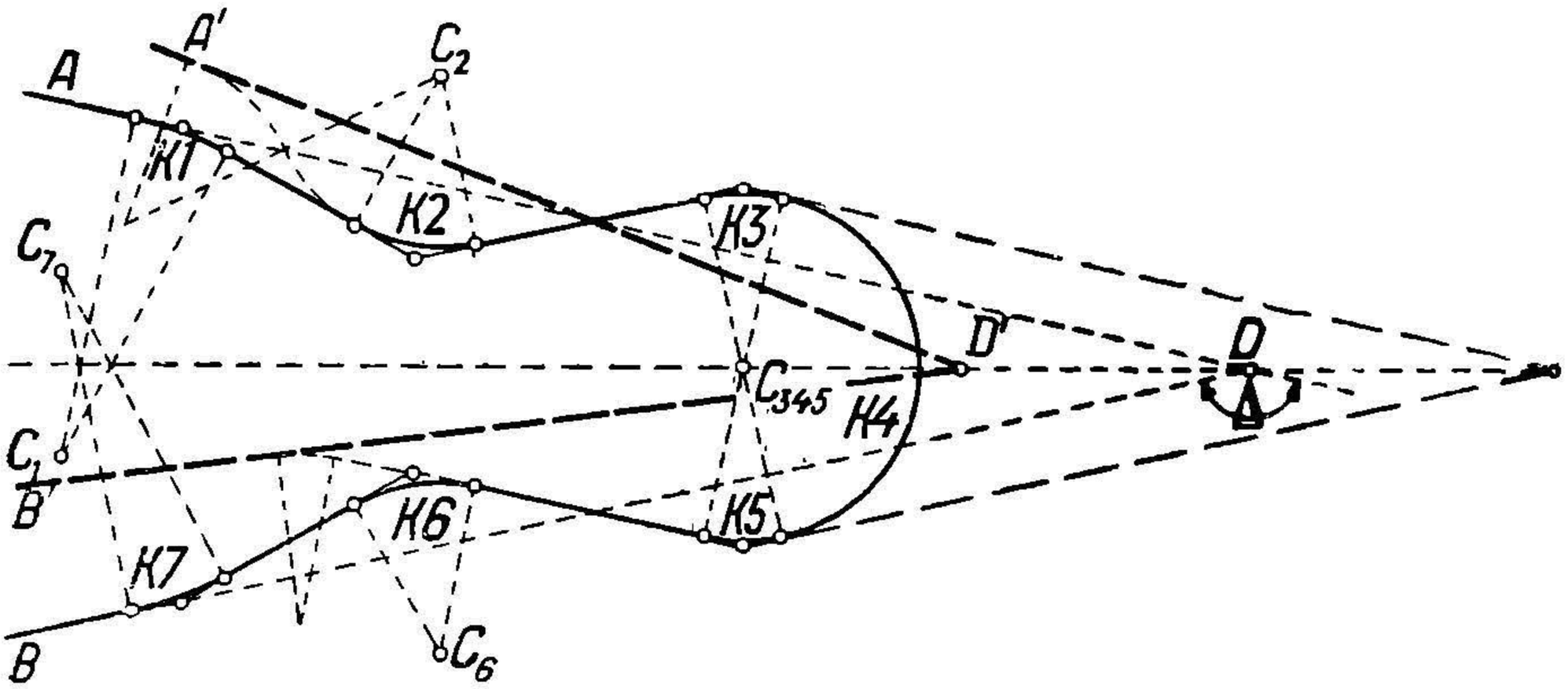


Рис. 191. Трасса серпантин с обратными кривыми малых радиусов.

Иногда применяется в США при соответствующем рельефе. Сплошной линией *AB* показано симметричное, пунктирной линией *A B* — несимметричное расположение.

проезжей части. При широком полотне и небольших радиусах, эта внутренняя кромка имеет гораздо меньшую длину, чем внешняя кромка. На старых серпантинах, примитивно устроенных, внутренняя кромка сплошь и рядом имеет продольный уклон 12—15%, а вся поверхность проезжей части на серпантине имеет гелисоидальный характер, наподобие винтовой лестницы. Движение по внутренней половине такой серпантины неудобно. При движении вниз имеется риск заноса автомобиля. При движении вверх автомобиль боксует, в особенности при скользкой дороге. Поэтому водители предпочитают пользоваться только внешней частью закругления, т. е. направлять автомобиль по неправильному пути, что грозит столкновением.

Улучшение качества серпантины может быть достигнуто удлинением петли за счет удаления центра основной кривой. На рис. 189 показано такое удаление центра *M* от точки пере-

НБ УДУНТ (ДІІТ)

сечения основных прямых. Удлинение петли, как можно видеть из продольного профиля (рис. 190), дает возможность: 1) смягчить подъем на длине серпантины; в данном примере подъем уменьшается с 5 до 3,7%; 2) вставить переходные кривые.

Уменьшение объема работ на серпантине может быть достигнуто сближением полотна верхней и нижней ветви в самом узком месте посредством: а) удаления центра основной кривой (показано на рис. 189); б) приближением этого центра в некоторых случаях (рис. 191), с применением обратных кривых *К1* и *К2*, а также *К6* и *К7* на подходах к основной кривой *К4*.

Первое решение делает серпантину более спокойной, второе, наоборот, делает ее извилистой, что не удовлетворяет условиям движения с большой скоростью.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автомагистрали, назначение 8.

Блокирование колес 68.
Боксование колес 44. 45.
Бровка полотна 81, 98, 100, 152, 166, 167.

Ведущие колеса автомобилей 44.
Ведущие отметки насыпей 166.
Велодорожки 103, 104.
Велосипеды, габариты 104.
Вертикальные кривые 170—177.
Вертикальные кривые, радиусы 31, 32 174.
Вертикальные кривые, разбивка 171.
Видимость в плане 13?—150.
Видимость в вертикальной плоскости 31, 172—174.
Вилек 145.
Виражи 178—192.
Виражи, уклон односкатного профиля 179—181.
Виражи, разбивка 185—192.
Вогнутые вертикальные кривые 31, 176.
Возвышение насыпи над уровнем земли 166.
Возвышение насыпи над уровнем грунтовых вод 167.
Воронки песчаные 99.
Вращательная скорость 116, 198.
Вращательное ускорение 198.
Время хода автомобиля 69.
Выемки 89, 94,
Выпуклость проезжей части 85.
Выпуклые вертикальные кривые 170—175.
Высокие насыпи 93.
Высота насыпи 92.
Высота насыпи в зависимости от грунтовых вод и гидрологических условий 93, 1 0, 165.
Высота насыпи в заносимых местах 167.
Высота насыпи на мостах и трубах (см. также возвышение насыпи) 168, 169.

Габариты мостов 101.
Глубина выемок 92.
Гидрологические условия 97, 98, 165.
Глубина выемок в заносимых местах 167.
Глубина резервов 101.
Горная местность, проектная линия 110, 160—164.
Горные дороги, трасса 94, 110, 160—164.
Городские улицы 17—18.
График движения 69.
График скольжения и опрокидывания 122, 124.
График длин тормошения 67.
Грунтовые условия, проектная линия 98, 100, 151, 16?.
Грунты, крутизна откосов 93—95.
Гужевой транспорт 7?—73.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Гужевой транспорт, уклоны 73.
Гужевые пути 102.

Динамика автомобиля 33—70.
Динамика движения по кривым 116—120.
Динамическая характеристика автомобиля 49.
Длина вертикальной кривой 205.
Длина видимости 148–150, 171—173.
Длина переходной кривой 205.
Дороги общесоюзного значения 8—10.
Дороги областного значения 11, 12, 15.
Дороги местного значения 14.
Дороги пионерные 14.
Дороги республиканского значения 11.
Дороги районные 14—16.

Живая сила автомобиля. 46.

Занос автомобиля 121.
Заносы снежные 167.
Закругление, движение автомобиля 1 5, 116, 198.
Затяжные подъемы 63.
Земляное полотно вчерне 91,
Земляное полотно, откосы 93—96.
Земляное полотно, ширина 88—89.

Индикаторная работа двигателя 39,40.
Инерция, сила 47, 48.
Интервалы между машинами 22.

Кавальеры 106.
Канавы 97—100.
Качение колес 44, 45.
Кинематика движения на кривых 112—116.
Классификация дорог 31, 32.
Колеса ведущие 44.
Колеса направляющие 44.
Контрольные точки 108.
Коробовая спираль 197, 200. 201.
Корыто в полотне дороги 91.
Косая труба 127—129.
Косой мост 126—130.
Коэфициент сцепления продольного 46.
Коэфициент сцепления поперечного 119.
Коэфициент сопротивления качению 35.
Красная линия 152.
Кривые вертикальные 198—207.
Кривые вплане 108- 112.
Кривые переходные 198—207.
Кромка проезжей части 81, 185—191.
Крутизна откосов выемок 93
Крутизна откосов канав 99—100.
Крутизна откосов насыпей 93.
Кюветы 97, 99, 100.

Лемниската 203, 204.
Линия заграждения видимости 133—140.

Максимальный подъем 31, 58.
Минимальный радиус 31, 126.
Мосты, косые 126—130.
Мосты, отметка на подходах 168, 176.
Мото-велодорожки 103.
Мотор, работа 39, 40.
Мощность двигателя 39—43.

Нагрузка на повозку 72, 73.
Нагрузки расчетные 20.
Наибольший подъем 31, 58.
Наименьший радиус 31, 126.
Направляющие колеса 44.
Напряженность движения 22—24.
Насыпи, высота 42. 98, 100, 165.
Наклон виражей 179, 185—192.
Наклон поперечный проезжей части 84—86.
Насаждения на дорогах 103, 106,
Невысокие насыпи 89, 98, 100.
Несимметричные серпантины 214, 217, 221.

Обертывающая линия видимости 137, 139, 146.
Областные дороги 11, 12, 15.
Обочины 86, 87.
Обратные кривые 211.
Обтекаемость автомобиля 37.
Общесоюзные дороги 8—10.
Односкатный профиль 178—181.
Односторонние кривые 208.
Опрокидывание автомобиля 123-124.
Ось 28.
Отвол уширения 196, 197.
Отгон виража 182—192.
Отметки абсолютные 152.
Отметки красные 152.
Отметки кромки и бровки на вираже 185–191.
Отметки полотна над мостами и трубами 168.
Отметки проектные 152.
Отметки рабочие, насыпи и выемок 152.
Отметки черные 152.

Парабола кубическая 202.
Передаточное число автомобиля 41.
Передача от двигателя к колесу 40,
Переломы продольного профиля 156 159.
Пересеченная местность, проектная линия 158.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Переходные кривые 198—207.
Пионерные дороги 14.
План трассы 108—112.
Подъемы, определение 29—30.
Подъемы продольные 31. 58.
Подъемы, проходимые автомобилем 55. 62.
Повозки, вес 72, 73.
Подходы к мостам и высота насыпи путепровода 176—177.
Подходы вертикальные кривые 176—177.
Поезда на дорогах 74, 75, 77.
Полоса отвода 105.
Полоса движения 81, 82, 87,
Полоида 115.
Полувыемка 90.
Полунасыпь 90.
Поперечный профиль 81—107.
Поперечные уклоны проезжей части 84—86.
Поперечные уклоны виража 179. 185—192.
Прицепы к автомобилю и трактору 74—79.
Продольный профиль 151—169.
Продольный профиль, изображение 151.
Продольный уклон 29, 58, 59.
Продольный затяжной 63, 164.
Продольный исключительный 31, 62.
Продольный максимальный 31, 58.
Продольный промежуточный 61.
Проектная линия 152, 157—163, 165—167.
Проектная отметка 152.
Производительность автомобиля 26.
Просвет между кузовами 83.
Пропускная способность дороги 21.
Профиль поперечный 81—107.
Профиль продольный 151—169.
Путепроводы, высота насыпи 176—177.
Путепроводы, вертикальные кривые 176—177.
Прямая вставка между кривыми 210, 211.

Работа двигателя 39, 40.
Работа сопротивления 34—35.
Работоспособность дороги 24.
Рабочие отметки насыпей и выемок 153.
Равнинная местность, проектная линия 157. 166.
Радиоида 199.
Радиус основной, минимальный, расчетный рекомендуемый 31, 125, 126.
Радиусы вертикальных кривых 31, 32, 174.
Радиусы вертикальных вогнутых 31, 176.
Радиусы вертикальных выпуклых 31, 170—175.
Радиусы кривизны переходных кривых 199.
Радиусы расчетные 31, 125.
Разбивка вертикальных кривых 171.
Разбивка виража 185.
Разбивка переходных кривых 200.
Разделение полос 87, 88.
Разделительные площадки 164.
Районные дороги 14—16.
Расположение дороги в плане 108—131.
Расположение искусственных сооружений в плане 127—130.
Расстояние видимости 143—150, 172—173.
Расчетная нагрузка 20.
Расчетная скорость 19.
Расчетный радиус 31, 125.
Резервы 97. 101.
Резервы, глубина 101.
Рекомендуемый радиус закругления 31, 125.
Рулевое управление автомобиля 113, 114.

Сдвиг переходных кривых 208.
Сельскохозяйственные дороги 16, 17.
Серпантины 110, 210—222.
Сила инерции 47—48.
Сила тяги 38—42.
Скаты в поперечном профиле 85—86, 179.
Скольжение колес 45, 68, 122.
Скорость вращательная. 116, 198.
Скорость расчетная 19.
Скорость фактическая 51, 52.
Смягчение уклонов на кривых 157.
Снежные заносы, высота насыпей, глубина выемок 167.
Сопротивление воздуха 37.
Сопротивление движению 34—38.
Сопротивление качению 35.
Сопряжение кривых 208—211.
Спираль коробовая 200—201.
Спираль, общее уравнение 199.
Спуски 63.
Стрела выпуклости проезжей части 85.
Сцепление колес с дорогой 43—46 119.
Сцепной вес автомобиля 46.
Схемы видимости в плане 143, 145.
Схема видимости в продольном профиле 172—174.

Технические условия автомобильных дорог 31.
Технические условия дорог местного значения 32.

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Технический продольный профиль 151—152.
Технические нормативы 30, 31.
Тормозной путь 67.
Торможение 65.
Траектория движения автомобиля на кривых 115—116.
Тракторная тяга 74—76.
Тракторные пути 102.
Транспортная производительность автомобиля 26.
Трасса дороги, определение 108.
Трасса дороги в плане 108—110.
Трасса дороги в горной местности 94, 110, 160—164.
Трасса дороги в пересеченной местности 158.
Трасса дороги в равнинной местности 109, 157, 166.
Трубы, высота насыпи 168—169.
Трубы косые 127—129.
Тяга на дорогах 33—80.
Тягачи 74, 75.

Уклоны, определение 29—30.
Уклоны поперечные проезжей части 86.
Уклоны поперечные, на виражах 179—181.
Уклоны наибольшие 58—59, 153.
Уклоны продольные 29, 58—59.
Улицы городские 17, 18.
Уравнение движения автомобиля 46.
Ускорение автомобиля 47, 53.
Ускорение автомобиля вращательное 198.
Уширение на кривых 193—197.

Холмистая местность (см. пересеченная).

Центробежная сила 116—124.
Центроида 115.

Черная линия 152.
Четырехполосная дорога 81, 82.

Шаг проектирования 156.
Ширина земляного полотна 31, 81, 86, 87.
Ширина обочин 86, 87.
Ширина полосы отвода 105.
Ширина проезжей части 81—84.

Эксплоатационные показатели дорог 19.

Ящик в земляном полотне 91.

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава I. **Классификация дорог. Эксплоатационные показатели** 5

1. Современная дорожная сеть в СССР и в капиталистических странах 5
2. Деление дорог в СССР . . . 8
3. Дороги общесоюзного значения 8
4. Дороги республиканского и областного значения 11
5. Дороги местного значения 14
6. Городские улицы 17
7. Эксплоатационные показатели работы дорог 19
8. Расчетная скорость . 19
9. Расчетная нагрузка . . . 20
10. Пропускная способность дорог 21
11. Напряженность движения . 22
12. Работоспособность дороги 24
13. Производительность работы автомобилей 25
14. Изображение дороги в трех проекциях: плане, продольном и поперечном профиле 27
15. Понятие об уклоне 28
16. Классификация и технические условия для дорог общесоюзного и местного значения . 30

Глава II. **Тяга на дорогах. Значение уклонов** 33

17. Динамика автомобиля . . 33
18. Сопротивление движению 34
19. Сила тяги 38
20. Сцепление колес автомобиля с дорогой 43
21. Уравнение движения автомобиля 46
22. Скорости и ускорения 51
23. Подъемы, проходимые автомобилем в зависимости от скорости и условий сцепления 55
24. Промежуточные, исключительные и затяжные подъемы 61
25. Движение автомобиля на спусках. Торможение 63
26. Значение уклонов для гужевого транспорта 70
27. Значение уклонов для тягачей и прицепов 74
28. Общие выводы о значении подъемов со строительной и транспортной точек зрения . 78

Глава III. **Поперечный профиль дороги** 87

29. Ширина проезжей части 81
30. Поперечные уклоны проезжей части 84
31. Обочины 86
32. Разделение полос проезжей части 87
33. Ширина земляного полотна. Насыпи и выемки 88

НБ УДУНТ (ДИТ)

Стр.

34. Крутизна откосов насыпей и выемок . 93
35. Кюветы, резервы и их очертание 97
36. Габариты мостов . . . 101
37. Гужевые и тракторные пути . 102
38. Мотовелодорожки и тротуары . . 103
39. Насаждения на дорожной полосе . 103
40. Полоса отвода 105

Глава IV. **Расположение дороги в плане** . 108

41. Прямые и кривые 108
42. Движение автомобиля по кривой (кинематика движения) 112
43. Зависимость радиуса закругления от скорости 116
44. Условия обеспечения безопасности автомобиля против скольжения и опрокидывания 121
45. Рекомендуемые и минимальные радиусы закруглений . 124
46. Расположение искусственных сооружений в плане 127

Глава V. **Видимость дороги в плане** 132

47. Обеспечение видимости на закруглениях 132
48. Геометрические условия обеспечения видимости при заданном расстоянии 133
49. Расчетные схемы видимости на закруглениях, в плане и в поперечном профиле дороги . 141
50. Определение расстояния видимости 148

Глава VI. **Продольный профиль** 151

51. Изображение технического продольного профиля . 151
52. Наибольший продольный уклон 153
53. Переломы продольного профиля. Шаг проектирования . 156
54. Смягчение уклонов на закруглениях 157
55. Проложение проектной линии в равнинной местности . . 157
56. Проложение проектной линии в пересеченной местности 158
57. Проложение проектной линии в горной местности 160
58. Разделительные площадки 164
59. Назначение высоты насыпи в зависимости от грунтовых и гидрологических условий 165
60. Назначение высоты насыпи в местах, подверженных снежным заносам 167
61. Назначение высоты насыпи на подходах к мостам и над трубами 168

Глава VII. **Вертикальные кривые** 170

62. Зависимость длины кривой от величины радиуса и разности уклонов 170
63. Схемы видимости в продольном профиле и назначение радиусов выпуклых вертикальных кривых 172
64. Условия движения и назначение радиусов вогнутых кривых . 176
65. Применение вертикальных кривых на подходах к мостам и путепроводам . 176

Глава VIII. **Детали устройства дорог на закруглениях (виражи, переходные кривые, серпантины)** 178

66. Общая схема виража 178
67. Величина поперечных уклонов виража 179
68. Отгон виража 182
69. Разбивка виража (построение поперечных профилей) 185
70. Уширение проезжей части на закруглениях 193
71. Переходные кривые . 198
72. Радиоида 199

НБ УДУНТ (ДІІТ)

Стр.

73. Коробовая спираль . 200
74. Кубическая парабола . 202
75. Лемниската 203
76. Сравнение переходных кривых . 204
77. Длина переходной кривой . . 205
78. Разбивка переходных кривых . . 206
79. Односторонние и обратные кривые . 208
80. Серпантины . 212

Алфавитный указатель 222

3797

Цена 4 р. 30 к. Переплет 1 р. 50 к.

Отв. редактор *Н. П. Ермолов* Техн. редактор *Б. В. Воронецкий*
Корректор *Т. А. Хватова*

Книга сдана в набор 8/VIII 1938 г. Подписана к печати 25/VIII 1938 г.

Леноблгорлит № 3136. Издат. № 207. Тираж 4000. Индекс К—11.
Заказ № 3586. Бумага 60 × 92 см. (1/16). Бум. л. 7,13. + 1 вклейка Печ. л. 14,25 + 1 вклейка. Авт. л. 16,27. Уч.-авт. л. 17,19. 46300 зн. в 1 печ. л.

2-я фабрика детской книги Детиздата ЦК ВЛКСМ, Ленинград. 2 Советская, 7.

УДУНТ (ДІТ) НБ

Сканували: Петренко О.А.
Покровська Т.В.

НБ
УДУНТ
(ДІІТ)