ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Г.А. Федотов, П.И. Поспелов

Изыскания и проектирование автомобильных дорог

Книга 2

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Г.А. Федотов, П.И. Поспелов

Изыскания и проектирование автомобильных дорог

Книга 2

Допущено
УМО вузов Российской Федерации
по образованию в области железнодорожного
транспорта и транспортного строительства
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Автомобильные дороги и аэродромы»
направления подготовки «Транспортное строительство»

Москва «Высшая школа» 2010

УДК 625
ББК 39.311
Ф 34

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. *Б.Ф. Перевозников*; д-р техн. наук, проф. *В.В. Сильянов* (кафедра изысканий и проектирования дорог Московского автомобильно-дорожного института — Государственного технического университета)

Федотов Г.А.

Ф 34 Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 2: Учебник/Г.А. Федотов, П.И. Поспелов. — М.: Высш. шк., 2010. — 519 с.: ил.

ISBN 978-5-06-006057-7

В книге 1 (2009) учебника изложены общие основы изысканий и проектирования автомобильных дорог.

В книге 2 представлены современные методы гидрологических, гидравлических и русловых расчетов при обосновании генеральных размеров сооружений мостовых переходов, современная технология проектирования автомобильных дорог и мостовых переходов на уровне САПР-АД с использованием компьютерной техники и средств автоматизации. Даны методы оценки проектных решений при проектировании автомобильных дорог и современные методы экономического обоснования инвестиций в дорожное строительство. Представлены современные технологии и методы изысканий автомобильных дорог и мостовых переходов. Изложены особенности методов изысканий и проектирования автомобильных дорог в сложных природно-климатических условиях РФ: в районах распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов, в заболоченной местности, в районах склонной эрозии и оврагообразования, в закарстованных, горных и засушливых районах. А также особенности проектирования автомагистралей, городских улиц и дорог.

Для студентов автодорожных и строительных вузов и факультетов. Может быть использован студентами техникумов и колледжей, а также инженерно-техническими работниками проектно-изыскательских организаций и фирм.

УДК 625
ББК 39.311

ISBN 978-5-06-006057-7(кн. 2) © ОАО «Издательство «Высшая школа», 2010
ISBN 978-5-06-005760-7

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В книге 1 настоящего учебника (2009) изложены основы современной технологии и методов изысканий и проектирования автомобильных дорог и их основных элементов: плана трассы, продольного профиля, пересечений и примыканий автомобильных дорог в одном и разных уровнях, оборудования и обустройства дорог; используемые в настоящее время в практике проектно-изыскательских дорожных организаций и фирм РФ системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них CAD «Credo» и «IndorCAD/Road»; научно обоснованные методы проектирования системы поверхностного и подземного дорожного водоотвода и отверстий малых мостов и водопропускных труб; современные методы проектирования земляного полотна, а также нежестких и жестких дорожных одежд.

В книге 2 представлены современные методы изысканий и проектирования мостовых переходов: общие сведения о реках и особенности проектирования мостовых переходов через реки с различным типом руслового процесса; современные методы гидрологических и морфометрических расчетов; дан универсальный аналитический метод определения расчетных (заданной вероятности превышения) гидрологических величин — расчетных уровней и расходов воды, скоростей ветра, толщин снега и льда, осадков и т.д.; представлена универсальная комплексная методология (математическая модель) автоматизированного проектирования мостовых переходов; в полном объеме изложены методы упрощенных расчетов мостовых переходов — общего и местного размывов, боковых деформаций русел и отверстий мостов, характерных подпоров и т.д., полученные на основе обобщения огромного по объему натурного материала и материалов математического моделирования; даны современные методы

проектирования подходов к мостам, регуляционных и защитных сооружений.

Одним из важнейших и обязательных элементов технологии современного системного автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них является оценка вариантов получаемых проектных решений по многообразному набору важных показателей с последующей корректировкой неудачных проектных решений. Поэтому в учебнике представлены методы оценки вариантов проектных решений по следующей системе основных показателей: объемам строительных работ и сметной стоимости строительства; предельной пропускной способности дорог и уровням загрузки движением; средним скоростям расчетного транспортного потока; максимальным скоростям расчетного автомобиля; степени загрязнения придорожной полосы соединениями свинца, выбросами автомобильного транспорта, транспортным шумом; степени обеспечения безопасности движения.

Рассмотрены современные принципы организации проектирования автомобильных дорог: особенности современной технологии проектирования автомобильных дорог, радикально отличной от традиционной; новые стадии проектирования — обоснование инвестиций (ОИ), инженерный проект (ИП), рабочая документация (РД), рабочий проект (РП); состав проектно-сметной документации; особенности оформления проектной документации.

Представлены принятые в настоящее время в России новые методы и структура экономического обоснования инвестиций (ОИ) в строительство автомобильных дорог: методы прогноза перспективного состава транспортного потока и перспективной интенсивности движения; оценки инвестиционной эффективности проектов; процедуры учета неопределенностей при обосновании инвестиций; особенности учета элементов затрат-выгод инвестиционных проектов.

В последние годы претерпели радикальные изменения технология и методы сбора информации о местности при изысканиях автомобильных дорог, регистрации и обработки данных. Технология изысканий автомобильных дорог при проектировании на уровне САПР-АД в отличие от традиционной основана на использовании следующих принципов: широкое применение ГИС-технологий; сбор изыскательской информации в пределах обоснованной широкой полосы варьирования конкурентоспособных вариантов трассы; широкое использование методов аэрокосмических изысканий, методов воздушного и наземного лазерного сканирования местности, электронной тахеометрии, геофизических методов инженерно-геологической разведки и методов спутниковой навигации (спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС). Новая информация в необходимом объеме нашла отражение в этой книге.

Соответствующие изменения претерпели технология и методы изысканий мостовых переходов, в частности, получили распространение методы аэрогидрометрии.

Учитывая, что инвестирование дорожного строительства в настоящее время идет по пути главным образом реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог, в учебнике особое внимание уделено рассмотрению технологии и методов изысканий и разработки проектов реконструкции автомобильных дорог.

На огромной территории России приходится проектировать, строить и эксплуатировать дороги в самых разнообразных природно-климатических условиях.

В частности, 65% территории РФ занимают вечномерзлые (ВМГ) и многолетнемерзлые (ММГ) грунты, проектирование, строительство и эксплуатация дорог в пределах которых требуют обязательного учета специфики этих районов, игнорирование которой всегда приводит к тяжелейшим экономическим потерям. В связи с этим в данной книге представлены: дорожно-климатическое районирование зоны вечной мерзлоты, особенности изысканий дорог в районах распространения ВМГ и ММГ, принципы проектирования и строительства автомобильных дорог на вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтах, конструкции земляного полотна дорог и системы дорожного поверхностного водоотвода, особенности проектирования дорог на наледных участках местности.

Разнообразие природно-климатических условий территории РФ предъявляет определенные специфические требования к проектированию автомобильных дорог в районах распространения болот, склоновой эрозии и оврагообразования, распространения карстовых явлений, в пересеченной и горной местности, в засушливой и пустынной местности.

Происходящий в стране закономерный процесс интенсивной автомобилизации и роста транспортных потоков на дорогах требует строительства автомобильных дорог все более высоких категорий и в том числе многополосных, скоростных дорог — автомагистралей, особенности проектирования которых представлены в настоящей книге.

Городские дорожно-уличные сети строятся и функционируют в стесненных условиях плотной городской застройки и должны быть предназначены для обслуживания не только обычных транспортных потоков, но и городского пассажирского транспорта: автобусов, троллейбусов, трамваев и т.д. Основы проектирования городских улиц и дорог, перекрестков и площадей, городских транспортных развязок, поверхностного водоотвода в городах и населенных пунктах и т.д. также представлены в настоящей книге.

Раздел седьмой
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

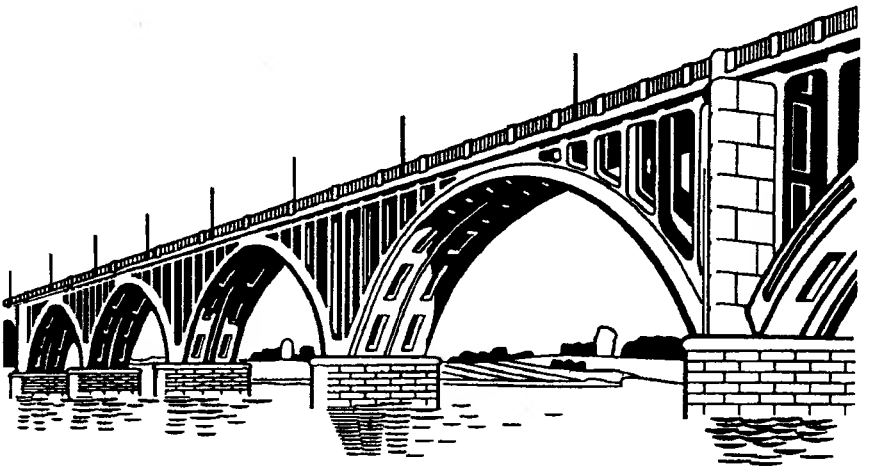
Глава 26
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕРЕХОДАХ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

26.1. Виды переходов через водотоки

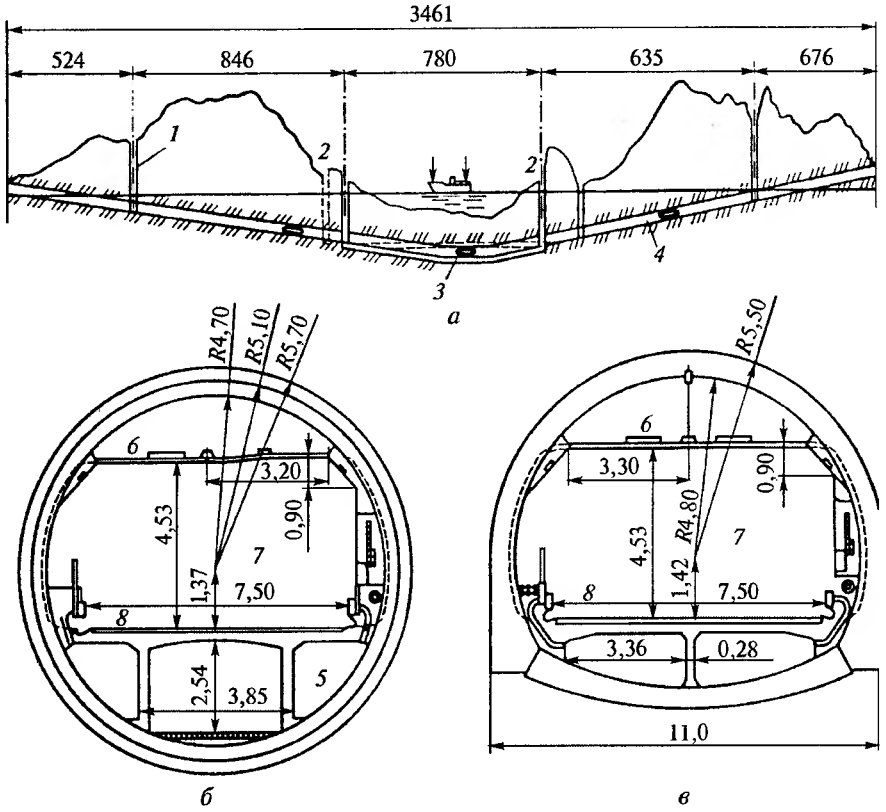
Автомобильные дороги пересекают многочисленные периодические и постоянные водотоки: суходолы, ручьи, речки, реки, пруды и водохранилища.

Для перехода через водные преграды строят систему инженерных сооружений, называемую *переходом водотока.*

Переходы через водотоки классифицируют по типам основного искусственного сооружения. Для непосредственного пересечения водотока могут быть построены: *постоянный мост* — сооружение, пропускающее дорогу надводным препятствием (рис. 26.1); *транспортный тоннель* — сооружение, пропускающее дорогу под водным



Р и с. 26.1. Постоянный мост

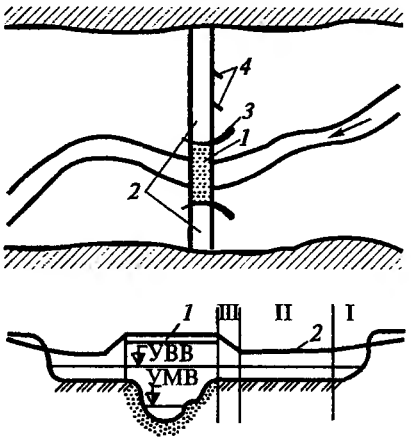


Р и с. 26.2. Транспортный тоннель:

а — продольный профиль тоннельного перехода; *б* — поперечный профиль подводного участка; *в* — поперечный профиль сухопутного участка; *1* — шахта; *2* — пионерная шахта и штольня; *3* — пешеходный проход; *4* — тоннель для автотранспорта; *5* — вентиляционные каналы; *6* — вытяжной канал; *7* — проезжая часть; *8* — покрытие

препятствием (рис. 26.2); *наплавной мост,* пропускающий дорогу по понтонам в течение значительной части года с положительными температурами; *паром* — подвижное специальное плавсредство, предназначенное для перевозки автомобилей и автопоездов через водное препятствие; *ледовая переправа* — временное сооружение, пропускающее дорогу по льду и являющееся заменой наплавному мосту или парому в зимнее время.

Мостовой переход — это часть автомобильной дороги, представляющая собой комплекс сооружений (рис. 26.3), состоящий: из моста, пересекающего собственно водоток; подходов к мосту — непере-

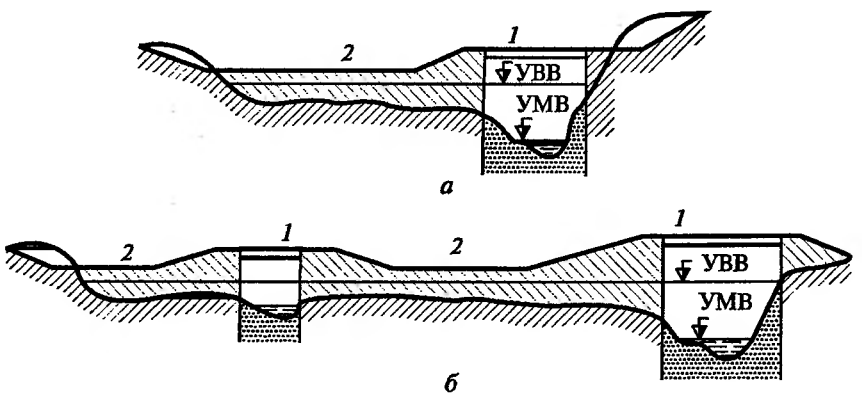


Р и с. 26.3. План и продольный профиль мостового перехода:

1 — мост; *2* — подходы к мосту; *3* — струенаправляющие дамбы; *4* — струеотбойные траверсы; I—III — характерные участки продольного профиля

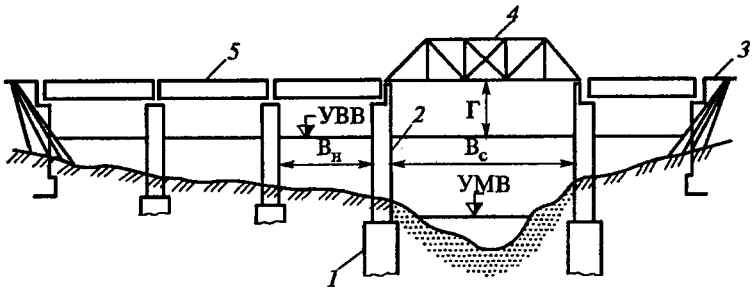
ливаемых насыпей с укрепленными откосами, периодически подтапливаемых паводковыми водами; регуляционных и защитных сооружений, призванных защищать сооружения транспортного назначения — мост и подходы от вредного воздействия водного потока.

Мост и подходы к нему являются основными сооружениями транспортного назначения, по которым осуществляется круглогодичное движение транспортных потоков. Регуляционные и защитные вспомогательные сооружения являются неотъемлемой частью мостового перехода, без которых в большинстве случаев невозможно обеспечить сохранность и нормальную работу основных сооружений перехода.



Р и с. 26.4. Продольный профиль мостового перехода:

а — с одним мостом; *б* — с двумя мостами; *1* — мост; *2* — подходы



Р и с. 26.5. Постоянный мост через реку:

1 — фундамент опоры; *2* — опора моста; *3* — береговой устой; *4* — металлическое пролетное строение с ездой понизу; *5* — железобетонное пролетное строение с ездой поверху

Для обеспечения круглогодичного проезда транспортных потоков мосты и подходы к ним устраивают, как правило, незатопляемыми (рис. 26.4, *а*).

На реках с большой шириной разлива в паводки нередко кроме основного моста, перекрывающего главное русло реки, дополнительно устраивают один или несколько мостов на пойме (рис. 26.4, *б*).

Опоры мостов сооружают обычно из сборного или сборно-монолитного железобетона (рис. 26.5), а пролетные строения с ездой поверху или понизу делают металлическими, сталежелезобетонными или железобетонными.

Опоры мостов фундируют на безопасную глубину с учетом неизбежных понижений отметок дна подмостового русла (размывов). Проектные высоты проезда по насыпям подходов и пролетам мостов должны обеспечивать мостовые переходы от переливов в высокие паводки и обеспечивать беспрепятственный пропуск судов под судоходными пролетами.

Насыпи подходов и регуляционных сооружений подвержены вредному воздействию водного потока (волнобой, ледоход, продольные течения) и поэтому их откосы и подошвы укрепляют специальными защитными сооружениями (плоские сборные железобетонные или бетонные монолитные покрытия, каменные призмы — рисбермы и т.д.).

26.2. Расчеты, выполняемые при проектировании мостовых переходов

Мостовым переходам угрожают: подтопление паводковыми водами, волнобой, ледоход, карчеход, продольные течения с верховой стороны насыпей подходов, природные русловые деформации, об-

щий размыв от стеснения потока подходами, местный размыв у передних граней опор и голов регуляционных сооружений.

Мостовые переходы должны удовлетворять целому ряду требований и прежде всего должны обеспечивать беспрепятственный пропуск транспортных потоков в любое время года, быть устойчивыми в течение всего расчетного срока службы, т.е. противостоять разрушающему действию паводков и быть устойчивыми при русловых деформациях: природных, общих и местных.

Определенные требования предъявляют к мостовым переходам по обеспечению необходимых условий судоходства. Должны быть выдержаны минимальные подмостовые габариты при расчетных судоходных уровнях воды, а также выполнены требования, при которых не будут нарушаться условия прохождения судов в паводки из-за увеличения скоростей течения в русле на участке влияния перехода при высоких уровнях и в межень после паводков в результате занесения судоходных прорезей продуктами размыва. Строительство мостовых переходов не должно приводить к подтоплению или разрушению других хозяйственных объектов, населенных пунктов, коммуникаций и т.д. Кроме того, общая строительная стоимость мостовых переходов по возможности должна быть минимальной.

При проектировании мостовых переходов, как правило, решают две взаимосвязанные группы вопросов: назначение таких генеральных размеров сооружений мостового перехода, которые обеспечили бы его безаварийную работу в течение всего расчетного срока службы, и прогноз вредных последствий мостового строительства, связанных с неизбежным нарушением бытового режима водотока.

Гидрологические, гидравлические и русловые расчеты мостовых переходов представляют собой одну из наиболее сложных и ответственных частей проектов, поскольку во многом определяют не только их генеральные размеры (отверстия мостов, глубины фундирования опор, размеры искусственных уширений подмостового русла, размеры струенаправляющих дамб, отметки бровок земляного полотна на подходах и отметки проезда на мостах, конструкции и размеры укрепительных сооружений и т.д.), но и дают возможность оценить те вредные последствия, которые будут иметь место в ходе эксплуатации мостовых переходов вследствие нарушения бытового режима протекания речного потока (ухудшение условий судоходства на участках русел рек, прилегающих к мостовому переходу, размывы переходов коммуникаций, подтопление окружающей местности, ухудшение условий работы других инженерных сооружений на реках и т.д.).

Гидравлические и русловые расчеты до недавнего времени выполняли исключительно на основе предположения об установив-

шемся характере течения паводкового потока, т.е. по некоторому расчетному уровню и расходу лишь для створа самого моста. Такой подход к расчетам вынуждал ориентироваться на некоторые предельные значения русловых деформаций, нередко недостижимых на реальных водотоках, а также рассматривать ряд взаимно влияющих друг на друга явлений (например, деформации свободной поверхности потока и деформации русел) раздельно.

При проектировании мостовых переходов часто возникают важные инженерные задачи, которые вообще не могут быть решены с использованием уравнений установившегося течения речного потока, например прогноз условий судоходства, прогноз размывов переходов коммуникаций, расположенных в верхних или нижних бьефах мостовых переходов, и т.д. Поэтому переход на компьютерные методы математического моделирования мостовых переходов на основе решения в конечных разностях строгих дифференциальных уравнений баланса наносов и неустановившегося течения жидкости (представляющих собой математическую запись самых общих законов природы — законов сохранения материи, энергии и количества движения) оказался неизбежным.

При проектировании мостовых переходов, как правило, возникает необходимость выполнения комплекса сложных и трудоемких гидрологических, морфометрических, гидравлических и русловых расчетов.

Гидрологические расчеты — это прежде всего определение расходов и соответствующих им уровней воды расчетной вероятности превышения (ВП). Величины ВП обычно нормируют в зависимости от типа искусственного сооружения и категории дороги. Ежегодные колебания расходов и уровней воды, несмотря на их опосредованную связь с ходом солнечной активности (5—6-летними, 11-летними, 22-летними, 44-летними, 88—89-летними (вековыми) гармониками хода солнечной активности), все же подчиняются законам больших чисел, поэтому для вычисления расчетных расходов и соответствующих им уровней используют уравнения теории вероятностей, а саму вероятностную обработку непрерывных рядов наблюдений за максимальными годовыми расходами и уровнями воды осуществляют на компьютерах.

Для комплексного проектировании мостовых переходов, особенно в рамках систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них (САПР-АД), необходимо знание не только наивысших годовых расходов и уровней заданной ВП, но и ход их во времени — расчетных гидрографов и водомерных графиков паводков. При детальных комплексных компьютерных расчетах мос-

товых переходов нередко используют всю совокупность паводков в наблюдаемой на водомерных постах последовательности с пропуском паводка расчетной ВП в наиболее напряженный период работы мостового перехода.

Морфометрическими расчетами определяют расходы и скорости течения с использованием уравнения равномерного течения жидкости по известным морфологическим и геометрическим характеристикам расчетного сечения долины реки (морфоствора).

Морфометрические расчеты необходимы для установления расчетного уровня воды по известному расчетному расходу (как правило, в тех случаях, когда на водотоке отсутствуют систематические гидрометрические наблюдения за расходами и соответствующими им уровнями на водомерных постах), иногда для определения расхода воды по зафиксированному на местности уровню воды и, наконец, самое главное, для оценки распределения расчетного расхода между элементами живого сечения долины реки (руслом и поймами) в створе мостового перехода. Величина распределения расчетного расхода — одна из самых важных гидравлических характеристик створа мостового перехода, которая в конечном итоге во многом определяет генеральные размеры всех его сооружений. Учитывая возможность появления ощутимой погрешности и, следовательно, необходимость введения гарантийных запасов устойчивости сооружений, к морфометрическим расчетам прибегают лишь при невозможности проведения гидрометрических наблюдений или их недостаточном объеме.

Всегда целесообразно производить гидрометрические наблюдения в створе мостового перехода, особенно при высоких уровнях воды, с последующим построением натурной кривой расходов $H = f(Q)$. Затраты на производство гидрометрических работ, как правило, с лихвой окупают себя на снижении строительной стоимости и последующих эксплуатационных расходах.

Расчет отверстия моста — это определение рациональной величины отверстия моста и глубины фундирования опор. Назначая величину отверстия или (что более правильно) определяя ее расчетом, нужно учитывать неизбежные природные деформации русел, которые всегда имеют место на реках в бытовых условиях и часто усиливаются после строительства мостовых переходов.

Необходимо также прогнозировать закономерные боковые деформации русел (их уширения), связанные со стеснением паводкового потока подходами к мостам, т.е. с искусственным изменением величин руслоформирующих расходов на участках влияния мостовых переходов. При этом отверстие моста назначают, как правило, не меньше величины нового уширенного русла.

При назначении глубин фундирования опор моста прогнозируют те наибольшие глубины общего размыва, которые могут развиться в один из наиболее напряженных периодов работы мостового перехода в течение расчетного срока его службы. Прогноз глубинных деформаций русел и фундирование опор осуществляют обязательно с учетом природных русловых деформаций, которые приводят к дополнительному углублению русла, а также боковых деформаций — естественных или искусственных (срезок пойменных берегов), существенно ограничивающих развитие глубинных размывов.

Местные размывы, развивающиеся у передних граней опор и голов регуляционных сооружений, являются следствием нарушения локальной гидравлической структуры потока этими элементами мостового перехода и приводят к дополнительному увеличению глубин в русле и на поймах. Глубины местного размыва, вычисляемые обычно по эмпирическим или теоретико-эмпирическим зависимостям, обязательно учитывают при обосновании размеров сооружений мостовых переходов.

Таким образом, минимальные размеры отверстий мостов часто определяются возможными боковыми деформациями русел под мостами (естественными или искусственными уширениями русел), а глубины фундирования опор — природными, общими (глубинными) и местными деформациями.

Расчет судоходного уровня (РСУ) — одна из наиболее ответственных задач, которую всегда приходится решать при проектировании мостовых переходов через судоходные реки. Этот расчет, с одной стороны, устанавливает тот наивысший уровень, при котором еще возможны под мостом проходы судов с заданными высотными габаритами, и с другой, — абсолютные высоты низа конструкций пролетных строений, высоты опор и уровни проезда на мосту и подходах. Элементы расчета судоходного уровня, минимальные длины и количество судоходных пролетов, а также высоты подмостовых габаритов нормирует ГОСТ 26775—97[1] в зависимости от класса судоходной реки.

Проектирование продольного профиля подходов к мосту осуществляют с учетом тех минимальных отметок бровок земляного полотна, при которых не будет переливов через насыпь даже в самые высокие паводки. Требование о недопущении переливов обычно предъявляют также и к струенаправляющим дамбам и траверсам. Минимальные высоты бровок земляного полотна подходов, струенаправляющих дамб и траверсов определяют прежде всего по высоте бытового уров-

[1] Мосты внутренних водных путей. Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов и основные требования к расположению мостов. ГОСТ 26775—97. М., 1997.

ня воды в реке расчетной ВП, величине подпора в данном месте насыпи, возможной высоте набега волны на откос и по нормируемым конструктивным запасам, принимаемым большими для сооружений транспортного назначения (насыпей подходов) и меньшими для вспомогательных сооружений (струенаправляющих дамб и траверсов).

Высоту расчетного уровня воды заданной вероятности превышения (ВП = р%) $РУВВ_{р\%}$ определяют гидрологическими расчетами. Для определения величин подпоров в любом месте насыпи строят кривые свободной поверхности потока с верховой и низовой сторон насыпей, а также со стороны речных откосов струенаправляющих дамб с использованием уравнения неравномерного течения жидкости.

Определение возможной высоты набега волны на откосы также поддается аналитическим расчетам.

Проектирование регуляционных и защитных сооружений — струенаправляющих дамб, траверсов, полузапруд, спрямлений и уширений русел, укреплений — сопровождают специальными расчетами. Ориентировочные размеры струенаправляющих дамб и траверсов рассчитывают аналитически. Эти размеры в дальнейшем корректируют в зависимости от конкретных особенностей места перехода, учитывают также опасные местные размывы, развивающиеся у голов струенаправляющих дамб, траверсов, полузапруд. Укрепления откосов и подошв насыпей рассчитывают на ледовые воздействия, волнобой, продольные течения и местные размывы.

Размеры спрямлений русел определяют из условия их наименьшей деформируемости во времени.

Размеры и плановые контуры искусственных уширений подмостовых русел — срезок устанавливают из условия их незаносимости в течение длительного периода времени, а также из условия плавного подвода воды и наносов под мост и их отвода.

Решение специальных инженерных задач при проектировании мостовых переходов часто возникает в связи с необходимостью учета их взаимодействия с другими гидротехническими сооружениями, расположенными в пределах зоны влияния (другими мостовыми переходами, плотинами, переходами коммуникаций, русловыми карьерами грунта и т.д.), а также с необходимостью оценки вредного влияния мостовых переходов на другие стороны хозяйственной деятельности.

Наиболее часто необходимы расчеты взаимодействия мостовых переходов с другими гидротехническими сооружениями, прогноз изменения условий судоходства на участках русел рек у мостовых пере-

ходов, прогноз размывов переходов коммуникаций, оценка подтопления вышележащей местности и т.д.

При решении перечисленных задач рассматривают протекающие на мостовых переходах процессы на участках русел рек значительной протяженности выше и ниже створа перехода и за многолетний период времени. Эти расчеты выполняют на компьютерах с использованием комплексных методологий и программ, представляющих собой математические модели процессов, развивающихся на мостовых переходах.

26.3. Краткие сведения о реках. Речные долины и русла рек

Осадки, выпадающие на земную поверхность в виде снега и дождей, а также вода, образующаяся при таянии ледников, дают начало быстрому, элементарному поверхностному и относительно медленному подземному стоку.

Поверхностный сток, берущий начало вблизи водоразделов, по мере слияния отдельных струек и ручейков формируется в большие ручьи, а затем в речки и реки, протекающие по речным долинам.

Речные долины — это относительно узкие углубления земной поверхности, образованные в результате тектонических деформаций и деятельности ледников, а также последующего формирования под действием непрерывно текущей воды.

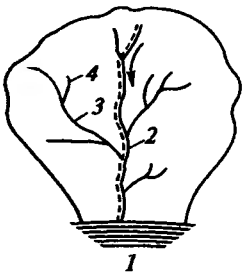
Территорию, с которой происходит слив воды в реку, называют *бассейном*.

Совокупность последовательно сливающихся ручьев, речек и рек, образующих все более крупные водотоки, называют *речной системой* (рис. 26.6).

В речной системе можно выделить главную реку, впадающую в море или в бессточное озеро, и последовательность притоков различного порядка.

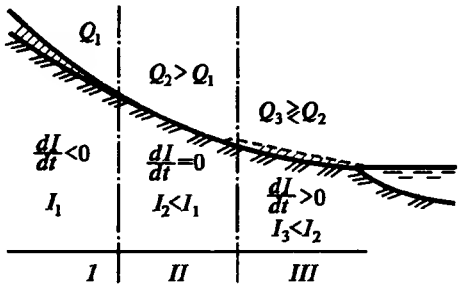
Несмотря на то, что поверхностный сток происходит только периодически, сток большинства рек круглогодичен, поскольку опорожнение бассейна, периодически пополняемого новыми осадками, происходит в течение длительного отрезка времени. Кроме того, реки непрерывно (в том числе и в зимние периоды времени) подпитываются подземным стоком.

Для годового цикла речного стока характерна существенная неравномерность с периодами минимального и максимального стока. Кроме того, речной сток не остается неизменным и год от года. При этом в течение каждого века маловодные периоды сменяют много-



Р и с. 26.6. Речная система:

1 — море; *2* — главная река; *3* — притоки 1-го порядка; *4* — притоки 2-го и других порядков



Р и с. 26.7. Характерные зоны (*I—III*) долины главной реки

водные, что связано с опосредованным влиянием цикличности солнечной активности на циркуляцию околоземной атмосферы.

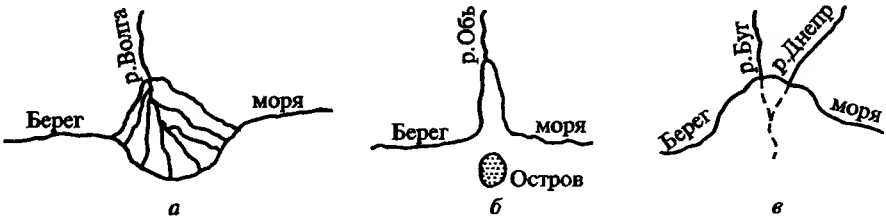
Вдоль долины главной реки в каждой речной системе могут быть выделены три характерные зоны (рис. 26.7): *I* — зона эрозии с наибольшими продольными уклонами (верховья рек), характеризуется систематическим выносом наносов с постепенной врезкой дна русла в коренные породы; *II* — зона транзита в среднем течении рек, характеризуется постоянством уклонов и средних высот дна русла; *III* — зона аккумуляции (устья рек), отличается избыточным поступлением наносов, обеспечивающим систематическое наращивание высот дна.

В зоне эрозии под действием расхода Q_1 происходит процесс врезки реки в коренные породы с соответствующим выносом наносов на нижележащие участки. Дно медленно понижается с соответствующим уменьшением уклонов I_1. Врезка заканчивается там, где уклон долины настолько мал, что река уже не может размывать коренные породы.

В зоне транзита уклоны и высоты дна не меняются, идет транзит наносов. В связи с увеличением площади водосбора растет величина расхода $Q_2 > Q_1$, а уклон реки оказывается меньше, чем в зоне эрозии $I_2 < I_1$.

В зоне аккумуляции речной поток не в состоянии переносить все поступающие сверху наносы, поэтому река, постепенно наращивая высоты дна и уровни воды, создает повышенный уклон I_3. Расход воды может возрастать $Q_3 \geq Q_2$ в связи с ростом площади водосбора, но может и уменьшаться $Q_3 \leq Q_2$ в связи с отсутствием притоков на устьевом участке и распластыванием паводка.

Устья главных рек бывают разных типов.



а *б* *в*

Р и с. 26.8. Характерные устья главных рек:

а — дельта: *б* — губа: *в* — лиман

Дельта (от греческой буквы Δ) — устья рек, впадающих в бессточные озера, либо моря с незначительными приливно-отливными явлениями (р. Волга) (рис. 26.8, *а*).

Губа — устья рек, впадающих в приливно-отливные моря и океаны (р. Обь) (рис. 26.8, *б*). Губа непрерывно растет вверх по течению вследствие размывов дна, происходящих в связи с резкими отливами. В море (океане) напротив губы обычно формируется остров, сложенный продуктами размыва русла реки при формировании губы.

Лиман — устья рек, образовавшиеся в результате геологических катастроф (реки Днепр и Буг) (рис. 26.8, *в*).

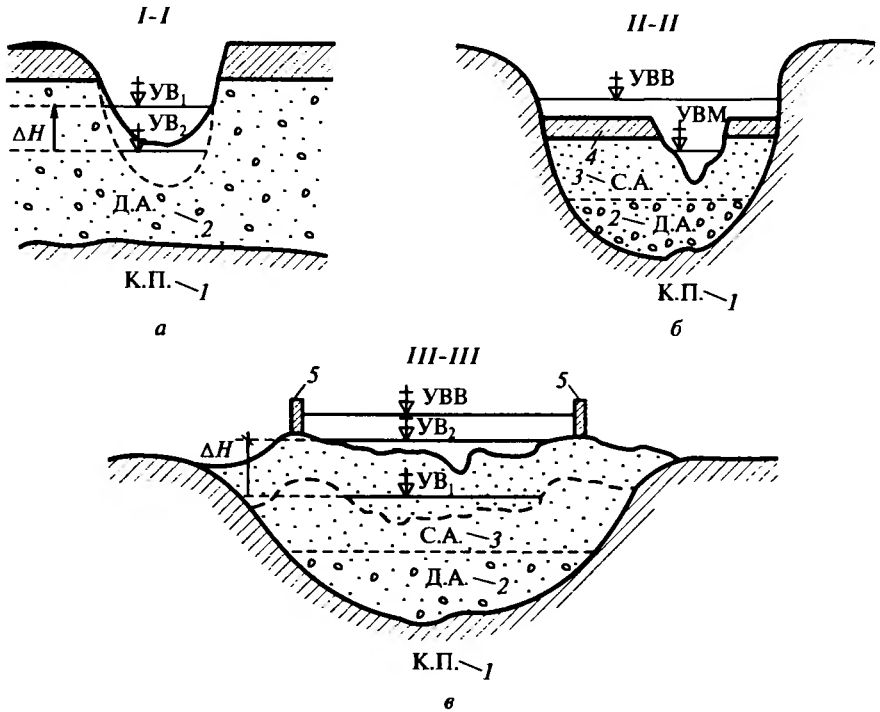
Реки ведут себя по-разному в пределах каждой характерной зоны и формируют долины разного строения, что необходимо учитывать при проектировании мостовых переходов.

В зоне эрозии реки протекают по узким долинам — каньонам (рис. 26.9, *а*). При этом происходит необратимое врезание русла в современный аллювий или в коренные породы с соответствующим выносом продуктов размыва на нижележащие участки реки и уменьшением продольных уклонов. Долины рек в зоне эрозии относительно узкие и характеризуются высоким залеганием коренных пород и небольшой толщиной аллювиальных отложений. Темп необратимого понижения дна реки (и соответственно уровней воды) $\Delta H/T$ оценивают по результатам измерений высот (отметок) дна или уровней воды за разные годы.

Тогда общее необратимое понижение $H_{\text{рсч н}}$ за расчетный срок службы моста $T_{\text{рсч}}$, которое обязательно нужно учитывать при фундировании опор, определится так:

$$\Delta H_{\text{рсч н}} = \frac{\Delta H}{T} T_{\text{рсч}},$$

где ΔH — измеренное понижение дна (или уровней воды) за период T лет.



Р и с. 26.9. Строение долин рек в разных характерных зонах:

а — в зоне эрозии: *б* — в зоне транзита; *в* — в зоне аккумуляции; *1* — коренные породы; *2* — древний аллювий; *3* — современный аллювий; *4* — наилок поймы; *5* — дамбы обвалования

В зоне транзита наносы, приносимые с верховий, река полностью транспортирует на нижележащие участки. При этом уклоны и размеры русел рек остаются неизменными в течение многих десятилетий. Долины рек в зоне транзита характеризуются, как правило, большой шириной, существенной толщиной аллювиальных отложений и сравнительно глубоким залеганием неразмываемых коренных пород (рис. 26.9, *б*). Непосредственно выше коренных пород залегает древний аллювий, образовавшийся на ранних этапах (в древний период) формирования реки. Выше залегает толща несвязного современного аллювия, периодически переносимого речным потоком. Еще выше залегают связные грунты наилка поймы.

Руслом реки называют ту часть речной долины, на ширине которой происходит транспорт современного аллювия (наносов) в паводки. *Поймы* — это части ширины речной долины, сложенные связным грунтом наилка поймы и покрытые растительностью, по которым

движение воды происходит не круглогодично, а только при высоких уровнях в периоды максимального стока. Толщина наилка поймы может быть значительной (например, на р. Оке у г. Рязани она достигает 6 м).

Наносы, переносимые рекой, подразделяют на более крупные — *руслоформирующие*, перемещающиеся в придонных слоях потока и формирующие русло реки, и более мелкие — *нерусловые*, переносимые рекой во взвешенном состоянии и практически не участвующие в формировании современного русла, но оседающие при выходе воды на поймы и, таким образом, формирующие связный грунт наилка пойм.

Количество нерусловых наносов, переносимых рекой по направлению к морю или озеру, обычно весьма значительно и нередко существенно превышает общее количество руслоформирующих.

Нерусловые и руслоформирующие наносы различны по происхождению. Так, нерусловые наносы образуются главным образом за счет смыва мельчайших частиц почв с поверхности бассейна (особенно с распаханных склонов), руслоформирующие наносы образуются в результате разрушения коренных пород в верховьях главной реки и ее притоков.

В зоне аккумуляции река уже не в состоянии переносить все наносы, приносимые из зоны транзита, в результате чего река откладывает часть наносов и дно ее (а также соответственно и уровни воды) повышается. Нередко отложения наносов достигают такого размера, что русло в нижнем течении реки оказывается приподнятым над окружающей местностью (рис. 26.9, *в*). Реки в зоне аккумуляции обычно не имеют пойм, а коренные породы залегают очень глубоко под мощным слоем современного и древнего аллювия.

Темп поднятия дна реки (а также соответственно и уровней воды) определяют по результатам натурных измерений высот (отметок) дна и уровней воды за разные годы. Тогда общее повышение $H_{\text{рсч в}}$ за расчетный срок службы моста $T_{\text{рсч}}$ составит

$$\Delta H_{\text{рсч в}} = \frac{\Delta H}{T} T_{\text{рсч}},$$

где ΔH — измеренное повышение дна реки (и соответственно уровней воды) за период T лет.

Река Амударья в своем нижнем течении на протяжении 1000 км до своего впадения в Аральское море при темпе поднятия дна порядка 13 мм в год за последние 500 лет поднялась над окружающей местно-

стью на 6 м. Реки в зоне эрозии удерживают на конусе выноса строительством дамб обвалования. Поэтому они весьма удобны для поливного земледелия.

26.4. Классификация рек по типам питания. Режим максимального стока

Для рек необходимо различать: процесс питания, режим водного стока и процесс формирования русла и долины.

Реки питаются подземным и поверхностным стоком. Сравнительно быстрый поверхностный сток формируется в результате таяния снега на территории бассейна, таяния ледников и выпадения ливней. Поверхностный сток, весьма неравномерный во времени, обычно существенно преобладает над медленным подземным стоком. Периоды максимального поверхностного стока всегда приурочены к определенному периоду года. Быстрое поступление в реку огромных масс воды в периоды максимального поверхностного стока вызывает в ней резкое увеличение расходов и соответствующее повышение уровней воды.

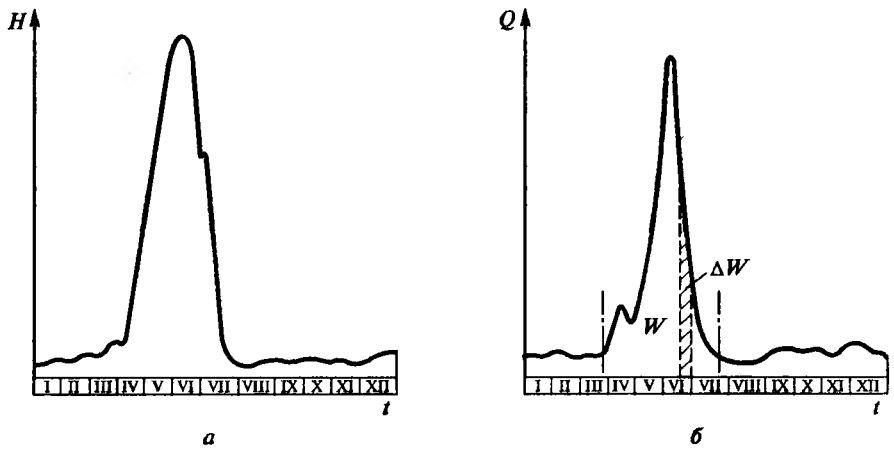
Период максимального стока в реках называют *половодьем.* Термин «половодье» в инженерной практике часто заменяют словом *паводок.* Следует отметить, что водность рек (высоты паводков и объемы стока) не остается одинаковой год от года, что связано с опосредованным влиянием (через циркуляцию околоземной атмосферы) хода солнечной активности. Поэтому чередование на реках маловодных и многоводных периодов стока является объективным и объяснимым свойством рек, в конечном счете оказывающим существенное влияние на работу мостовых переходов.

Изменение водности рек в ходе годового цикла наглядно характеризуется *водомерными графиками* и *гидрографами* паводков.

Водомерным графиком паводка $H = f(t)$ называют график хода уровня воды во времени для данного створа реки (рис. 26.10, *а*).

Однако водомерные графики паводков, являющиеся одними из важнейших характеристик реки в данном сечении, не всегда в полной мере отражают ее водность. Высокие уровни в реках могут формироваться в результате ледяных заторов, зажоров шуги, подпорами от материнской реки, ветровыми нагонами и т.д. В таких случаях при проектировании обязательно используют и *гидрографы* паводков.

Гидрографом паводка $Q = f(t)$ называют график хода расхода воды во времени для данного створа реки (рис. 26.10, *б*).



а *б*

Р и с. 26.10. Графики, характеризующие водность реки:

а — водомерный график паводка $H = f(t)$; *б* — гидрограф паводка $Q = f(t)$

Площадь фигуры, образованной линией гидрографа и осью абсцисс, представляет собой годовой объем стока W, а площадь части этой фигуры, ограниченной двумя любыми ординатами, соответствует объему стока ΔW за соответствующий промежуток времени.

Реки по типу питания принято разделять на четыре группы:

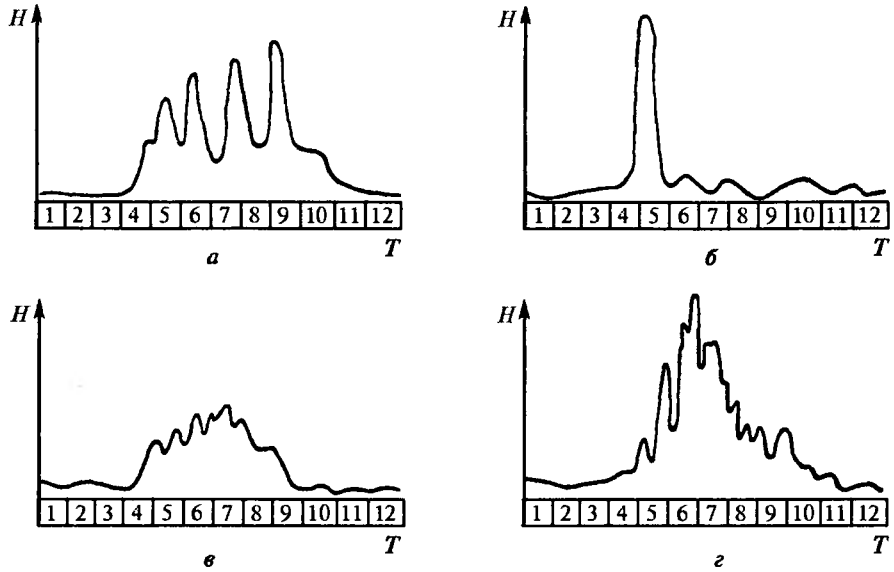
реки с дождевыми паводками, питающимися в течение теплого периода года преимущественно за счет ливневого стока (например, р. Амур). Для рек с дождевым питанием в течение теплого периода обычно характерно несколько пиков, поэтому гидрограф стока таких рек, как правило, многомодален (рис. 26.11, *а*);

реки с паводками от талых вод (р. Ока). Поскольку снеготаяние, как правило, приурочено к весеннему периоду года, то гидрограф рек со стоком от талых вод обычно одномодален (рис. 26.11, *б*);

реки с паводками от таяния ледников (р. Амударья) имеют растянутый в течение теплого периода времени года пилообразный гидрограф (рис. 26.11, *в*);

реки с комбинированным питанием (р. Кубань), когда на ход преимущественного питания (например, от таяния ледников или от снеготаяния) накладываются отдельные ливневые пики (рис. 26.11, *г*).

Поскольку на некоторых реках в отдельные годы могут превалировать пики различного генетического происхождения, при статистической обработке максимального стока таких рек необходимо



Р и с. 26.11. Характерные водомерные графики рек с различными типами преимущественного питания:

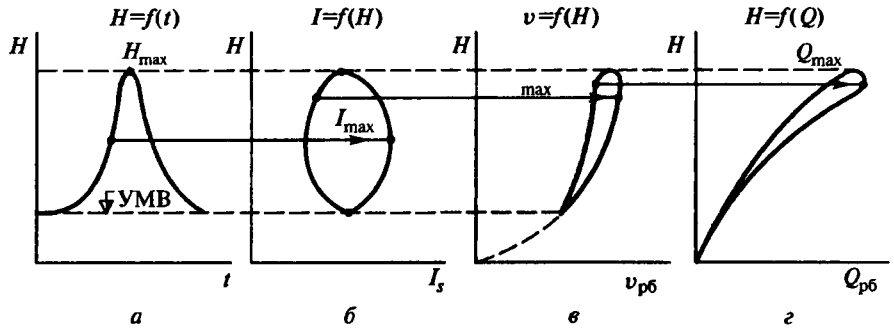
а — дождевой сток; *б* — сток талых вод; *в* — сток от таяния ледников; *г* — сток при комбинированном питании

строить ряды непрерывных наблюдений за пиками одного и того же генетического происхождения.

Характерные очертания водомерных графиков и гидрографов паводков для каждого конкретного створа той или иной реки обычно сохраняются год от года, отображая закономерную смену времен года и особенности ее питания.

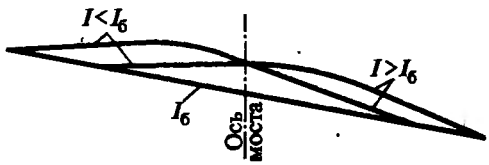
Характер движения воды в реке (режим максимального стока) формируется двумя первичными факторами — расходом потока, меняющимся во времени и по длине реки и речным руслом с его формой, размерами, строением и уклоном. Все остальные характеристики речного стока являются вторичными: скорости течения, расходы наносов, уклоны водной поверхности, глубины и т.д.

Связь между первичными и вторичными факторами режима водного стока устанавливают в результате полевых гидрометрических работ и последующего построения соответствующих гидрометрических кривых: водомерного графика паводка $H = f(t)$ и гидрографа паводка $Q = f(t)$ (см. рис. 26.10), кривой уклонов $I = f(H)$, кривой скоростей $v = f(H)$ и кривой расходов $H = f(Q)$ (рис. 26.12).



Р и с. 26.12. Характерные гидрометрические кривые створа реки:

а — водомерный график паводка $H=f(t)$; *б* — кривая уклонов $I=f(H)$; *в* — кривая скоростей $v=f(H)$; *г* — кривая расходов $H=f(Q)$



Р и с. 26.13. Схема перемещения волны паводка вниз по реке

Все гидрометрические кривые для каждого конкретного створа реки имеют петлеобразное очертание. Это связано прежде всего с тем, что паводок распространяется сверху вниз по течению в виде паводковой волны (рис. 26.13), при этом в одном и том же сечении реки при одной и той же глубине потока на подъеме и спаде паводка свободная поверхность имеет разные уклоны. На подъеме паводка уклон свободной поверхности больше уклона долины $I > I_б$, а на спаде, наоборот, меньше $I < I_б$. В связи с этим скорости течения и расходы воды при одних и тех же уровнях воды оказываются больше на подъеме паводка и меньше на его спаде.

Для каждого створа реки характерна обязательная закономерная последовательность наступления соответствующих максимальных значений гидрометрических характеристик паводка:

$$I_{max} \rightarrow v_{max} \rightarrow Q_{max} \rightarrow H_{max}.$$

Наименьшее расхождение петли имеет кривая расхода $Q=f(H)$, а наибольшее — кривая уклонов $I=f(H)$.

26.5. Классификация рек по типам руслового процесса[1]

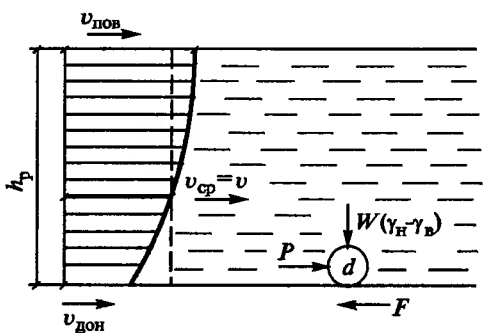
Речной поток, имеющий определенную поступательную скорость, способен перемещать частицы грунта, лежащие на дне, — руслоформирующие наносы. Это придает речному потоку некоторые существенные особенности и характеризует его как поток двухфазный (вода — наносы).

Эпюра скоростей речного потока на вертикали имеет криволинейное очертание (рис. 26.14), при этом обычно скорости течения возрастают от дна к поверхности и имеет место неравенство $v_{пов} > v_{ср} > v_{дон}$, где $v_{пов}$ — поверхностная скорость; $v_{ср} = v$ — средняя скорость потока на вертикали; $v_{дон}$ — донная скорость течения.

Необходимо знать функциональную связь между этими скоростями. При этом на частицы грунта, лежащие на дне, непосредственно воздействует именно донная скорость $v_{дон}$. Поверхностную скорость $v_{пов}$ используют при производстве гидрометрических работ на реках по измерению уклонов свободной поверхности потока, скоростей течения и расходов воды поплавковым способом. Среднюю скорость течения v удобно использовать при производстве гидравлических и русловых расчетов.

На частицу грунта диаметром d, лежащую на дне, воздействуют сила гидродинамического давления P и подъемная сила ξ, возникающая за счет различия скоростей обтекания верхней и нижней поверхностей частицы. Этим силам сопротивляется сила трения частиц о дно F.

Силу гидродинамического давления речного потока на частицу можно представить как



Р и с. 26.14. Схема воздействия потока на частицу грунта

[1] При подготовке этого раздела авторами были использованы конспекты лекций проф. О.В. Андреева.

$$P = \gamma_в \omega \frac{v^2_{дон}}{2g}, \qquad (26.1)$$

а силу трения частицы о дно как:

$$F = fW(\gamma_н - \gamma_в), \qquad (26.2)$$

где $\gamma_в = 1{,}0$ т/м^3 — объемный вес воды; ω — площадь лобового сопротивления частицы; $v_{дон}$ — донная скорость течения; $f \approx 1{,}05$ — коэффициент трения частицы грунта о дно; $W = 0{,}667\omega d$ — объем частицы диаметром d; $\gamma_н \approx 2{,}65$ т/м^3 — объемный вес материала наносов (кремнезем).

Очевидно, возможны три случая существования частицы грунта в русловом потоке:

$P > F$ — частица движется;

$P = F$ — частица останавливается или начинает двигаться;

$P < F$ — частица неподвижна.

Скорость потока, при которой сила гидродинамического давления на частицу равна силе трения ее о дно, называют *неразмывающей.*

При водном стоке река транспортирует твердые частицы грунта — наносы, поступающие в русло реки в результате смыва с поверхности бассейна и разрушения коренных пород речной долины в верховьях реки.

В зависимости от скорости течения потока и крупности наносов последние поток транспортируют различными способами. Так, самые крупные частицы поток перемещает главным образом перекатыванием по дну и отдельными короткими скачками. Такие наносы называют *донными* или *влекомыми.*

Наносы меньшей крупности турбулентный поток подбрасывает пульсирующими восходящими токами, и они, отрываясь от дна, некоторое время переносятся во взвешенном состоянии (т.е. сальтируют). Затем эти частицы снова падают на дно под действием силы тяжести. Такие наносы называют *взвешенными руслоформирующими.*

Обе группы частиц (донные и взвешенные) называют *руслоформирующими наносами.*

Еще более мелкие частицы являются, как правило, продуктами смыва с поверхности бассейна и перемещаются в водном потоке не оседая на дно. Такие наносы в формировании русла практического участия не принимают и их поэтому называют *неруслoвыми.* Однако при выходе воды на поймы и резком падении скоростей течения они выпадают на дно и формируют связный грунт поверхности поймы — *наилок поймы.*

При расчетах деформаций русел на мостовых переходах учитываются прежде всего руслоформирующие наносы. При этом особый интерес будут представлять случаи, когда $P > F$ и $P = F$.

Если приравнять выражения (26.1) и (26.2) для случая предельного равновесия частицы на дне, то после элементарных преобразований легко получить выражение для определения донной неразмывающей скорости $v_{нд}$:

$$v_{нд} = \sqrt{\frac{4}{3} f} \sqrt{\frac{\gamma_н - \gamma_в}{\gamma_в}} \sqrt{gd}.$$

Учитывая, что при $f = 1{,}05$ выражение

$$\sqrt{\frac{4}{3} f} \sqrt{\frac{\gamma_н - \gamma_в}{\gamma_в}} \sqrt{gd} = 1{,}6,$$

окончательно получим зависимость для определения донной неразмывающей скорости:

$$v_{нд} = 1{,}6\sqrt{gd},$$

где d — диаметр частиц грунта, м.

В отличие от донной неразмывающей скорости течения, являющейся функцией $v_{нд} = f(d)$, неразмывающая средняя скорость течения, необходимая для гидравлических расчетов, уже является функцией $v_{нер} = f(d, h)$, т.е. зависит не только от крупности частиц, но и от глубины потока. Используя степенную функцию В.Н. Гончарова, окончательно можно получить

$$v_{нер} = 1{,}6\sqrt{gd}\left(\frac{h_р}{d}\right)^{1/6} = \frac{v}{d^{1/6}} h_р^{1/6},$$

где $h_р$ — глубина руслового потока, м.

Общее количество наносов, которое может переносить река при данной скорости течения, называют *транспортирующей способностью потока.*

Фактическое количество наносов, переносимое рекой через данное сечение русла в единицу времени, называют *расходом наносов.*

Исследованиями В.Н. Гончарова, И.И. Леви, Б.В. Полякова и других установлена прямая пропорциональность расхода наносов их крупности, четвертой степени средней скорости течения и обратная пропорциональность кубу неразмывающей средней скорости:

$$g'' = A\frac{v^4}{v_{\text{нер}}^3}d\left(1-\frac{v_{\text{нер}}}{v}\right),$$

где g'' — погонный расход руслоформирующих наносов.

Все известные формулы для определения расхода $G(\text{м}^3/\text{с})$ руслоформирующих наносов имеют приблизительно одинаковую принципиальную структуру. Однако для практических расчетов часто используют формулу И.И. Леви:

$$G = G_{\text{д}} + G_{\text{в}} = \left[\frac{A_{\text{д}}}{h_{\text{р}}^{1/4}} + A_{\text{в}}\right] v_{\text{р}}^3 B_{\text{р}}(v_{\text{р}} - v_{\text{нер}}), \qquad (26.3)$$

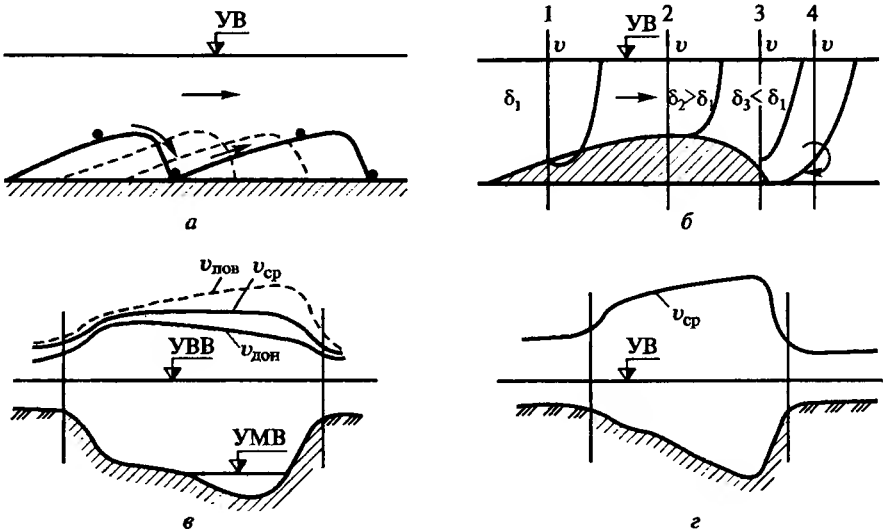
где $G_{\text{д}}$, $G_{\text{в}}$, $A_{\text{д}}$, $A_{\text{в}}$ — расходы и функции свойств соответственно донных и взвешенных наносов; $h_{\text{р}}$ — глубина потока; $B_{\text{р}}$ — ширина русла реки (фронта переноса руслоформирующих наносов); $v_{\text{р}}$ — средняя скорость течения в русле реки.

Частицы грунта (руслоформирующие наносы) начинают двигаться после того, как средняя скорость течения потока $v_{\text{р}}$ превысит скорость неразмывающую для этих частиц $v_{\text{нер}}$. По мере увеличения скоростей течения у дна потока происходит образование вихревых водных образований, оси которых перпендикулярны общему направлению течения и которые делят дно потока на зоны интенсивного движения наносов и зоны их задержки, что в конечном итоге приводит к появлению подводных гряд наносов.

В турбулентном русловом потоке, имеющем обычно поперечную ширину существенно большую, чем глубину, происходит образование макротурбулентных образований, продольное перемещение которых напоминает движение гусениц танка (рис. 26.15).

Имеющая место неравномерность скоростей течения по ширине русла реки, а также отклоняющее действие гряд приводят к появлению в потоке поперечных скоростей течений, разных по направлениям в верхних и нижних слоях потока. В результате этого происходит перекос волн наносов, которые в конечном итоге объединяются в крупные структурные скопления, попеременно примыкающие то к левому, то к правому берегу речного русла. Эти скопления, получившие название *побочней*, медленно перемещаются вниз по течению. Элементарные донные гряды наносов при этом перемещаются по поверхности этих крупных структурных скоплений. При уменьшении уровней воды побочни обнажаются, а русловой меженний поток приобретает синусообразное очертание в плане (рис. 26.16).

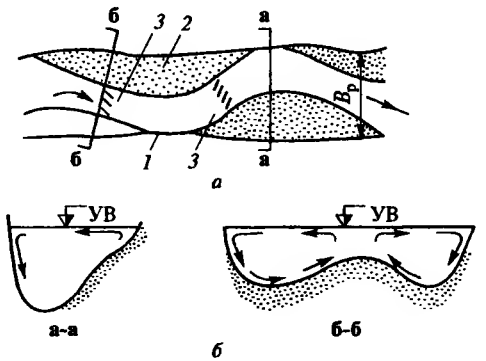
Дно реки является *отпечатком* тех процессов, которые происходят в потоке.



Р и с. 26.15. Макротурбулентная структура руслового потока и процесс формирования подводных гряд

На р. Волге у Нижнего Новгорода побочни перемещаются на длину своего шага за 25 лет.

Поперечные течения значительно усиливаются на поворотах русла под действием центробежных сил. При этом в русловом потоке образуются винтовые течения (*поперечная циркуляция*), вызывающие появление развивающихся излучин русла — *меандр* (рис. 26.17), получивших свое название от удивительно извилистой р. Меандр, протекающей в междуречье рек Тигр и Евфрат на территории современного Ирака.

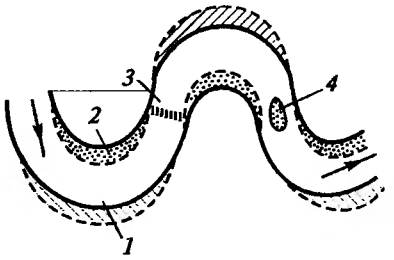


Р и с. 26.16. Образование структурных скоплений наносов на неизвилистом участке русла:

а — план русла; *б* — поперечные разрезы: **а-а** — на плесе; **б-б** — на перекате; 1 — плес; *2* — побочень; *3* — перекат; $B_р$ — ширина русла

Р и с. 26.17. Структурные скопления наносов на поворотах русла:

1 — плес; *2* — побочень; *3* — перекат; *4* — осередок



Участок русла в пределах средней части одного побочня называют *плесом*, участок перехода от одного побочня к другому — *перекатом.*

Односторонняя циркуляция водного потока на одном плесе (см. рис. 26.16, сечение **а-а**) меняет свой знак на обратный на другом плесе, при этом на участке переката поток имеет характер двойной циркуляции с разными знаками (см. рис. 26.16, сечение **б-б**). Участки перекатов характеризуются малыми глубинами, иногда наличием островов и осередков и нередко создают осложнения для осуществления судоходства, особенно при низких уровнях воды.

Современный процесс формирования речного русла, т.е. его форм и размеров, называют *русловым процессом.* Главной составной частью этого процесса является непрерывное взаимодействие водного потока с подвижным дном русла. Это взаимодействие приводит к образованию характерных форм рельефа дна, отвечающих гидравлической структуре турбулентного потока и одновременно к формированию паводкового скоростного поля потока, соответствующего выработанным формам русла.

Как показали исследования проф. О.В. Андреева, несмотря на практически бесчисленное количество комбинаций числовых характеристик условий, в которых происходит формирование речных русел, все же общее количество их характерных типов ограничивается всего лишь небольшим числом.

Если выделить на конкретной реке участок русла ограниченной длины, находящийся в течение длительного отрезка времени в неизменных средних гидрологических условиях, то можно обратить внимание, что его размеры в течение времени остаются практически неизменными. На этот участок поступает вода со средним расходом $Q_{рб}$ и протекающая по руслу со скоростью $v_{рб}$, а также руслоформирующие наносы с суммарным расходом G. Само же русло можно охарактеризовать тремя величинами: $B_{рб}$ — средней шириной, $h_{рб}$ — средней глубиной и $I_б$ — уклоном.

Некоторые из шести перечисленных характеристик для данного участка реки всегда являются внешними, в то время как другие формируются в местном русловом процессе. При этом расход воды $Q_{рб}$ во всех случаях остается фактором внешним, в то время как глубина руслового потока $h_{рб}$ всегда является внутренней характеристикой свободного руслоформирования. Остальные четыре характеристики в зависимости от типа реки могут быть как величинами внешними, так и формируемыми в результате местного руслового процесса. Так, например, ширина русла $B_{рб}$ может быть фиксирована местными условиями, когда река протекает в теснине, а может формироваться в ходе свободного руслового процесса; уклон потока $I_б$ может быть равен уклону долины, а может быть меньше уклона долины и формироваться при развитии излучин самой рекой, приспосабливающейся к транзиту поступающих сверху руслоформирующих наносов и т.д.

Русла рек могут формироваться лишь при относительно высоких скоростях течения, при которых могут происходить размывы берегов и транспортироваться руслоформирующие наносы. Именно поэтому русла формируются главным образом в ходе паводков. Высоты паводков не остаются постоянными год от года, поэтому русла рек формируют наиболее часто наблюдаемые на данном водотоке паводки, называемые *руслоформирующими.*

При паводках с высотой меньше руслоформирующего процесс формирования русла малоактивен и, наоборот, при паводках очень высоких могут происходить временные существенные изменения размеров и форм русел, которые затем восстанавливаются под действием средних, часто наблюдаемых паводков.

Шесть основных характеристик любого участка реки связаны между собой всего тремя уравнениями: средней скорости течения руслового потока (Шези), постоянства расхода воды (уравнение неразрывности) и расхода руслоформирующих наносов. В связи с этим можно считать, что три из шести характеристик руслового потока являются результатом руслового процесса, определяемого остальными тремя (внешними) характеристиками. Учитывая, что одна из характеристик ($Q_{рб}$) обязательно является внешней, а другая ($h_{рб}$) никогда к внешним не относится, число возможных комбинаций трех внешних условий руслоформирования определяет число сочетаний из оставшихся четырех ($B_{рб}$, G, $I_б$, $v_{рб}$) по две и равно шести.

Таким образом, можно определить возможные типы русел (типы рек по русловому процессу) (табл. 26.1).

Таблица 26.1. **Возможные типы русел рек**

Внешние условия формирования русла	Местные характеристики русла	Тип русла	Зона распространения в долине главной реки
$Q_{рб}$, $v_{рб}$, $I_б$	$h_{рб}$, $B_{рб}$, G	Каньоны	Зона эрозии
$Q_{рб}$, $v_{рб}$, G	$h_{рб}$, $B_{рб.}$, $I_б < I_{дол}$	Меандрирующие (извилистые)	Зона транзита
$Q_{рб}$, $v_{рб}$, G	$h_{рб}$, $B_{рб}$, $I_б = I_{дол}$	Немеандрирующие (неизвилистые)	То же
$Q_{рб}$, G, $I_б$	$h_{рб}$, $B_{рб}$, $v_{рб}$	Блуждающие	Зона аккумуляции
$Q_{рб}$, $B_{рб}$, $I_б$	$h_{рб}$, G, $v_{рб}$	Теснины I рода	Любая
$Q_{рб}$, $B_{рб}$, G	$h_{рб}$, $I_б$, $v_{рб}$	Теснины II рода	»

Примечание. Берега теснин неразмываемы.

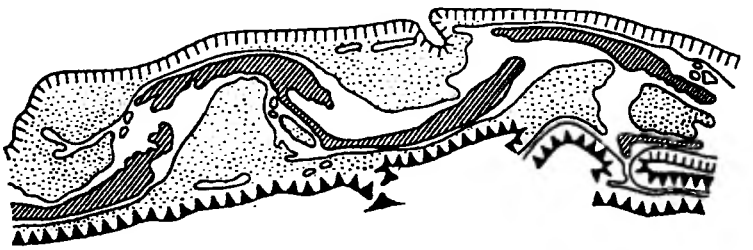
Наиболее часто встречающиеся типы рек по русловому процессу представлены на рис. 26.18.

Таким образом, в соответствии с предложенной проф. О.В. Андреевым классификацией различают реки со следующими типами руслового процесса, на которых основные принципы проектирования мостовых переходов имеют свои специфические особенности.

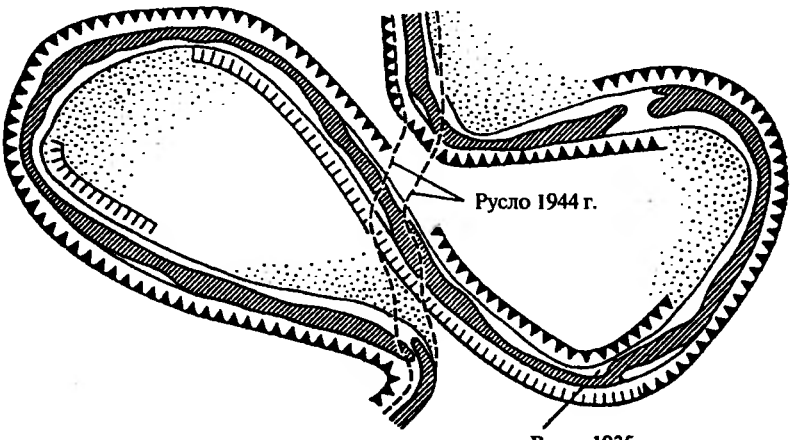
Горные реки (каньоны) — это верховья рек в зоне эрозии. Отличаются практическим отсутствием пойм и узкими долинами. Русловый процесс характеризуется систематической врезкой дна русла в коренные породы, сопровождающейся уменьшением уклонов, скоростей и выноса продуктов размыва на нижележащие участки.

Равнинные меандрирующие реки — это реки в зоне транзита. На практике при проектировании мостовых переходов с этим типом рек приходится сталкиваться наиболее часто. Реки с этим типом руслового процесса характеризуются сравнительно небольшим количеством руслоформирующих наносов, поступающих с верхних участков. Для обеспечения транзитного переноса именно этого количества наносов меандрирующие реки приспосабливают свои русла, развивая их длину и тем самым уменьшая продольные уклоны по сравнению с общим уклоном долины. Именно по этой причине их характеризуют исключительно извилистые русла в плане, значительно развитые поймы и наличие большого числа отторгнутых излучин — *староречий.*

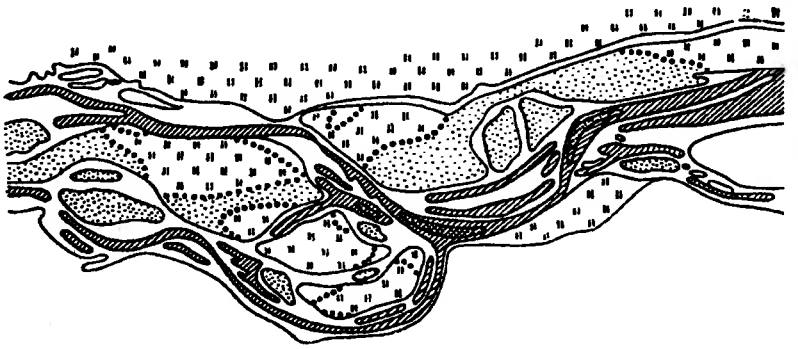
Различают два типа меандрирующих рек. Реки, на которых спрямление русел происходит в результате прорыва сближающихся излучин с оставлением на пойме староречий (рис. 26.18, *б*), называют *реками завершенного меандрирования.*



а



б



в

Р и с. 26.18. Планы участков рек с различным типом руслового процесса:

а — немеандрирующая р. Днепр; *б* — меандрирующая (извилистая) р. Кура; *в* — блуждающая р. Амударья

На поймах рек с глубокими пойменными потоками мощные спрямляющие течения прорезают себе в пойменных грунтах длинные промоины, куда и устремляется река задолго до того как излучины сблизятся практически вплотную. Такие реки называют *реками незавершенного меандрирования.* Меандрирующие реки — это обычно реки средней водности — Ока, Дон в верхнем течении, Хопер, Медведица, Мокша и т.д.

Равнинные немеандрирующие реки — это также реки в зоне транзита. Характеризуются значительным поступлением наносов с вышележащих участков, практически неподвижным в плане и неизвилистыми руслами, повторяющими повороты долины и, как правило, относительно слабо развитыми поймами. Перенос наносов на немеандрирующих реках происходит упорядоченно в виде медленно сползающих вниз по течению крупных структурных скоплений наносов — *побочней,* попеременно примыкающих то к одному, то к другому берегу (рис. 26.18, *а*). Немеандрирующие реки — это обычно реки очень крупные — Днепр, Волга, Обь, Иртыш, Зея, Амур и т.д.

Предгорные блуждающие реки — это реки, протекающие в зоне аккумуляции наносов. Характеризуются неразвитыми поймами или чаще полным их отсутствием и широкими, но относительно мелкими руслами. Наносы, в избытке поступающие сверху, располагаются в виде беспорядочных островов, осередков, отмелей, разбивающих меженное русло на множество рукавов и проток (рис. 26.18, *в*). Река как бы «блуждает» между собственными отложениями. Систематическое отложение наносов в руслах блуждающих рек нередко приводит к повышению их дна и соответственно уровней воды выше окружающей местности. Так, река Амударья за истекшие 500 лет на 1000-километровом своем участке вплоть до впадения в Аральское море поднялась на 6 м выше окружающей местности, р. Терек в равнинной своей части — течет на 20—25 м выше окружающей местности и т.д.

Форма речного русла любого типа и его размеры могут быть охарактеризованы относительными величинами $B_{рб}/h_{рб}$. Непосредственно из уравнения неразрывности установившегося потока $Q_{рб} = B_{рб}\ h_{рб} v_{рб}$ следует:

$$\frac{B_{рб}}{h_{рб}} = \frac{Q_{рб}}{v_{рб}\ h_{рб}^2}.$$

Подставив в правую часть этого выражения уравнение равномерного течения жидкости Шези, получим выражение для определения величины показателя формы русла $B_{рб}/h_{рб}$:

$$\frac{B_{рб}}{h_{рб}} = \frac{Q_{рб} I_б^{3/2}}{n_р v_{рб}^4}, \qquad (26.4)$$

где $n_р$ — коэффициент шероховатости дна русла.

На основе анализа уравнения (26.4) можно сформулировать некоторые основные свойства русел рек.

1. Относительная ширина русла возрастает с ростом руслоформирующего расхода воды (т.е. с ростом водности реки).

2. Большие реки существенно отличаются от малых прежде всего по ширине русла и в значительно меньшей степени по глубине.

3. Рост уклона реки приводит к росту относительной ширины русла, т.е. на больших уклонах русла рек относительно мельче, но шире.

4. Реки с разными расходами, протекающие в берегах, сложенных грунтами примерно с одинаковой сопротивляемостью размывам, имеют одинаковые глубины.

5. Увеличение русловых скоростей течения приводит к сужению русла и росту его глубины.

6. Скорости течения в реках, свободно формирующих свое русло, при расходах и уровнях, близких к руслоформирующим, соответствуют неразмывающим для грунтов, из которых сложены их берега.

Глава 27

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

27.1. Принципы гидрологических расчетов

Все основные сооружения мостовых переходов (мосты, подходы к мостам, регуляционные и защитные сооружения) подвержены вредному воздействию водного потока. Им угрожают:

подтопление водами реки при проходе паводков, особенно высоких;

природные деформации русел;

общие размывы, связанные со стеснением паводкового потока непереливаемыми подходами к мостам;

местные размывы, развивающиеся у передних граней опор мостов и голов регуляционных сооружений;

подпоры воды, разные в различных сечениях по длине зоны влияния мостовых переходов, с разных сторон насыпей подходов и струенаправляющих дамб;

продольные течения, наблюдающиеся с верховых сторон насыпей подходов и вдоль речных откосов струенаправляющих дамб;

волновые воздействия на укрепленные откосы насыпей подходов и откосы струенаправляющих дамб;

ледоход, непосредственно воздействующий на опоры мостов и укрепленные откосы струенаправляющих дамб и насыпей подходов;

карчеход на реках.

Паводки на реке год от года не остаются одинаковыми. При этом периоды прохода сравнительно невысоких паводков (маловодные периоды) сменяются периодами прохода высоких (многоводные периоды). Закономерное чередование маловодных и многоводных периодов связано с опосредованным влиянием солнечной активности на циркуляцию околоземной атмосферы и его следует учитывать при обосновании генеральных размеров сооружений мостовых переходов.

Степень опасности повреждения тех или иных сооружений мостовых переходов оказывается тем большей, чем большие по высоты паводки проходят по реке. Мостовые переходы должны безопасно функционировать в течение всего срока его службы, т.е. в течение столетия. Естественно, что в течение этого длительного срока на реке могут пройти очень высокие паводки, в том числе даже такие, которые не были еще зафиксированы на водомерных постах данного водотока.

Каждый i-й паводок может быть охарактеризован наибольшим его расходом Q_i, наивысшим уровнем высокой воды $УВВ_i$, продолжительностью паводка $t_{пв\,i}$, его формой (полнотой $П_i$) и т.д. Основными характеристиками водности реки на данном ее участке являются наибольшие годовые расходы воды Q_i и соответствующие им максимальные уровни высокой воды $УВВ_i$.

Прогноз величин максимального стока (гидрологические расчеты) выполняют, как правило, на основе статистических данных о режиме водного стока за период гидрометрических наблюдений, предшествующих проектированию и строительству мостового перехода. Прогноз водного стока базируется на следующих основных положениях:

годовой цикл водного стока закономерен и отражает смену времен года и тип питания реки;

ежегодные колебания генетически однородных характеристик паводков подчиняются закону больших чисел, т.е. средние величины этих характеристик устойчивы во времени и практически не зависят от длительности наблюдений;

закономерности колебаний характеристик стока свободных (не зарегулированных) рек устойчивы в течение периодов, соизмеримых со столетиями;

величины характеристик стока для каждого года можно считать случайными и независимыми друг от друга. Поэтому не представляется возможным прогнозировать срок их появления, но можно оценить лишь вероятность их превышения более высокими величинами.

Для установления средних величин характеристик паводков за длительный период времени и установления закономерностей их колебаний относительно этой средней величины используют статистические многолетние данные наблюдений за возможно более длительный период, предшествовавший проектированию мостового перехода. При этом нельзя объединять в единый ряд наблюдений генетически разнородные характеристики стока. Например, если на реке наблюдаются паводки как от снеготаяния, так и от выпадения ливней, то многолетние ряды наблюдений за максимальным стоком нужно строить отдельно для каждой фазово-однородной характеристики (скажем, расходы и уровни только от снеготаяния либо только от ливней и т.д.).

Максимальные расходы или уровни паводков могут быть охарактеризованы *вероятностью превышения* их еще более высокими. При этом если какой-либо расход или уровень является расчетным для данного мостового перехода, то при проходе паводка такой (расчетной) высоты запасы устойчивости сооружений мостового перехода будут полностью исчерпаны.

Вероятность превышения той или иной характеристики паводка (прежде всего максимальных годовых расходов Q_i и уровней воды H_i), исчисляемая в долях единицы, справедлива для каждого года, так как превышение расчетного паводка может произойти в любой год службы мостового перехода. Чем больше максимальный расход или уровень воды в данном створе водотока, тем меньше вероятность его превышения еще более высокими паводками.

Если вероятность превышения паводка отнести не к одному году, а к длительному периоду наблюдений, то уже можно говорить о *частоте* (или *повторяемости*) паводков той или иной высоты. Так, если вероятность превышения паводка равна 0,01, то это одновременно означает, что этот паводок может превышен более высокими в среднем один раз в 100 лет, при этом будут иметь место опасные условия работы сооружений мостовых переходов с возможными их повреждениями или даже разрушениями.

Расчетная вероятность превышения паводков нормируется в соответствии с экономическим значением проектируемого объекта, что

означает, что каждый объект на реке проектируют с определенной степенью инженерного риска (табл. 27.1). При этом чем выше значение объекта, тем меньшую вероятность превышения расчетного паводка принимают при проектировании.

Таблица 27.1. **Нормируемые вероятности превышения расчетных паводков**

Сооружения	Категория дорог	Вероятность превышения максимальных расходов, %
Большие и средние мосты	IA, IБ, IB II, III, городские улицы и дороги	1*
То же	IV, V	2*
Малые мосты и трубы	IA	1**
То же	IБ, IB II, III, городские улицы и дороги	2**
»	IV, V, внутрихозяйственные дороги	3**

*В районах с неразвитой сетью автомобильных дорог для сооружений, имеющих особо важное значение, при технико-экономическом обосновании вероятность превышения допускается принимать 0,33 вместо 1% и 1 вместо 2%.

**В районах с развитой сетью автомобильных дорог для автодорожных малых мостов и труб при технико-экономическом обосновании вероятность превышения допускается принимать 2 вместо 1%, 3 вместо 2% и 5 вместо 3%.

Например, чем выше категория автомобильной дороги, на которой проектируют мостовой переход, тем меньше вероятность паводка, принимаемого в качестве расчетного. Железнодорожные мостовые переходы, где практически невозможно организовать объезд в случае их разрушения и потери, связанные с вынужденными перерывами движения, оказываются огромными, проектируют, используя более жесткие нормы и требования, чем для автомобильных дорог, где такой объезд организовать можно.

Некоторые крупнейшие гидротехнические сооружения гидроэнергетики и водоснабжения проектируют на паводки, которые вообще не могут быть превзойдены более высокими, т.е. имеющими вероятность превышения 0% (паводки максимум — максиморум). Практическая повторяемость таких паводков составляет один раз в 10 000 лет, при сроке изменения климата на земном шаре в 12 000 лет, равном периоду качания земной оси.

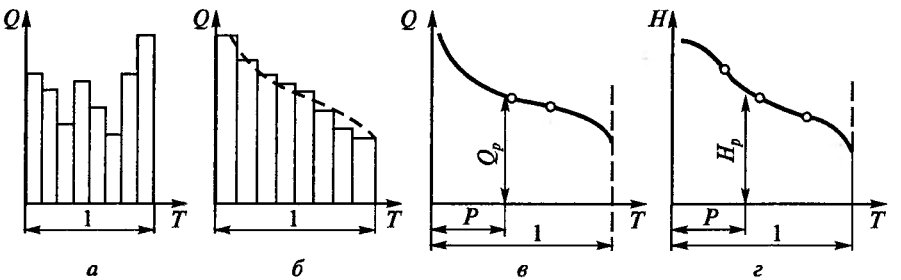
Однако стоимость сооружений, запроектированных на физически возможный предельный паводок, чрезвычайно велика, поэтому в большинстве случаев экономически более целесообразно ограничи-

вать величины расчетных паводков хотя и весьма редкими, но реально превышаемыми в течение расчетного срока службы паводками, т.е. проектировать мостовые переходы с экономически оправданной степенью инженерного риска.

27.2. Методика прогноза максимальных расходов воды на реках

Ряды максимальных годовых расходов и уровней воды на реках, зафиксированных в течение ряда лет непрерывных наблюдений на водомерных постах Гидрометеослужбы, могут быть изображены в виде столбчатой диаграммы: хронологической (рис. 27.1, *а*) либо ранжированной в убывающем порядке (рис. 27.1, *б*). Средняя высота ряда и характерное вогнуто-выпуклое очертание остаются неизменными с увеличением длительности наблюдений на водомерных постах реки. Чем больше длительность наблюдений, тем более плавное очертание приобретает ранжированная диаграмма. При гипотетически бесконечной длительности ряда непрерывных наблюдений и неизменной длине диаграммы последняя примет плавное криволинейное очертание: для максимальных годовых расходов (рис. 27.1, *в*) и максимальных годовых уровней воды (рис. 27.1, *г*). Такого рода кривые называют *кривыми вероятностей.*

Если длительность ряда наблюдений (длину диаграммы) принять за единицу, то вероятность превышения конкретного расхода Q_p будет определена той частью единицы, которой соответствуют более высокие расходы. Для приближенного вычисления вероятности превышения расхода по ограниченному числу лет наблюдений можно взять отношение порядкового номера искомого расхода m в ранжиро-



Р и с. 27.1. Диаграммы наблюдаемых максимальных годовых расходов и уровней воды на водомерном посту реки:

а — хронологическая; *б* — ранжированная; *в* — кривая вероятностей расходов; *г* — кривая вероятностей уровней

ванном ряду к общему числу лет наблюдений n. Такую вероятность превышения $p_э$ называют *эмпирической*:

$$p_э = \frac{m}{n}.$$

На практике наиболее часто вероятность превышения определяют в %. В этом случае эмпирическая вероятность превышения будет равна (%):

$$p_{э\%} = \frac{m}{n} 100.$$

Общей формулой, отображающей возможность включения в относительно короткий ряд непрерывных наблюдений расходов с частотой превышения несколько меньшей, чем один раз за период наблюдений, является:

$$p_{э\%} = \frac{m-a}{n-2a+1} 100\%, \qquad (27.1)$$

где a — эмпирический параметр С.М. Бликштейна, $a = 0{,}25 + \frac{0{,}4}{\lg n}$.

Уравнение кривой вероятности подбирают для каждого створа реки самостоятельно, как обычную эмпирическую формулу.

Обычно в качестве кривой вероятности применяют так называемую биноминальную трехпараметрическую кривую (Пирсон III), при использовании которой определяют:

среднее значение максимальных расходов $Q_{ср}$;

коэффициент вариации или изменчивости C_V;

коэффициент асимметрии C_S.

Среднее значение максимального расхода $Q_{ср}$ определяют по обычной формуле арифметического среднего:

$$Q_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i}{n},$$

где Q_i — значение максимального расхода паводка i-го года; n — число лет наблюдений.

Коэффициентом вариации C_V называют отношение среднеквадратического отклонения максимальных расходов от среднего к этому среднему значению:

$$C_V = \frac{1}{Q_{ср}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - Q_{ср})^2}{n-1}}.$$

Если принять $K_i = \frac{Q_i}{Q_{ср}}$, то окончательно получим

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (K_i - 1)^2}{n-1}}.$$

Коэффициент асимметрии C_S, зависящий от коэффициента вариации и наименьшего из максимальных расходов, определяют:

$$C_S = \frac{2C_V}{1 - K_{min}}.$$

Коэффициент асимметрии характеризует распределение максимальных расходов относительно среднего значения. Например, если из общего числа лет наблюдений 100 лет 40 расходов больше среднего, а 60 — меньше, то коэффициент асимметрии имеет положительное значение.

Окончательно расход расчетной вероятности превышения может быть определен по формуле

$$Q_{p\%} = Q_{ср}(C_V \Phi + 1),$$

где $\Phi = f(C_S, p\%)$ — коэффициент Фостера, определяемый по табл. 27.2.

Таблица 27.2. **Значения коэффициента Фостера**

C_S	Значение Ф при вероятности превышения $p\%$									
	0,1	0,33	1	2	10	25	50	75	90	99
0,00	3,09	2,75	2,33	2,04	1,28	0,67	−0,00	−0,67	−1,28	−2,33
10	3,23	2,82	2,40	2,10	1,29	0,66	−0,02	−0,68	−1,27	−2,25
20	3,38	2,93	2,47	2,15	1,30	0,65	−0,03	−0,69	−1,26	−2,18
30	3,52	3,04	2,54	2,20	1,31	0,64	−0,05	−0,70	−1,24	−2,10
40	3,66	3,15	2,61	2,25	1,32	0,63	−0,07	−0,71	−1,23	−2,03
50	3,81	3,27	2,68	2,30	1,32	0,62	−0,08	−0,71	−1,22	−1,96
60	3,96	3,36	2,75	2,34	1,33	0,61	−0,10	−0,72	−1,20	−1,88
70	4,10	3,48	2,82	2,37	1,33	0,59	−0,12	−0,72	−1,18	−1,81
80	4,24	3,60	2,89	2,43	1,34	0,58	−0,13	−0,73	−1,17	−1,74
0,90	4,38	3,70	2,96	2,48	1,34	0,57	−0,15	−0,73	−1,15	−1,66

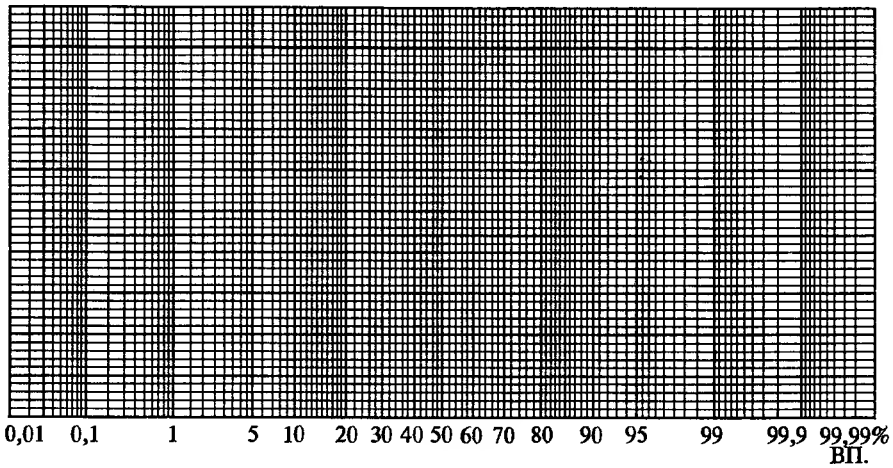
Окончание табл. 27.2

C_S	Значение Ф при вероятности превышения *p*%									
	0,1	0,33	1	2	10	25	50	75	90	99
1,00	4,55	3,81	3,02	2,53	1,34	0,55	−0,16	−0,73	−1,13	−1,59
10	4,67	3,83	3,09	2,56	1,34	0,54	−0,18	−0,74	−1,10	−1,52
20	4,81	4,04	3,15	2,61	1,34	0,52	−0,19	−0,74	−1,08	−1,45
30	4,95	4,08	3,21	2,64	1,34	0,51	−0,21	−0,74	−1,06	−1,38
40	5,09	4,12	3,27	2,67	1,34	0,49	−0,22	−0,73	−1,04	−1,32
50	5,23	4,28	3,33	2,71	1,33	0,47	−0,24	−0,73	−1,02	−1,26
60	5,37	4,33	3,39	2,73	1,33	0,46	−0,25	−0,73	−0,99	−1,20
70	5,50	4,45	3,44	2,78	1,32	0,44	−0,27	−0,72	−0,97	−1,14
80	5,64	4,53	3,50	2,82	1,32	0,42	−0,28	−0,72	−0,94	−1,09
90	5,77	4,62	3,55	2,85	1,31	0,40	−0,29	−0,72	−0,92	−1,04
2,00	5,91	4,70	3,60	2.89	1,30	0,39	−0,31	−0,71	−0,90	−0,99
10	6,06	4,80	3,65	2,93	1,29	0,38	−0,32	−0,70	−0,88	−0,94
20	6,20	4,91	3,70	2,96	1,28	0,37	−0,33	−0,69	−0,85	−0,90
30	6,34	4,98	3,75	2,99	1,27	0,35	−0,34	−0,68	−0,82	−0,87
40	6,47	5,08	3,79	3,02	1,25	0,33	−0,35	−0,66	−0,79	−0,83
50	6,60	5,19	3,83	3,04	1,24	0,32	−0,36	−0,65	−0,79	−0,80
60	6,73	5,31	3,87	3,06	1,23	0,31	−0,37	−0,64	−0,78	−0,77
3,00	7,22	5,55	4,02	3,16	1,18	0,25	−0,40	−0,60	−0,65	−0,67
4,00	8,17	6,08	4,34	3,30	0,96	0,01	−0,41	−0,49	−0,50	−0,50
5,00	9,12	6,52	4,54	3,37	0,78	−0,10	−0,38	−0,40	−0,40	−0,40

Вычисление параметров ряда расходов ведут в табличной форме либо вычисляют на компьютере. Точность вычисления параметров кривой вероятностей зависит от длительности непрерывного ряда наблюдений. Обычно ряд считают репрезентативным при длительности непрерывных наблюдений на водомерном посту $n \geq 15$.

27.3. Определение расчетных уровней высокой воды

Определение величин максимальных расходов расчетной вероятности превышения более высокими может быть выполнено не только изложенным выше аналитическим способом, но и графоаналитическим, т.е. с графической экстраполяцией кривой вероятностей в область малых вероятностей превышения. Однако фактическое очертание кривой вероятностей максимальных расходов является столь сложным (наличие двух точек перегиба, см. рис. 27.1, *в*), что надежная непосредственная графическая экстраполяция кривой вероятности практически невозможна. Еще сложнее экстраполировать в область малых вероятностей превышения кривые вероятностей уровней, имеющие уже три точки перегиба (см. рис. 27.1, *г*). Поэтому, подобно



Р и с. 27.2. Клетчатка нормального распределения

тому как для выравнивания степенных зависимостей используют логарифмические клетчатки, для выравнивания кривых вероятностей максимальных расходов и уровней воды используют специальные клетчатки вероятностей (рис. 27.2).

Однако в отличие от логарифмической клетчатки ось ординат клетчатки вероятностей принимают равномерной, а неравномерную функциональную шкалу абсцисс строят по уравнению нормального распределения Пирсон III при коэффициентах асимметрии и вариации $C_S = 0$ и $C_V = 0$ (табл. 27.3).

Получаемые на клетчатке вероятностей плавные кривые, имеющие выпуклость вверх для максимальных уровней воды ($C_S < 0$) или выпуклость вниз для максимальных расходов ($C_S > 0$), а также практически прямые расходов и уровней при $C_S \approx 0$ (рис. 27.3) позволяют выполнить довольно точную экстраполяцию кривых в область малых вероятностей превышения. При графической экстраполяции тип уравнения кривой вероятности не задают, поэтому ошибки, связанные с обязательным использованием уравнения кривой определенного типа, на результаты не влияют. Чем круче наклон кривых вероятностей, тем большим коэффициентом вариации C_V (изменчивостью) характеризуется ряд, тем опаснее река для жизни мостового перехода.

После определения расхода воды расчетной вероятности превышения $Q_{p\%}$ изложенными выше аналитическим или графоаналитическим методами переходят к определению расчетного уровня высокой воды той же вероятности превышения $РУВВ_{p\%}$. Такой расчет может

быть легко осуществлен при наличии в створе перехода гидрометрической кривой расходов $H = f(Q)$, построенной по данным непосредственных гидрометрических измерений.

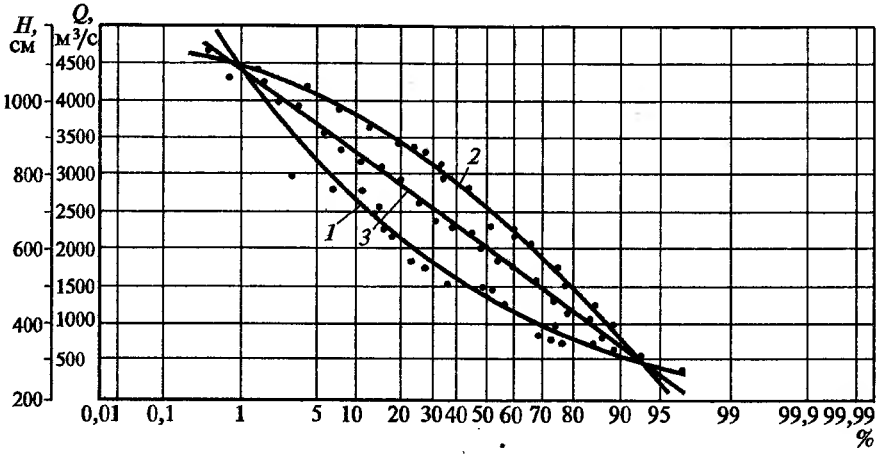
Таблица 27.3. **Координаты клетчатки нормального распределения**

Координаты клетчатки нормального распределения			
абциссы		ординаты	
вероятность превышения	расстояние от середины, мм	K	равномерная шкала, мм
0,0001	80,5	0,0	0,0
0,0002	76,7	0,1	2,5
0,0005	71,0	0,2	5,0
0,0010	66,5	0,3	7,5
0,0020	61,8	0,4	10,0
0,0050	55,4	0,5	12,5
0,0100	50,0	0,6	15,0
0,0200	44,2	0,7	17,5
0,0400	37,7	0,8	20,0
0,0500	35,4	0,9	22,5
0,1000	27,6	1,0	25,0
0,2000	18,1	1,2	30,0
0,3000	11,3	1,4	35,0
0,4000	5,5	1,6	40,0
0,5000	0,0	1,8	45,0
0,6000	5,5	2,0	50,0
0,7000	11,3	2,5	62,5
0,8000	18,1	3,0	75,0
0,9000	27,6	3,5	87,5
0,9200	30,2		
0,9400	33,4		
0,9800	44,2		
0,9900	50,0		
0,9950	55,4		
0,9990	66,5		

Примечание. Горизонтальный размер клетчатки 147 мм. Вертикальный размер клетчатки 88—120 мм.

На существующей сети водомерных постов России в большинстве случаев водомерные наблюдения систематически проводятся только за уровнями воды в реках. Поэтому определение расчетных уровней воды, совершенно необходимых для разработки проектов мостовых переходов, как правило, выполняют самостоятельно.

Непосредственное использование теоретического метода с применением уравнения вероятности Пирсон III, изложенного ранее для максимальных расходов, для вероятностной обработки уровней воды



Р и с. 27.3. Кривые вероятностей:

1 — расходов ($C_S > 0$); *2* — уровней ($C_S < 0$); *3* — расходов и уровней при $C_S \approx 0$

недопустимо. В этих случаях необходимо учитывать совпадение вероятностей превышения величин максимальных расходов и уровней и производить самостоятельную обработку рядов максимальных уровней специальным статистическим методом.

Графоаналитический расчет максимальных уровней воды расчетной вероятности превышения осуществляют в такой последовательности:

1. Ряд максимальных наблюдаемых уровней воды в реке ранжируют в убывающем порядке.

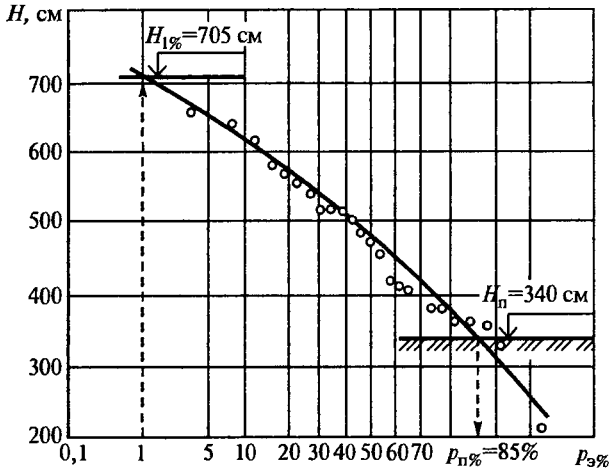
2. Каждому члену ранжированного ряда присваивают соответствующие эмпирические вероятности превышения, определяемые по формуле (27.1).

3. По полученным парам значений H_i и $p_{э\%i}$ наносят точки на клетчатку вероятностей.

4. Осуществляют графическую аппроксимацию полученного поля точек плавной кривой, которую затем экстраполируют в область малых вероятностей превышения.

5. По полученной таким образом кривой вероятностей прежде всего определяют расчетный уровень высокой воды (обычно в отсчетах рейки водомерного поста) $H_{p\%}$, расчетный строительный уровень $H_{10\%}$ и вероятность (частоту) затопления пойм $p_{п\%}$ в паводки в месте перехода (рис. 27.4).

Непосредственное определение расчетных уровней воды неприменимо для мостовых переходов в зонах эрозии или аккумуляции, где



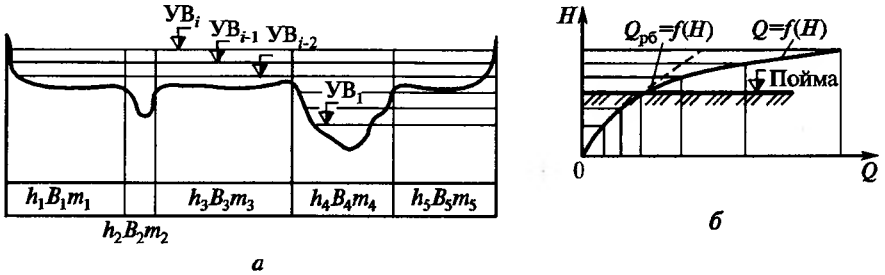
Р и с. 27.4. Пример определения расчетных гидрологических величин по клетчатке вероятностей

соответственно протекают процессы необратимого врезания русла в коренные породы с соответствующим снижением уровней воды (реки-каньоны) или отложение наносов с соответствующим повышением уровней воды (блуждающие реки).

Следует особо отметить, что при проектировании мостовых переходов расчетный уровень воды является характеристикой существенно более важной, чем расход. Так, установив расчетный уровень воды по клетчатке вероятностей, можно вычислить процентное распределение расчетного расхода между характерными элементами живого сечения долины реки (руслом и поймами), являющееся основной характеристикой при обосновании всех генеральных размеров сооружений мостового перехода. Такой расчет называют *морфометрическим.*

27.4. Методика выполнения морфометрических расчетов

При проектировании мостовых переходов в створах с неизученным гидрологическим режимом прогноз последнего нередко делают на основе приближенных морфометрических расчетов, при которых оценивают сопротивляемость речному потоку поверхности русла и пойм по их внешним морфологическим и геометрическим характеристикам с последующим определением скоростей течения и расходов воды по уравнению равномерного течения жидкости (Шези).



Р и с. 27.5. Схема к построению морфометрических кривых расхода общего $Q=f(H)$ и руслового бытового $Q_{рб}=f(H)$:

а — морфоствор; *б* — кривые расходов

Морфометрические расчеты используют для следующих целей:

построения кривых расходов общего $Q=f(H)$ и руслового бытового $Q_{рб}=f(H)$ (рис. 27.5);

оценки распределения расчетного общего расхода между элементами живого сечения долины в месте перехода (руслом и поймами). Величина распределения расчетного расхода между руслом и поймами — одна из основных характеристик, определяющих как генеральные размеры сооружений мостовых переходов, так и последующие условия их эксплуатации;

определения величин расчетных уровней в неизученных створах при известных величинах расчетных расходов;

оценки величин прошедших расходов по следам паводков на местности;

оценки бытовых скоростей течения в руслах и на поймах;

построения эпюр элементарных и интегральных расходов, используемых при специальных расчетах, в частности при расчетах групповых отверстий.

Уравнение равномерного течения жидкости, используемое в морфометрических расчетах, имеет вид

$$v=C\sqrt{RI},$$

где v — средняя скорость течения потока; R — гидравлический радиус, принимаемый равным для реальных речных потоков с достаточной степенью точности средней глубине потока h; I — уклон свободной поверхности потока; $C=mh^{1/6}$ — коэффициент Шези– Маннинга; m — коэффициент ровности, принимаемый в зависимости от морфометрических характеристик участка по табл. 27.4.

Тогда основное уравнение морфометрического расчета можно записать следующим образом:

$$v_i = m_i h_i^{2/3} I_б^{1/2}, \qquad (27.2)$$

где i — номер характерного участка морфоствора; $I_б$ — бытовой уклон свободной поверхности потока.

Таблица 27.4. **Коэффициенты ровности m**

Морфометрические признаки потока	Коэффициент ровности		
	наибольший	наименьший	средний
Русло земляное ровное; русло полугорных рек; незаросшие поймы	40	20	30
Русло земляное извилистое; русло галечно-валунное; суходол ровный; поймы, заросшие на 10%	30	20	25
Русло земляное очень извилистое; суходол извилистый; поймы, заросшие на 20%	25	15	20
Суходол, засоренный камнем и заросший; поймы, заросшие на 50%	20	10	15
Поймы, заросшие на 70%	15	5	10
Поймы, заросшие на 100%	10	0	5

Примечание. Вместо коэффициента ровности можно использовать коэффициенты шероховатости $n = \frac{1}{m}$.

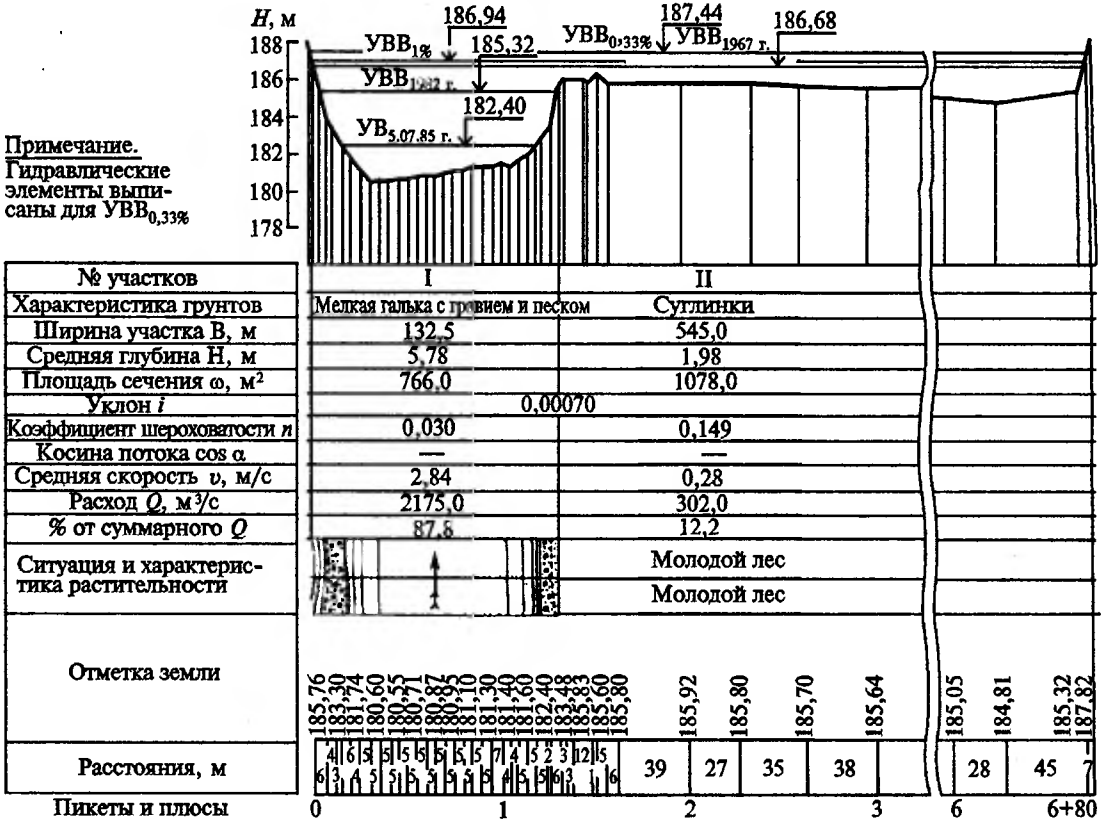
Обычная последовательность морфометрического расчета такая:

1. На имеющемся профиле морфоствора выделяют характерные участки долины реки, различающиеся по шероховатости (ровности) и глубинам и по морфометрическим признакам (см. табл. 27.4) назначают соответствующие коэффициенты шероховатости n_i или ровности участков m_i (рис. 27.6).

2. В соответствии со схемой (см. рис. 27.5) задаются j-м уровнем воды и для каждого i-го характерного участка (см. рис. 27.6) определяют площадь живого сечения ω_{ji} и среднюю глубину h_{ji}.

3. Вычисляют среднюю скорость течения v_{ji} на каждом i-м участке по формуле (27.2) и расходы воды $Q_{ji} = \omega_{ji} v_{ji}$.

4. Суммируют расходы на характерных участках долины реки и в конечном итоге определяют величины общего Q_j и руслового бытового расхода $Q_{рбj}$ при каждом j-м уровне воды и строят морфометрические кривые русловых $Q_{рб} = f(H)$ и общих $Q = f(H)$ расходов (см. рис 27.5).



Р и с. 27.6. Профиль морфоствора

Расчеты выполняют в табличной форме (см. рис. 27.6) либо чаще всего на компьютере.

Для створов, по которым известны величины расчетного уровня и расхода, морфометрический расчет дает возможность определить главную характеристику долины реки — распределение общего расхода между руслом и поймами:

$$\tau = \frac{Q_{рб}}{Q} = \frac{m_р B_{рб} h_{рб}^{5/3}}{m_р B_{рб} h_{рб}^{5/3} + \sum_{i=1}^{n} m_{пi} B_{пi} h_{пбi}^{5/3}},$$

где $m_р$, $m_{пi}$ — соответственно коэффициенты ровности русла и характерных участков пойм; $B_{рб}$, $B_{пi}$ — бытовая ширина русла и ширина i-го участка поймы; $h_{рб}$, $h_{пбi}$ — средняя глубина в русле и на i-м участке поймы.

Величины руслового и пойменного расходов определяют по выражениям:

$$Q_{рб} = Q\tau; \quad Q_{пб} = Q(1 - \tau).$$

Табличные значения коэффициентов ровности (шероховатости) по возможности следует корректировать по результатам натурных измерений скоростей течения при разных уровнях воды с одновременным установлением уклонов свободной поверхности потока.

Так как морфометрические расчеты (при использовании табличных значений коэффициентов ровности) могут давать существенные погрешности при назначении размеров сооружений мостовых переходов, то к результатам расчета мостовых переходов необходимо вводить обоснованные гарантийные запасы их устойчивости.

27.5. Аналитическая аппроксимация и универсальный метод определения расчетных гидрометеорологических характеристик

При выполнении гидрологических расчетов в ходе проектирования мостовых переходов возникает необходимость в интерполяции и экстраполяции кривых вероятностей гидрометеорологических величин, устанавливаемых по натурным данным.

Речь идет об аппроксимации гидрометеорологических зависимостей следующих типов:

кривых связи расходов, уровней, осадков и т.д. (1-й тип);

кривых зависимости $H = f(Q)$, $I = f(H)$, $v = f(H)$ и других гидрометрических зависимостей (2-й тип);

кривых вероятностей расходов, уровней, осадков, толщин льда и т.д. (3-й тип).

В настоящее время в практике проектирования наибольшее распространение получили графическая и некоторые другие разновидности графоаналитической аппроксимации. Всем им, однако, присущ один обший недостаток — субъективизм, приводящий при одних и тех же исходных данных к неоднозначности решений, нередко выходящих за пределы разумного (например, на мостовом переходе через р. Хопер у ст. Усть-Бузулукская).

Универсальный метод аппроксимации гидрометеорологических величин, основанный на использовании метода наименьших квадратов, состоит в следующем.

Для зависимостей 1-го и 2-го типов необходимо установление наличия либо отсутствия связи двух величин (X и Y) путем вычисления коэффициента корреляции r_{XY}. При положительном результате ($r_{XY} \geq 0{,}6$) определяют аппроксимирующие функции и вычисляют значения $Y = f(X)$ и $X = f(Y)$ по заданию пользователя.

Особенностью вычисления кривых вероятности (зависимостей 3-го типа) является то, что в качестве характеристик натурных точек задают только их ординаты (максимальные расходы, уровни, толщины льда и т.д.), обычно в натурной наблюдаемой последовательности. В процессе счета значения величин ранжируются в убывающем порядке. Для каждого члена ряда вычисляется его эмпирическая вероятность превышения по формуле (27.1) и строится аппроксимирующая зависимость $Y = f(p_{э\%})$ в масштабе клетчатки нормального распределения (см. табл. 27.3).

Указанная методика, реализованная в виде компьютерной программы GIST[1], позволяет решать следующие практические задачи:

1. Вычисление коэффициента корреляции для установления наличия (или отсутствия) корреляционной связи $Y = f(X)$:

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^{n}[(X_i - X_0)(Y_i - Y_0)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - X_0)^2 (Y_i - Y_0)^2}},$$

где X_i, Y_i — значения координат натурных точек; X_0, Y_0 — средние арифметические значения рядов чисел X и Y.

[1] Программа GIST разработана С.Э. Шпаком.

Вычисленное значение коэффициента корреляции r_{XY} сравнивается с минимально допустимым значением $r_{min} = 0{,}6$ и при выполнении условия $r_{XY} \geq r_{min}$ выполняют дальнейшие расчеты.

2. Ранжирование членов статистического ряда в убывающем порядке и вычисление эмпирической вероятности превышения элементов ряда по формуле (27.1).

3. Определение коэффициентов аппроксимирующей функции методом наименьших квадратов:

$$Y = f(X) = B_0 + B_1X + B_2X^2 + B_3X^3 + ... + B_kX^k, \qquad (27.3)$$

где $B_0, B_1, ..., B_k$ — постоянные коэффициенты, подлежащие определению; k — порядок аппроксимирующей функции ($k = 1 \div 5$).

Основное положение метода наименьших квадратов состоит том, что сумма квадратов отклонений исходных величин от аппроксимирующей функции должна быть минимальной:

$$\sum_{i=1}^{n}(Y_i^* - Y_i)^2 = \sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i^2 \Rightarrow \min, \qquad (27.4)$$

где Y_i^* и Y_i — значение искомой величины, полученное по аппроксимирующей зависимости, и фактическое значение исходной величины.

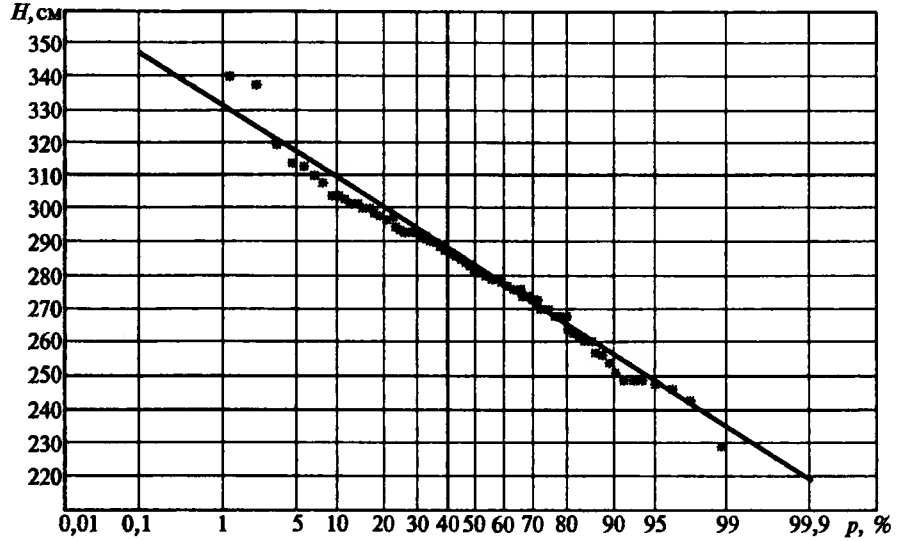
Подставляя в выражение (27.3) все экспериментальные значения исходных точек (X_i, Y_i), получим систему из n начальных уравнений:

$$\begin{aligned}
&B_0 + B_1X_1 + B_2X_1^2 + ... + B_kX_1^k - Y_1 = \varepsilon_1;\\
&B_0 + B_1X_2 + B_2X_2^2 + ... + B_kX_2^k - Y_2 = \varepsilon_1;\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&B_0 + B_1X_n + B_2X_n^2 + ... + B_kX_n^k - Y_n = \varepsilon_1.
\end{aligned}$$

Если уравнение (27.4) записать в развернутом виде, то получим

$$\begin{aligned}
&(B_0 + B_1X_1 + B_2X_1^2 + ... + B_kX_1^k - Y_1)^2 +\\
&+ (B_0 + B_1X_2 + B_2X_2^2 + ... + B_kX_2^k - Y_2)^2 + ... \qquad (27.5)\\
&... + (B_0 + B_1X_n + B_2X_n^2 + ... + B_kX_n^k - Y_n)^2 \Rightarrow \min.
\end{aligned}$$

Переменными величинами в этом выражении являются коэффициенты $B_0, B_1, B_2, ..., B_k$ и для них отыскиваются такие значения, при которых выражение (27.5) имеет наименьшую величину. Если для этой цели воспользоваться общим приемом дифференциального исчисления и найти частные производные выражения (27.5) по всем ис-



Р и с. 27.7. Кривая вероятностей максимальных уровней на р. Иртыш (водомерный пост г. Ханты-Мансийска)

комым коэффициентам B, приравняв их нулю, окончательно получим

$$nB_0 + (X_1 + X_2 + \ldots + X_n)B_1 + (X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_n^2)B_2 + \ldots = (Y_1 + Y_2 + \ldots + Y_n);$$

$$(X_1 + X_2 + \ldots + X_n)B_0 + (X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_n^2)B_1 + (X_1^3 + X_2^3 + \ldots + X_n^3)B_2 + \ldots$$

$$\ldots + \quad = (Y_1X_1 + Y_2X_2 + \ldots + Y_nX_n);$$

$$(X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_n^2)B_0 + (X_1^3 + X_2^3 + \ldots + X_n^3)B_1 + (X_1^4 + X_2^4 + \ldots$$

$$\ldots + X_n^4)B_2 + \ldots = (Y_1X_1^2 + Y_2X_2^2 + \ldots + Y_nX_n^2); \qquad (27.6)$$

.....

$$(X_1^k + X_2^k + \ldots + X_n^k)B_0 + (X_1^{k+1} + X_2^{k+1} + \ldots + X_n^{k+1})B_1 + (X_1^{k+2} + X_2^{k+2} +$$

$$+ \ldots + X_n^{k+2})B_2 + \ldots = (Y_1X_1^k + Y_2X_2^k + \ldots + Y_nX_n^k).$$

Систему (27.6), состоящую из $(k+1)$ линейных уравнений с $(k+1)$ неизвестными коэффициентами B, решают одним из известных способов линейной алгебры (в программе GIST реализован «метод исключения Гаусса»). В результате этого решения определяют все

($k + 1$) неизвестных коэффициента B аппроксимирующего уравнения (27.3).

На рис. 27.7 представлены результаты статистической обработки по программе GIST максимальных уровней за 107-летний период наблюдений на р. Иртыш (водомерный пост г. Ханты-Мансийска).

4. Определение среднеквадратического отклонения вычисленных ординат от ординат натурных точек и коэффициента детерминации.

5. Вычисление значений Y при $X_{min} \le X \le X_{max}$ с заданным шагом ΔX.

6. Вывод на экран монитора или на принтер графика функции $Y = f(X)$ при $X_{min} \le X \le X_{max}$.

7. Вычисление значений Y при заданных значениях X.

8. Вычисление значений X при заданных значениях Y.

9. Вычисление значений гидрометеорологических величин следующих вероятностей превышения p(%): 0,1; 0,33; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 85; 90; 95; 98; 99; 99,5; 99,9.

10. То же, для усеченных кривых (выше средней отметки поймы) p(%): 0,1; 0,33; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 40; 50.

Результаты расчета выводятся на экран монитора, а также в виде таблиц и графиков на принтере (см. рис. 27.7).

Глава 28

ВИДЫ ДЕФОРМАЦИЙ РУСЕЛ НА МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

28.1. Природные деформации русел рек

Определение ожидаемых опасных бытовых деформаций (глубинных и в плане) русел рек у мостовых переходов называют *прогнозом природных русловых деформаций.*

Природные деформации русел, соответствующие типу реки по русловому процессу (см. гл. 26), имеют место независимо от наличия на реке тех или иных инженерных сооружений (в том числе и мостовых переходов). Однако строительство инженерных сооружений на реках, приводящее обычно к нарушению бытовых условий жизни рек, может привести к изменению особенностей руслового процесса на участках русел рек, подверженных влиянию инженерных сооружений, и часто к изменению темпа русловых переформирований.

При проектировании мостовых переходов нельзя ориентироваться на ситуацию, сложившуюся на реке в месте перехода на момент производства изысканий (что, к сожалению, нередко происходит), а необходимо прогнозировать те неизбежные русловые переформирования, которые уже в ходе эксплуатации инженерных сооружений после их строительства могут привести к аварийным ситуациям, даже с возможными перерывами движения и соответствующими значительными экономическими потерями.

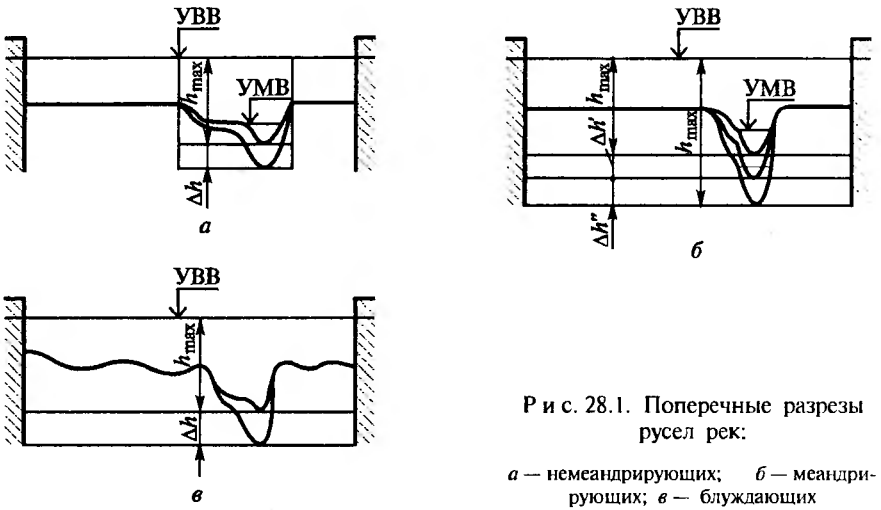
Ориентируясь на строгую инженерную классификацию рек по типам руслового процесса, разработанную в Гидропроекте К.И. Россинским и И.А. Кузьминым и развитую применительно к мостовым переходам проф. О.В. Андреевым, можно сформулировать следующие основные правила проектирования мостовых переходов на реках различных типов.

Горные реки (каньоны) — это верховья рек в зоне эрозии. Отличаются практическим отсутствием пойм и узкими долинами и руслами. Русловый процесс характеризуется систематической врезкой дна русла в коренные породы, сопровождающейся уменьшением объемов выноса продуктов размыва на нижележащие участки реки, уменьшением уклонов и ширины русла.

При фундировании опор мостов в руслах рек-каньонов учитывают неизбежное понижение отметок дна, ожидаемое за расчетный срок службы мостового перехода. Темп врезки каньонных русел, величины которых могут достигать нескольких метров в столетие, прогнозируют на основе сопоставления съемок русел за разные годы, а также по результатам сопоставления гидрометрических кривых расходов на водомерных постах с достаточно длительными периодами наблюдений (см. гл. 26).

Равнинные немеандрирующие реки — это участки русел рек в зоне транзита. Характеризуются значительным поступлением наносов с вышележащих участков, практически неподвижным в плане и неизвилистым руслом, повторяющим повороты долины и относительно слаборазвитыми поймами. Перенос руслоформирующих наносов на немеандрирующих реках происходит упорядоченно в виде медленно сползающих вниз по течению крупных структурных скоплений наносов — побочней, попеременно примыкающих то к одному, то к другому берегу (см. рис. 26.18, *а*).

Природные русловые деформации немеандрирующих рек выражаются в перемещении вертикали с наибольшей глубиной в пределах русла с практически неподвижными берегами. При этом наибольшая бытовая глубина может разместиться у любой из русловых опор моста и еще больше возрасти при смещении под мост вершины побочня.



Р и с. 28.1. Поперечные разрезы русел рек:

а — немеандрирующих; *б* — меандрирующих; *в* — блуждающих

Природные деформации русел таких рек прогнозируют на основе анализа русловых съемок, охватывающих участок русла с несколькими побочнями. Темп сползания побочней оценивают по результатам сопоставления топографических съемок русел за разные годы.

Проектируя мостовой переход через немеандрирующую реку, при расчетах глубин фундирования опор моста и разбивке его отверстия на пролеты учитывают возможное перемещение наибольшей глубины под любую из русловых опор, а также дополнительное увеличение наибольшей глубины русла Δh за счет смещения под мост вершины одного из вышележащих побочней (рис. 28.1, *а*).

Ширина русел немеандрирующих рек (в среднем постоянная в пределах зоны влияния мостового перехода) может несколько меняться в ту или иную сторону в разных расчетных створах. Эту относительную изменчивость ширины учитывают при детальных компьютерных расчетах (математическом моделировании) мостовых переходов. Поскольку русла немеандрирующих рек в основном повторяют повороты долины, то их извилистость при расчетах не учитывают.

Равнинные меандрирующие реки — это также участки русел рек в зоне транзита, но со значительно меньшим поступлением наносов с вышележащих участков. Характеризуются извилистыми руслами в плане (см. рис. 26.18, *а*), значительно развитыми поймами и наличием на них большого числа подковообразных староречий. Природные русловые деформации заключаются в боковых перемещениях русла, максимальная глубина которых может разместиться у любой из опор, а также в продольном смещении вертикали с наибольшей глубиной

той излучины, на которой расположен мост. Продольное смещение излучин может привести к увеличению кривизны той из них, на которой расположен мост, и в связи с этим вызвать дополнительное возрастание наибольшей глубины. Природные русловые деформации меандрирующих рек наиболее точно прогнозируют на основе сопоставления топографических съемок разных лет, а также на основе обследования наиболее крутых излучин на участках русел рек, прилегающих к мостовому переходу.

При проектировании мостовых переходов через меандрирующие реки заглубление фундаментов опор предусматривают с учетом возможного смещения максимальной глубины русла под любую из опор, если у опоры нет ограничения размыва по геологическим условиям. При этом учитывают дополнительное углубление подмостовых русел за счет продольного перемещения наиболее глубокой части излучины под мост $\Delta h'$ и углубление за счет увеличения кривизны излучены $\Delta h''$ (рис. 28.1, *б*).

Русла меандрирующих рек характеризуются не только некоторыми изменениями ширины русла относительно среднего ее значения в расчетных створах, но и извилистостью русла, не повторяющего изгибы долины. Поэтому при детальных компьютерных расчетах мостовых переходов через меандрирующие реки (математическом моделировании) обычно учитывают не только переменную ширину русла, но и его извилистость.

Предгорные блуждающие реки — это участки русел рек в зоне аккумуляции. Характеризуются неразвитыми поймами либо полным их отсутствием и широкими, но относительно мелкими руслами. Руслоформирующие наносы, в избытке поступающие с вышележащих участков, располагаются в виде беспорядочных скоплений наносов (островов, осередков, отмелей, побочней), разбивающих меженное русло на множество рукавов (см. рис. 26.18, *в*). Систематическое отложение наносов в руслах блуждающих рек приводит к необратимому повышению их дна, нередко выше окружающей местности. Природные русловые деформации на мостовых переходах через блуждающие реки заключаются в возможном смещении максимальной глубины к любой из опор моста, в дополнительном увеличении максимальной глубины при смещении под мост наиболее крупных скоплений наносов и в систематическом повышении уровней воды, обусловливаемом повышением отметок дна русла при аккумуляции наносов. Природные русловые деформации блуждающих рек прогнозируют на основе анализа материалов русловых съемок разных лет и сопоставления гидрометрических кривых расходов на водомерных постах с достаточно длительными рядами наблюдений (см. гл. 26).

При проектировании мостовых переходов через блуждающие реки для безопасного фундирования опор мостов обязательно учитывают дополнительное увеличение максимальной бытовой глубины Δh, связанное с перемещением под мост особенно крупных структурных скоплений наносов. Появление наибольших глубин следует ожидать у любой из опор мостов (рис. 28.1, *в*). Отметки проезда на мосту и подходах назначают с учетом необратимого поднятия уровней воды за расчетный срок службы моста.

Русла блуждающих рек излишне широки для переноса всего количества наносов, поступающих с вышележащих участков, поэтому отверстия мостов назначают такими, при которых река меняет тип руслового процесса с блуждания на побочневый. При детальных компьютерных расчетах мостовых переходов через блуждающие реки (математическом моделировании) бытовую ширину русла принимают не по фактическим размерам его в створе перехода, а равной меньшей ширине, соответствующей изменению типа руслового процесса.

Методика учета природных деформаций русел рек с различным типом руслового процесса применительно к мостовым переходам разработана проф. О.В. Андреевым.

28.2. Общий размыв подмостовых русел

Одним из неизбежных и опасных видов деформаций русел на мостовых переходах, угрожающих устойчивости опор мостов, является общий размыв, развивающийся в результате стеснения паводкового потока непереливаемыми подходами к мосту. Расчет общего размыва представляет собой важнейшую часть проектов мостовых переходов по установлению глубин заложения фундаментов опор мостов.

В 1926 г. австрийским ученым Ф.М. Экснером было получено дифференциальное уравнение баланса наносов, описывающее развитие общих русловых деформаций во времени и по длине реки независимо от их причины:

$$\frac{\partial G}{\partial l_{\text{р}}} = B_{\text{р}} \frac{\partial h_{\text{р}}}{\partial t} + h \frac{\partial B_{\text{р}}}{\partial t}, \qquad (28.1)$$

где G — секундный расход наносов руслоформирующих фракций; $B_{\text{р}}$ — ширина русла; $h_{\text{р}}$ — глубина русла, считая от бровок до дна; $l_{\text{р}}$ — длина по руслу; t — время.

Уравнение баланса наносов (28.1) для практических расчетов было почти одновременно решено в 1932 г. учеными М.А. Великано-

вым и Н.М. Бернадским и с тех пор нашло широкое применение в гидротехническом проектировании как в России, так и за рубежом.

Для мостовых переходов уравнение (28.1) было впервые решено в 1955 г. проф. О.В. Андреевым и получены простые зависимости для определения общего размыва под мостами через реки с различным типом руслового процесса. Очевидно, что второй и третий члены этого уравнения выражают приращения глубины и ширины русла в единицу времени соответственно. Для удобства анализа этого уравнения можно предположить, что процесс размыва-заноса идет в русле с фиксированными по ширине сечениями (это справедливо, если новые ширины русла вычислить заранее), для которых $\frac{\partial B_р}{\partial t}=0$. Тогда уравнение баланса упростится:

$$\frac{\partial G}{\partial l_р}=B_р\frac{\partial h_р}{\partial t}. \qquad (28.2)$$

Отсюда следует, что размывы в русле прекращаются $\frac{\partial h_р}{\partial t}=0$, как только восстанавливается продольный баланс наносов $\frac{\partial G}{\partial l_р}=0$, чему соответствует $G_б = G_м$.

Приравняв выражения расхода наносов в бытовом и подмостовом сечениях, О.В. Андреев получил сравнительно простое уравнение для расчета предельного общего размыва:

$$h_{рм}=h_{рб}\left(\frac{Q_{рм}}{Q_{рб}}\right)^{8/9}\left(\frac{B_{рб}}{B_{рм}}\right)^{2/3}, \qquad (28.3)$$

где $h_{рб}$, $h_{рм}$ — соответственно глубина в русле под мостом до и после размыва; $Q_{рб}$, $Q_{рм}$ — русловый бытовой расход и расход в русле под мостом; $B_{рб}$, $B_{рм}$ — бытовая ширина русла и ширина русла под мостом.

Формула (28.3), применяемая для пика расчетного паводка, дает значение предельного размыва в предположении, что время стояния наивысшего расчетного уровня практически достаточно для стабилизации размыва. Однако, для того чтобы размыв развился до своего предельного значения, в русле на значительном удалении вверх от оси моста должны быть вымыты большие объемы грунта, на что требуется определенное время. В реальных условиях, когда наивысший уровень расчетного паводка держится весьма ограниченное время (от нескольких часов до нескольких дней), этого времени оказывается недостаточ-

но, и фактические размывы достигают значений существенно меньших предельных. Однако в ряде случаев проход расчетного паводка по дну, существенно размытому серией уже прошедших больших и малых паводков, может вызвать размыв, близкий предельному.

Таким образом, формула предельного размыва О.В. Андреева (28.3) нередко дает результаты, близкие к фактическим. Тем не менее на реках с большой шириной разлива и с относительно короткими паводками, а также на реках, несущих крупные наносы, фактические размывы могут быть весьма далекими от предельных, тогда использование этой формулы создает необоснованно излишние запасы устойчивости сооружений.

Вероятное отклонение фактического размыва от предельного дает детальный расчет по уравнению баланса наносов (28.2) в конечных разностях, описывающего процесс развития общих русловых деформаций во времени и по длине реки.

В связи с исключительно большим объемом вычислений при решении уравнения баланса наносов (28.2) в конечных разностях широкое его использование при проектировании мостовых переходов стало возможным лишь с появлением компьютерной техники.

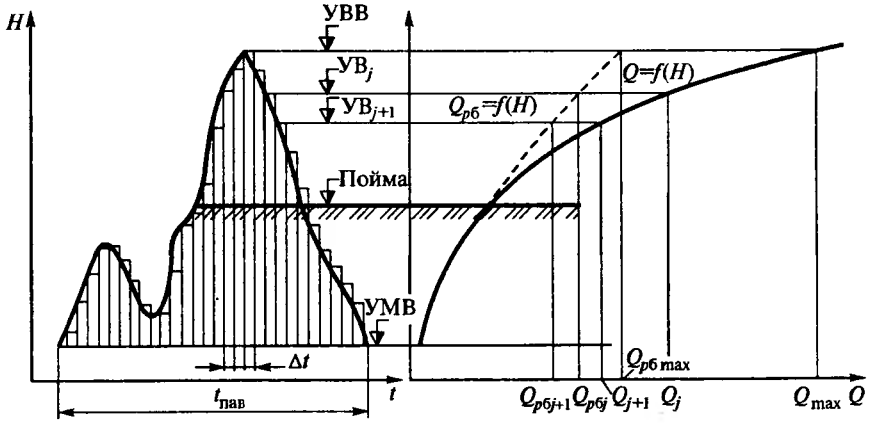
Если известен ход рассчитываемого паводка во времени $H = f(t)$, связь транспортирующей способности потока G с расходом воды в русле $Q_р$ и площадью живого сечения русла $\omega_р$, а также закон изменения руслового расхода вдоль потока при любом уровне воды $Q_р = f(l_р)$, то можно подробно описать процессы, протекающие на каждом конкретном мостовом переходе в течение одного паводка или их серии, решая уравнение (28.2) в конечных разностях:

$$\Delta h_{pmj} = \frac{G_{(m+1)j} - G_{mj}}{B_{pm}\Delta l_{pm}} \Delta t_j, \qquad (28.4)$$

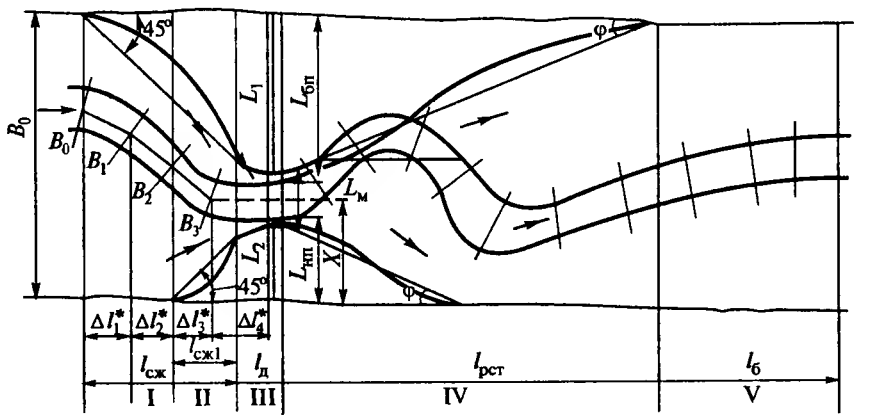
где Δh_{pmj} — среднее понижение со знаком плюс (повышение) дна русла на расчетном участке Δl_{pm} за расчетный интервал времени Δt_j; G_{mj}, $G_{(m+1)j}$ — расходы наносов руслоформирующих фракций (в рыхлом теле), вычисленные для начального и конечного створов расчетного участка Δl_{pm}; B_{pm} — средняя ширина m-го участка русла.

Уравнение (28.4) применяют последовательно для большого числа расчетных интервалов Δl_{pm} длины, на которые делят исследуемый участок русла выше и ниже моста, и большого числа ступенек каждого паводка с шагом Δt_j (рис. 28.2).

Расчеты по уравнению (28.4) связаны с огромными объемами вычислительных работ, поэтому реально могут быть использованы для практического применения лишь с использованием современной компьютерной техники.



а



б

Р и с. 28.2. Графики (*а*) и план паводкового потока (*б*) для расчета русловых деформаций по уравнениям баланса наносов в конечных разностях

В Союздорпроекте в 1967 г. была разработана программа расчета русловых деформаций на мостовых переходах «Гидрам-1» и в 1968 г. «Гидрам-2», а затем в 1972 г. в Гипротрансмосте «Гидрам-3» для компьютеров 1, 2 и 3-го поколения. В 1994 г. в МАДИ-ГТУ была разработана программа для PC IBM «Рома» с графической интерпретацией исходных данных и результатов расчета[1].

[1] Программа «Рома» разработана С.Э. Шпаком.

С помощью этих программ, представляющих собой математические модели мостовых переходов с разной степенью схематизации и рассматривающих процесс деформаций русла и свободной поверхности потока во времени и по длине реки, прогнозируют общий размыв под мостами, одновременно решая широкий круг других необходимых инженерных задач, и позволяют изучать процессы, протекающие на мостовых переходах.

В результате математического компьютерного моделирования проектируемых и существующих мостовых переходов удалось разработать рекомендации, освобождающие в ряде случаев от обязательного использования компьютеров, однако не в ущерб точности результатов вычислений и качества принимаемых инженерных решений. Программы «Гидрам» и «Рома» разработаны со строгим соблюдением требований действующих нормативных документов на проектирование мостовых переходов[1].

Существуют и другие предложения по расчету общих размывов, находящиеся либо в противоречии с одним из основных законов природы — законом сохранения материи (расчет «по допускаемым скоростям»), либо основанные на использовании уравнения баланса наносов (28.2), но решаемые с грубыми нарушениями правил интегрирования дифференциальных уравнений в конечных разностях.

Допустимые деформации русел под мостами, поддающиеся инженерному регулированию, определяют по соответствующим нормативным документам с учетом глубины погружения фундамента.

28.3. Общий размыв пойменных участков отверстий мостов

Общий размыв на пойменных участках обычно определяют лишь для мостов через немеандрирующие реки, если отверстиями охватываются как русло, так и части пойм. На реках, меандрирующих при фундировании пойменных опор, учитывают возможное смещение наибольшей глубины русла к любой из опор, включая пойменные, и надобности в отдельном расчете общего размыва на пойме не возникает.

Исключение составляют случаи, когда укрепляют берега подмостового русла меандрирующей реки и опоры пойменной эстакады фундируют исходя из ожидаемого размыва на пойме, а также при

[1] Строительные нормы и правила. Мосты и трубы. Нормы проектирования (СНиП 2.05.03—84). — М.: Стройиздат, 1985.

проектировании на пойме временных сооружений мостового перехода.

Следует всегда помнить, что строительство пойменных частей подмостовых отверстий с целью облегчения работы всего мостового перехода в паводки почти всегда экономически нецелесообразно, ибо при несущественном снижении общих размывов и подпоров почти всегда получают обратный экономический эффект (резкое увеличение сметной стоимости строительства и последующих эксплуатационных затрат). Поэтому развитие отверстий мостов на поймы в необходимых пределах иногда осуществляют только с целью решения других инженерных проблем (наиболее часто для обеспечения проезда под мостами).

Общий размыв на пойме, где нет влечения руслоформирующих наносов, всегда начинается, как только скорость течения превысит неразмывающую для грунтов, из которых сложена поверхность поймы. С развитием пойменного размыва скорости течения уменьшаются и размывы прекращаются после снижения их до неразмывающих для грунтов, обнаженных в процессе размыва.

Принцип раздельного расчета размывов на генетически разнородных пойменной и русловой частях подмостового сечения был впервые сформулирован проф. О.В. Андреевым в 1957 г.

Общий размыв на пойменном участке подмостового сечения всегда вычисляют по неразмывающим скоростям течения для грунтов, из которых сложена пойма:

$$h_{пм} = \frac{\beta_п v_{пб} h_{пб}}{v_{нер}(1-\lambda)}, \qquad (28.5)$$

где $h_{пб}$, $h_{пм}$ — соответственно глубина на пойме до и после размыва; $v_{нер}$ — средняя неразмывающая скорость для грунтов поймы; $v_{пб}$ — средняя бытовая скорость на пойме; $\lambda = b_{оп}/l_{пр}$ — относительная ширина опоры ($b_{оп}$ — ширина опоры по фасаду, $l_{пр}$ — длина пролета); $\beta_п \approx 1{,}1\beta$ — степень стеснения пойменного потока (β — общая степень стеснения потока подходами к мосту).

Входящая в формулу (28.5) средняя неразмывающая скорость зависит от рода грунта и глубины потока. При расчетах размывов в связных грунтах среднюю неразмывающую скорость ориентировочно можно определить по табл. 28.1. Существенное уточнение расчета может быть получено при использовании данных Ц.Е. Мирцхулавы.

Таблица 28.1. **Средние неразмывающие скорости для связных грунтов**

Грунты	Разновидность грунтов	Объемный вес, тс/м^3	Глубина потока, м			
			0,4	1	2	3
			Средние допустимые скорости течения, м/с			
Глины тяжелые и тощие суглинки	Малоплотные	1,20	0,35	0,40	0,45	0,50
	Средней плотности	1,20—1,65	0,70	0,85	0,95	1,10
	Плотные	1,65—2,05	1,00	1,20	1,40	1,50
	Очень плотные	2,05—2,15	1,40	1,70	1,90	2,10
Лёссы	Средней плотности	1,20—1,65	0,60	0,70	0,80	0,85
	Плотные	1,65—2,05	0,80	1,00	1,20	1,30
	Очень плотные	2,05—2,15	1,10	1,30	1,50	1,70

Так как величина средней неразмывающей скорости зависит от искомой глубины потока, то расчет по формуле (28.5) выполняют методом последовательных приближений. При этом в расчет вводят значение неразмывающей скорости для грунтов на линии размыва.

Для расчетов в несвязных грунтах, подставив в формулу (28.5) выражение неразмывающей скорости

$$v_{\text{нер}} = \frac{v_{\text{нд}}}{d^{1/6}} h_{\text{пм}}^{1/6},$$

можно получить

$$h_{\text{пм}} = \left[\frac{\beta_{\text{п}} v_{\text{пб}}}{(1-\lambda)} \frac{d^{1/6}}{v_{\text{нд}}} h_{\text{пб}}\right]^{6/7} = A^{6/7}, \qquad (28.6)$$

где $v_{\text{нд}}/d^{1/6}$ — определяют по табл. 30.2.

Для удобства вычислений по формуле (28.6) можно пользоваться следующей шкалой:

A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
$A^{6/7}$	1	1,8	2,55	3,3	4,0	4,7	5,3	5,9	6,55	7,2	8,4	9,55

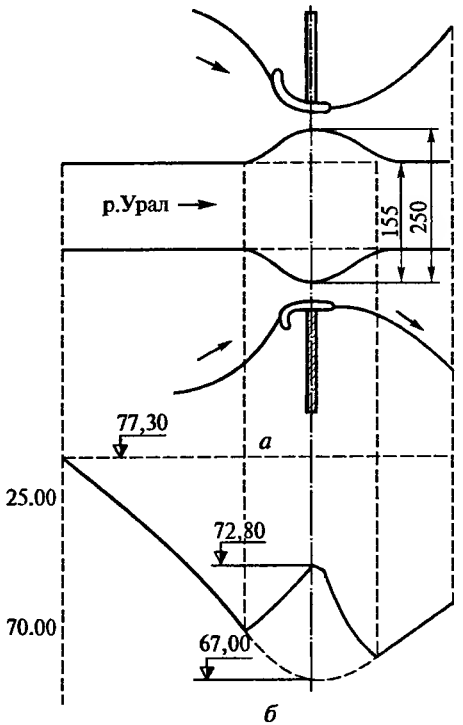
Геологическое строение пойменных участков обычно слоистое. Верхний слой, как правило, бывает представлен связными грунтами пойменного наилка, ниже идут несвязные грунты современного аллювия, состав которых также может меняться с глубиной. При слоистых напластованиях расчет удобно вести либо графоаналитически, либо методом подбора на компьютере или программируемом микрокалькуляторе.

28.4. Боковые деформации русел на мостовых переходах

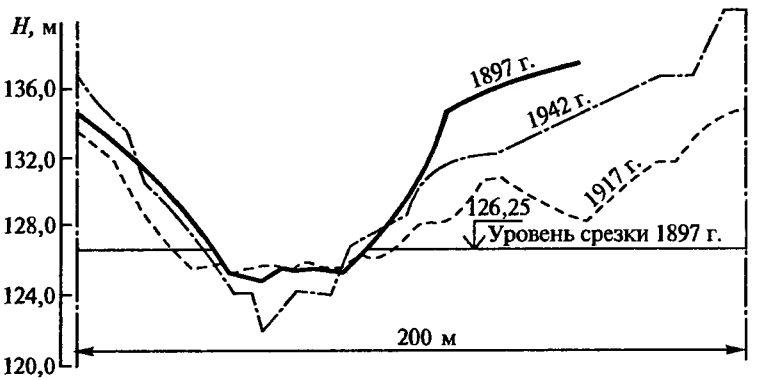
Русла рек формируются под действием разных по высоте паводков в течение длительного периода времени. В соответствии с колебаниями стока имеют место и некоторые колебания размеров русел. Однако в среднем размеры русел рек в пределах каждого конкретного участка остаются достаточно устойчивыми во времени, если, конечно, в результате хозяйственной деятельности человека или по другим причинам не происходит резкого изменения гидрологического и руслового режимов водотока. Размеры русла (его глубина и ширина) определяются не всем расходом, проходящим через данное сечение долины реки, а лишь его частью — русловым бытовым расходом.

Сооружение мостового перехода не меняет общего расхода, проходящего через данное сечение реки, но меняет на участках, прилегающих к мостовому переходу, естественное распределение общего расхода между характерными частями долины реки — руслом и поймами. В период, когда поймы затоплены, русловый расход на участке влияния мостового перехода, измеряемого нередко многими километрами, оказывается искусственно увеличенным за счет дополнительного слива вод с части пойм, занимаемой подходами. Очевидно, что чем больше относительная часть общего расхода проходит на поймах и чем чаще происходит затопление пойм в паводки, тем в большей степени мостовой переход меняет естественный русловый режим реки на участке его влияния и, следовательно, тем большие размеры русла должны этому новому режиму соответствовать, т.е. тем большее самоуширение русла может произойти или тем большее искусственное уширение на мостовом переходе, устойчивое во времени, может быть выполнено.

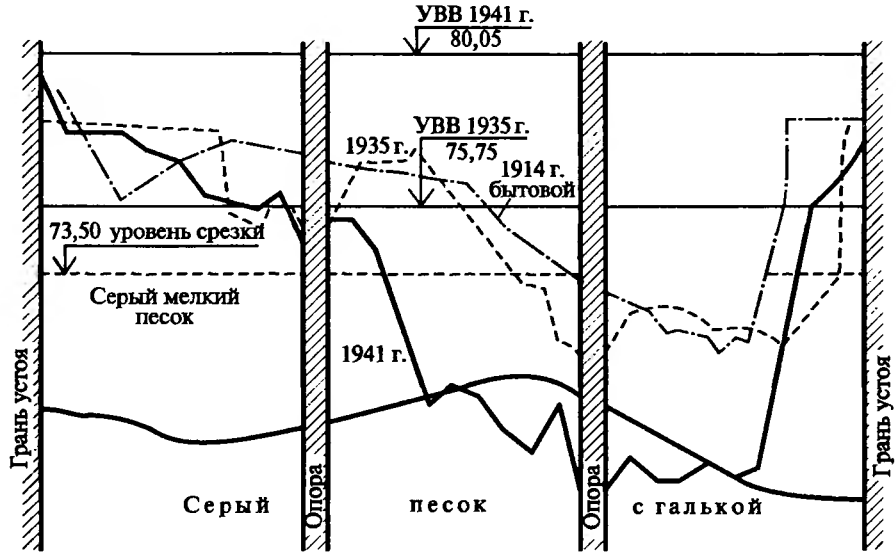
Искусственное уширение русла под мостом (срезка) — один наиболее дешевых и эффективных регуляторов общего размыва, позволяющий при сравнительно малых затратах назначить для одного и того же отверстия моста существенно меньшее заложение его опор. На рис. 28.3 представлены профили размытого дна вдоль по руслу реки на мостовом переходе через р. Урал у г. Оренбурга, определенные компьютерным расчетом по программе «Гидрам-3» при равных прочих условиях с уширением и без уширения подмостового русла. Искусственное уширение русла с $B_{рб} = 155$ м до $B_{рм} = 230$ м привело к тому, что в результате прохода расчетного паводка средняя глубина смыва грунта в русле под мостом оказалась на 5,8 м меньше, чем для варианта без срезки.



Р и с. 28.3. План (*а*) и профиль (*б*) мостового перехода через р. Урал



Р и с. 28.4. Профили подмостового русла в разные годы на мостовом переходе через р. Оку



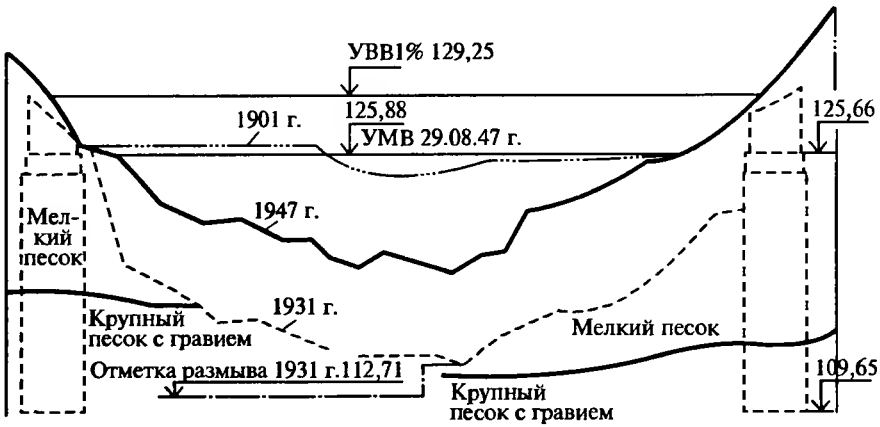
Р и с. 28.5. Профили подмостового русла в разные годы на мостовом переходе через р. Илек

Опыт эксплуатации многочисленных мостовых переходов показал, что во многих случаях через несколько лет после введения перехода в эксплуатацию срезка частично или полностью заносится. В качестве примера на рис. 28.4 приведены фактические профили живых сечений под мостом через р. Оку у г. Белева, построенным в 1897 г. При бытовой ширине русла 80 м срезка была выполнена на всю ширину моста, т.е. до 195 м. Однако уже спустя 10 лет, т.е. к 1907 г., река частично, а к 1942 г. практически полностью восстановила бытовые контуры русла.

На мостовом переходе через р. Илек, построенном в 1914 г. (рис. 28.5), при бытовой ширине русла 100 м была выполнена срезка на всю ширину отверстия, т.е. на 245 м. К 1935 г. река в значительной степени занесла первоначальную срезку и выработала новое русло размером 140 м.

Очевидно, что учет срезок в таких случаях при назначении глубин фундаментов опор приводит к опасным решениям, так как к моменту прохода расчетных паводков срезки оказались частично или полностью занесенными наносами и под мостами возникали размывы, не предусмотренные расчетами.

Однако, несмотря на громадное количество мостовых переходов с неудовлетворительно работающими срезками, нельзя делать вывод



Р и с. 28.6. Профили подмостового русла в разные годы на мостовом переходе через р. Друть

об их неприменимости вообще. Есть немало примеров, когда срезка активно включалась в работу подмостовых отверстий, и даже немало случаев самоуширения русел, когда срезка пойменного берега не была предусмотрена, однако река ее выполняла сама. Характерный пример самоуширения (рис. 28.6) имел место под мостом через р. Друть, построенным в 1901 г. Здесь к 1931 г. река выработала себе русло шириной 100 м на всю ширину отверстия при бытовой его ширине 40 м до постройки моста.

Теоретический метод расчета уширений подмостовых русел на мостовых переходах на основе решения уравнения баланса наносов (28.2), разработанный в 1973 г. и реализованный в виде компьютерной программы «Рур-1», сводится к следующему[1].

Изучая ежегодные графики колебания воды в реках, можно заметить, что чем выше уровень воды, тем короче время, в течение которого он оказывается превышенным более высокими уровнями. Самые высокие уровни бывают достигнуты далеко не каждый год, а лишь в редкие и исключительные по высоте паводки. Наинизший уровень межени, наоборот, в течение любого годового цикла бывает превышен более высокими уровнями. Рассматривая многолетний ход уровней во времени для каждого створа водотока, на основе данных многолетних наблюдений за уровнями воды можно построить график

[1] Применительно к персональным компьютерам IBM PC программа «Рур» была составлена в 1994 г. С.Э. Шпаком.

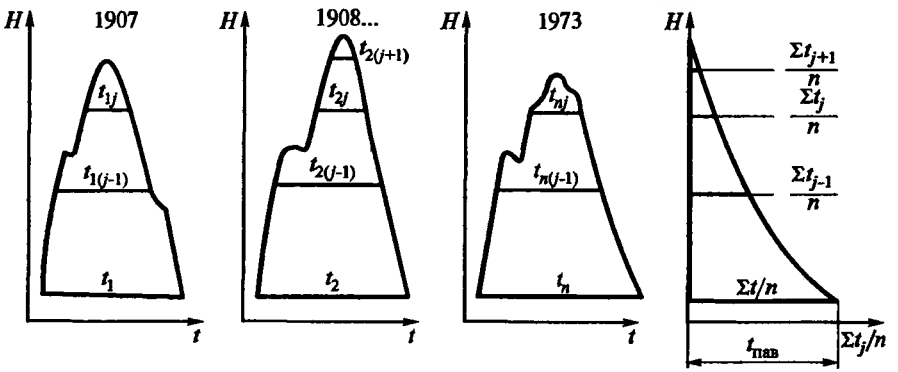
$$H = f\left(\frac{\sum_{j=1}^{k} t_j}{n}\right), \qquad (28.7)$$

характеризующий среднемноголетнюю продолжительность превышения любого j-го уровня амплитуды (рис. 28.7). Эта среднемноголетняя характеристика гидрологического режима водотока — основа расчета возможных уширений русел на мостовых переходах.

Каждому уровню графика $H = f\left(\frac{\sum_{j=1}^{k} t_j}{n}\right)$ отвечает вполне определенный общий и русловый бытовой расходы. Наименьший расход будет при наинизшем уровне меженных вод, однако время его воздействия на русло наибольшее и, наоборот, наибольший расход будет при уровне максимум-максиморум, время же его воздействия практически равно нулю.

Уровень, при котором воздействие расхода на русло наибольшее, называют *руслоформирующим уровнем воды* (РУВ).

Задача расчета размеров возможного уширения русел на мостовых переходах состоит прежде всего в определении руслоформирующего



Р и с. 28.7. Схема к построению графика $H = f\left(\frac{\sum_{j=1}^{k} t_j}{n}\right)$

уровня (РУВ). При частом затоплении пойм РУВ обычно лежит выше средней отметки поймы, при редком затоплении — ниже. Если руслоформирующий уровень лежит ниже средней отметки поймы, то влияние мостового перехода на формирование русла оказывается ничтожным, поскольку наибольшие объемы стока, определяющие размеры русла, будут проходить при уровнях, когда отсутствует слив в русло пойменных вод и перегрузка его дополнительным расходом, т.е. руслоформирующий расход остается близким к бытовому. Река в этом случае не потерпит принудительного изменения ширины подмостового русла и через некоторое время восстановит его бытовые размеры.

При частом затоплении пойм РУВ обычно расположен выше средней отметки поймы, а соответствующий ему руслоформирующий расход окажется увеличенным за счет слива в русло под мост дополнительного расхода с части пойм, занятой непереливаемыми подходами. Очевидно, этому новому руслоформирующему расходу должно отвечать подмостовое русло большей ширины $B_{рм} \geq B_{рб}$ и большей глубины $h_{рм} \geq h_{рб}$.

Изменение отношения ширины к глубине русла при увеличении руслоформирующего расхода в $\beta_{ру}$ раз за счет слива пойменных вод можно найти из известного, установленного многими исследователями русловых потоков, соотношения пропорциональности $h_р B_р^{1/4} \sim Q_р^{1/2}$, откуда степень возможного уширения русла под мостом равна

$$\gamma = \frac{B_{рм}}{B_{рб}} = \beta_{ру}^{0,93}.$$

Согласно одному из основных законов природы — закону сохранения материи новое уширенное русло будет устойчивым во времени только в том случае, если среднемноголетний объем притока наносов к подмостовому сечению будет равен среднемноголетнему объему выноса наносов из-под моста. Если среднемноголетний объем притока наносов к мосту превалирует над их выносом, то назначенное уширение русла излишне и река частично или полностью заилит искусственное уширение. Если выносимый объем наносов из-под моста превалирует над объемом их поступления, то можно еще уширить русло до размеров, при которых размывы и заносы подмостового русла за расчетный период будут взаимно компенсированы.

Таким образом, расчет боковых деформаций русел, так же как и глубинных, базируется на основе решения уравнения баланса наносов (28.2), т.е. на законе сохранения твердой фазы руслового потока.

Порядок детального расчета уширений подмостовых русел состоит в следующем.

1. Используя данные многолетних наблюдений на ближайшем к мостовому водомерном посту, для рассматриваемого сечения речной долины строят график зависимости:

$$H = f\left(\frac{\sum_{j=1}^{k} t_j}{n}\right),$$

где $\sum_{j=1}^{k} t_j$ — сумма величин времени превышения j-го уровня более высокими в каждом году за расчетный период; n — число лет наблюдений на водомерном посту.

2. Используя график функции $H = f\left(\frac{\sum_{j=1}^{k} t_j}{n}\right)$, строят зависимость изменения бытового расхода руслоформирующих наносов при бытовых размерах русла, т.е. $G_б = f\left(\frac{\sum_{j=1}^{k} t_j}{n}\right)$.

3. Определяют среднемноголетний бытовой сток наносов руслоформирующих фракций:

$$W_б = \int_0^{t_{нв}} G_б dt.$$

4. Задавшись в первом приближении высотой руслоформирующего уровня РУВ, которая должна быть выше средней отметки поймы $H_{рув} > H_п$, определяют ширину русла $B_{рм}$ и среднюю отметку дна $H_{рм}$ после размыва:

$$B_{рм} = \beta_{ру}^{0,93} B_{рб},$$

$$H_{рм} = H_{РУВ} - \beta_{ру}^{0,27} h_{рб}.$$

5. Используя график функции $H = f\left(\frac{\sum_{j=1}^{k} t_j}{n}\right)$, строят зависимость изменения расхода руслоформирующих фракций в сжатом створе для предварительно определенных размеров русла $B_{рм}$ и $H_{рм}$, т.е. $G_м = f\left(\frac{\sum_{j=1}^{k} t_j}{n}\right)$.

6. Вычисляют среднемноголетний бытовой объем выноса наносов руслоформирующих фракций из-под моста для предварительно определенных размеров русла:

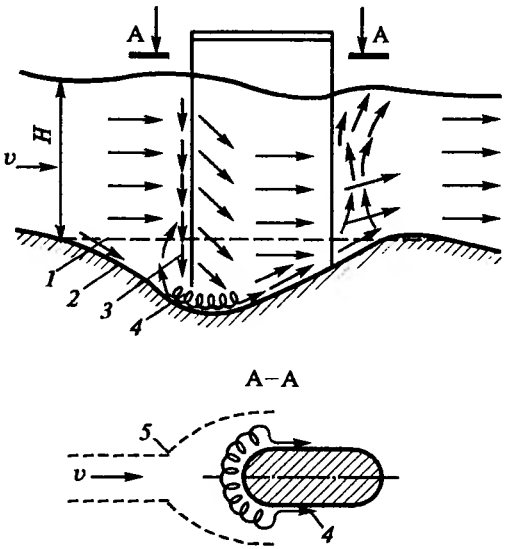
$$W_м = \int_0^{t_{пр}} G_м dt.$$

7. Если среднемноголетний объем $W_б$ притока наносов превалирует над выносом наносов $W_м$ из-под моста, то это значит, что назначенное уширение подмостового русла излишне и река частично или полностью заилит срезку. Для определения новых размеров срезки высоту руслоформирующего уровня воды $H_{РУВ}$ следует несколько понизить и вновь повторить все вычисления. Если среднемноголетний объем выноса наносов $W_м$ превалирует над поступлением к мосту $W_б$, то предварительно определенное уширение недостаточно и нужно вновь повторить вычисления, несколько повысив руслоформирующий уровень $H_{РУВ}$. При $W_м = W_б$ расчет считают законченным.

Изложенный детальный расчет уширения подмостовых русел является теоретической основой компьютерной программы «Рур».

28.5. Местный размыв у передних граней опор мостов и голов регуляционных сооружений

Местные размывы являются результатом локального нарушения гидравлической структуры набегающего на препятствия (опоры, струенаправляющие дамбы, траверсы и т.д.) потока. Местный размыв наиболее опасен для опор мостов. Развиваясь у передних граней опор, он может привести к потере их устойчивости (по этой причине подмытая опора всегда падает вверх по течению). При значительных



Р и с. 28.8. Схема обтекания опоры моста потоком:

1 — дно до размыва (пунктир); *2* — откос воронки; *3* — нисходящие струи; *4* — донные вихревые вальцы; *5* — струи, обтекающие опору

местных размывах локальными понижениями могут быть охвачены площади у всей опоры, а не только у передней ее грани.

Поток, набегающий с некоторой скоростью на опору, тормозится. При этом кинетическая энергия его уменьшается, а потенциальная, выражающаяся в местном поднятии уровня перед опорой, возрастает. Потенциальная энергия, в свою очередь, реализуется в кинетическую энергию нисходящих струй (рис. 28.8), которые, достигая дна, способны размывать его, вызывая появление воронкообразного углубления. Другой причиной местного размыва является, по-видимому, местное сжатие струй, обтекающих препятствие. Для препятствий относительно широких эта причина является основной (например, обтекание голов регуляционных сооружений).

Как показывают многочисленные наблюдения, скорость обтекания опоры потоком примерно в 2 раза превосходит скорость его набегания. Поэтому местные размывы у сооружений имеют место даже в тех случаях, когда собственная скорость потока меньше, чем неподвижающая для частиц грунта, слагающих его дно.

Ожидаемая глубина воронки местного размыва определяется гидравлическими параметрами потока — скоростью набегания и глубиной, а также формой и размерами препятствия и свойствами размываемого грунта. На размер воронки местного размыва огромное влияние оказывает количество наносов, поступающих в воронку. При этом местный размыв достигает особенно больших значений в тех

случаях, когда руслоформирующие наносы в воронку по каким-либо причинам не поступают.

В русловом потоке всегда имеются такие придонные области, где влечение наносов практически отсутствует, несмотря на то, что средние по вертикали скорости течения существенно превосходят неразмывающие для грунтов, из которых сложено размываемое дно. Такими областями (с минимальными расходами наносов) являются подвалья гряд, занимающих достаточно большие площади в русле. Учитывая, что плановые размеры гряд соизмеримы с плановыми габаритами опор, при проектировании мостов можно ориентироваться на наиболее невыгодную, но реальную русловую ситуацию, когда опора располагается в подвалье гряды, где приток руслоформирующих наносов в воронку местного размыва ничтожен и последняя будет иметь наибольшую глубину.

Одна из схем ноль-балансового расчета местного размыва была разработана И.А. Ярославцевым в 1953 г. На основе многочисленных лабораторных экспериментов с моделями мостовых опор им была получена теоретико-эмпирическая формула для расчета местного размыва у мостовых опор. Преобразованная к виду, удобному для выполнения практических расчетов, она имеет вид:

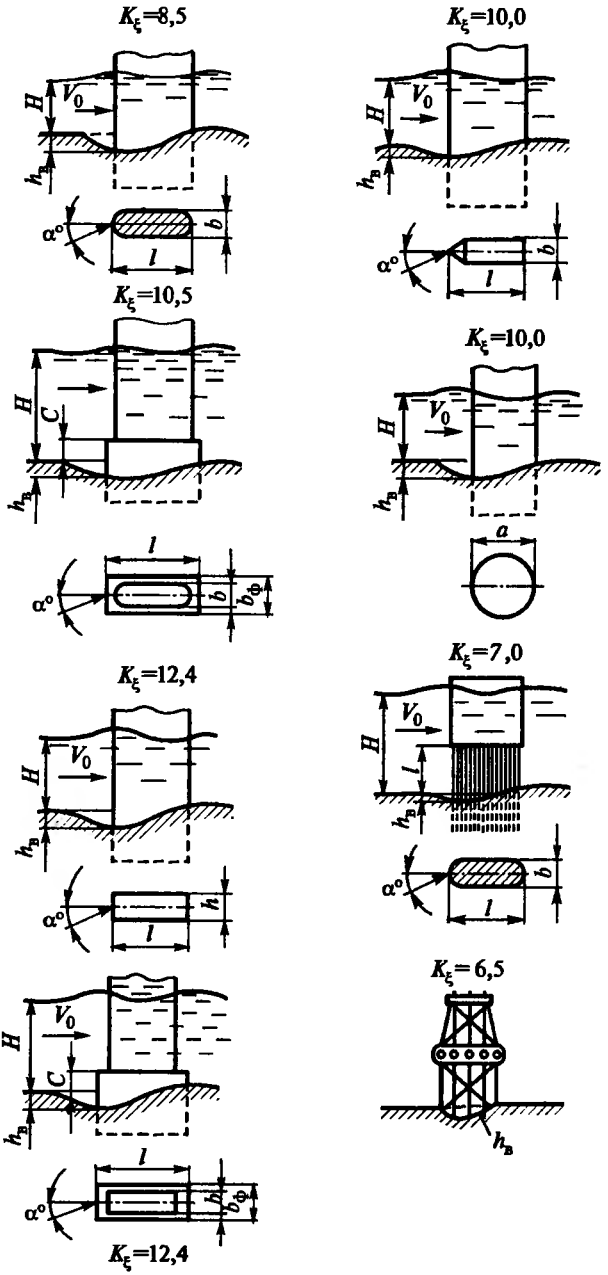
для расчета местного размыва в несвязных грунтах

$$h_в = K K_\xi \left(\frac{v_{оп}^2}{g b_{оп}} \right)^{0,9} b_{оп} - 30d; \qquad (28.8)$$

для расчета местного размыва в связных грунтах

$$h_в = K K_\xi \left(\frac{v_{оп}^2}{g b_{оп}} \right)^{0,9} b_{оп} - \frac{6\, v_{нер}^2}{g},$$

где K — коэффициент, зависящий от относительной глубины потока $\frac{h_{рм}}{b_{оп}}$ и принимаемый по табл. 28.2; K_ξ — коэффициент формы опоры, принимаемый для прямоугольных опор равным 12,4, для цилиндрических — 10,0 и для обтекаемых — 8,5. Коэффициент K_ξ для каждой конкретной конструкции опоры может быть более точно определен по рис. 28.9; $v_{оп}$ — скорость набегания потока на опору на наиболее глубокой вертикали; $b_{оп}$ — средняя ширина опоры по фасаду моста; d — крупность несвязного аллювия, м; $v_{нер}$ — неразмывающая средняя скорость течения для связных грунтов, м/с.



Р и с. 28.9. Формы мостовых опор и коэффициенты их обтекаемости $K_ξ$

Таблица 28.2. **Значения коэффициента K**

Относительная глубина $\frac{h_{рм}}{b_{оп}}$	Значения коэффициента K	
	для русла	для пойм
5	0,38	0,62
3	0,44	0,68
1	0,73	0,97

Скорость набегания потока на русловую опору определяют с учетом общего размыва на наиболее глубокой вертикали:

$$v_{оп} = v_{рм}\alpha_р^{2/3},$$

где $v_{рм}$ — средняя скорость после общего размыва; $\alpha_р = \frac{h_{рб\,max}}{h_{рб}}$ — коэффициент формы русла (отношение максимальной бытовой глубины русла к средней).

По данным исследований Г.С. Пичугова, определяющее влияние на местный размыв оказывает слой придонного потока толщиной $0{,}4h_{рм}$ от дна. Поэтому для опор мостов с переменной шириной по глубине среднюю ширину опоры следует определять только на этой части набегающего потока (рис. 28.10).

Скорость набегания потока на пойменную опору (при невозможности смещения русла под нее в ходе естественного руслового процесса) принимают равной скорости течения на пойме после общего размыва, т.е. $v_{оп} = v_{пм}$.

При расчетах местного размыва в резко разнозернистых грунтах нужно учитывать возможность отмостки дна воронки крупными фракциями и при расчете по формуле (28.8) в расчет вводить размер наиболее крупных фракций, содержащихся в размываемом грунте в количестве 15—20%. Формула И.А. Ярославцева применима для скоростей течения, при которых еще не происходит разрушения структурных скоплений наносов — гряд. Практически ее применяют при скоростях течения до 4 м/с.

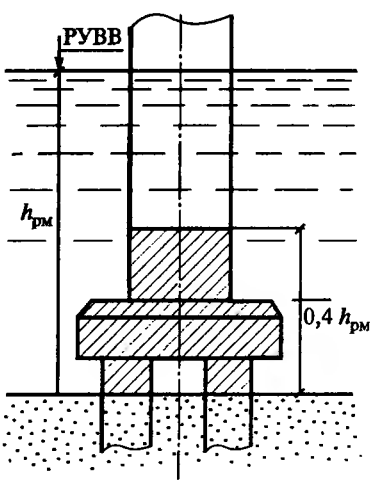


Рис. 28.10. Схема к определению средней ширины опоры по данным Г.С. Пичугова

В практике проектирования в последние годы получил распространение также метод расчета местного размыва СоюздорНИИ (д-р техн. наук М.М. Журавлев). Основной особенностью и несомненным достоинством метода является то, что лежащие в его основе зависимости были получены путем обработки натурных и полунатурных данных о местных размывах как в несвязных, так и в связных грунтах у натурных мостовых опор.

Глубина воронки местного размыва:

при поступлении наносов в воронку местного размыва при $v_{рм} > v_{нер}$

$$h_в = 1{,}1\sqrt{b_{оп} h_{рм}} \left(\frac{v_{оп}}{v_{взм}} \right)^n K_ф; \qquad (28.9)$$

при отсутствии поступления наносов в воронку размыва при $v_{оп} < v_{нер}$

$$h_в = 1{,}1 b_{оп}^{0,6} h_{рм}^{0,4} \left(\frac{v_{оп}}{v_{взм}} \right)^n K_ф, \qquad (28.10)$$

где $h_{рм}$ — максимальная глубина потока в русле после общего размыва; n — показатель степени; $K_ф$ — коэффициент формы опоры, принимаемый для прямоугольных опор равным 1,24, для цилиндрических — 1,0, для обтекаемых — 0,85.

Коэффициент $K_ф$ может быть определен более точно по рис. 28.9 при

$$K_ф = 0{,}1 K_ξ;$$

$v_{взм}$ — средняя взмучивающая скорость турбулентного потока перед опорой.

В формулах (28.9), (28.10) показатель степени

$$n = 1 \text{ при } \frac{v_{оп}}{v_{взм}} \left(\frac{h_{рм}}{d} \right)^{0,06} > 1;$$

$$n = 0{,}67 \text{ при } \frac{v_{оп}}{v_{взм}} \left(\frac{h_{рм}}{d} \right)^{0,06} < 1.$$

Коэффициент $K_ф$ для каждой конкретной конструкции опоры может быть также определен по уточненным данным ГипродорНИИ.

Косина потока может быть учтена путем введения в расчет ширины опоры, принимаемой по нормальному направлению течения потока:

$$b_{оп}^{*} = b_{оп} \cos\alpha + l_{оп} \sin\alpha,$$

где α — угол отклонения потока от прямого направления; $l_{оп}$ — длина опоры вдоль потока (поперек моста).

Скорость $v_{взм}$ определяется в зависимости от крупности руслоформирующих наносов и глубины потока:

$$v_{взм} = \sqrt[3]{g h_{рм} W} \left(\frac{h_{рм}}{d} \right)^{1/6},$$

где W — гидравлическая крупность наносов (см. гл. 29).

Глава 29

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

29.1. Комплексная программа расчета отверстий мостов «Рома»

Универсальная методика комплексного расчета деформаций русел и свободной поверхности потока, реализованная в виде компьютерной программы «Рома», предназначена для подробных гидравлических и русловых расчетов мостовых переходов и других гидротехнических сооружений на реках с различным типом руслового процесса. При проектировании мостовых переходов с использованием программы «Рома» решают следующие задачи:

расчет общих размывов под мостами как при однородном, так и слоистом строении размываемых русел;

построение кривых свободной поверхности потока (расчет подпоров во времени) с учетом взаимодействия с русловыми деформациями;

анализ работы искусственных уширений подмостовых русел (срезок);

расчет русловых деформаций на значительном протяжении вверх и вниз от оси моста с целью: прогноза возможных размывов существующих и проектируемых переходов коммуникаций (нефтепродуктопроводов, газопроводов, водоводов, дюкеров, кабельных

переходов и т.д.), расположенных в пределах зоны влияния мостовых переходов; прогноза условий судоходства на мостовых переходах; определения расчетных судоходных уровней воды (РСУ) с учетом допустимых для судоходства скоростей течения;

оценка влияния выработок грунта в руслах рек (русловых карьеров) на работу мостовых переходов и других гидротехнических сооружений;

учет взаимодействия нескольких мостовых переходов при расчетах русловых деформаций и кривых свободной поверхности потока;

расчет мостовых переходов в нижних бьефах плотин;

расчет мостовых переходов, работающих в условиях подпора: естественного (сгонно-нагонные явления, заторы, зажоры, подпоры от материнской реки и т.д.) или искусственного (подпоры от капитальных плотин ГЭС или иных гидротехнических сооружений);

построение кривых свободной поверхности от плотин и прогноз заиления водохранилищ;

расчет деформаций русел и свободной поверхности потока в нижних бьефах капитальных плотин;

расчет групповых отверстий (при проектировании дополнительных пойменных мостов на одном разливе с основным);

расчет мостовых переходов с переливаемыми подходами;

расчет мостовых переходов в условиях регрессивной (попятной) эрозии;

исследование основных процессов, развивающихся на мостовых переходах.

В отличие от существующих наиболее совершенных методов и программ расчета русловых деформаций на мостовых переходах программа «Рома» характеризуется более полным учетом факторов, определяющих процесс деформаций и конечную их величину, меньшим числом допущений, принимаемых при решении основных дифференциальных уравнений, и возможностью решения значительного круга инженерных и научных задач.

Основные особенности методики комплексного расчета мостовых переходов и программы «Рома» состоят в следующем:

учитывается неустановившийся характер течения речных потоков;

учитывается нелинейность изменения руслового расхода по длине зоны влияния мостового перехода;

учитывается петлеобразность кривых расходов, скоростей и уклонов для каждого конкретного паводка;

расходы наносов руслоформирующих фракций вычисляются как по данным натурных измерений, так и по известным теоретико-эмпирическим формулам;

расходы руслоформирующих наносов вычисляют как по среднему диаметру донных отложений, так и пофракционно с одновременным расчетом возможной отмостки дна размываемого русла крупными фракциями;

при расчетах учитывается конкретное геологическое строение размываемых русел;

при расчетах деформаций учитывается перераспределение общего расхода между элементами живого сечения долины реки (руслом и поймами) при боковых и глубинных деформациях русла, а также при подпоре;

одновременно с расчетом хода русловых деформаций осуществляется построение кривых свободной поверхности потока по длине зоны влияния мостовых переходов и таким образом учитывается взаимное влияние в ходе паводков деформируемого русла и свободной поверхности потока.

Основа методики — одновременное решение в конечных разностях трех дифференциальных уравнений:

уравнения баланса наносов Экснера (математическая запись закона сохранения твердой фазы руслового потока)

$$\frac{\partial G}{\partial l_р} = B_р \frac{\partial h_р}{\partial t} + h_р \frac{\partial B_р}{\partial t}; \qquad (29.1)$$

уравнений Сен-Венана — уравнения неразрывности неустановившегося потока (математическая запись закона сохранения жидкой фазы руслового потока)

$$\frac{\partial Q}{\partial l} = \frac{\partial \omega}{\partial t}; \qquad (29.2)$$

уравнения плавно изменяющегося неустановившегося потока в открытых непризматических руслах (математическая запись закона сохранения энергии потока)

$$I_б - \frac{\partial z}{\partial l} = \frac{\alpha}{2g}\frac{\partial v^2}{\partial l} + \frac{\alpha_0}{g}\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{Q^2}{K^2}, \qquad (29.3)$$

где G — расход наносов руслоформирующих фракций; $B_р$ — ширина русла (фронта переноса наносов); $l_р$ — длина по руслу; t — время; $h_р$ — глубина русла от дна до бровок; l — длина по долине реки;

Q — общий расход воды; ω — площадь живого сечения; $I_б$ — бытовой уклон свободной поверхности потока; z — высота свободной поверхности потока; v — средняя скорость течения; g — ускорение силы тяжести; α — корректив кинетической энергии (коэффициент Кориолиса); α_0 — корректив количества движения (коэффициент Буссинеска); K — расходная характеристика.

При решении системы дифференциальных уравнений (29.1)—(29.3) сделано допущение, что течение паводкового потока по длине зоны влияния мостовых переходов является плавно изменяющимся. Уравнения (29.2) и (29.3), таким образом, применяются в целом для всего потока по долине реки с осреднением скоростей течения по вертикали и ширине.

На основе анализа систематических расчетов существующих и проектируемых мостовых переходов сформулированы обязательные требования, без выполнения которых теоретические расчеты нельзя считать адекватными фактическим процессам, протекающим на мостовых переходах.

1. Уравнение баланса наносов (29.1) при решении его в конечных разностях необходимо применять последовательно к большому числу интервалов длины $\Delta l_р$, на которые делят весь исследуемый участок русла. Ориентировочно $\Delta l_р = (0{,}1 \div 0{,}125)\ l_{сж}$, где $l_{сж}$ — длина зона сжатия потока перед мостом.

2. Во избежание искажения результатов расчета, особенно в зоне растекания потока, водомерные графики рассчитываемых паводков необходимо делить на большое число ступенек (расчетных интервалов времени). Обычно принимают $\Delta t = 0{,}1 \div 0{,}33$ сут.

3. При вычислении расхода руслоформирующих наносов (донные и взвешенные) во многих случаях нельзя пренебрегать ни одной из форм перемещения руслоформирующих наносов и особенно взвешенными руслоформирующими.

4. Длины зон сжатия и растекания потока оказывают исключительно большое влияние на темп и размеры русловых деформаций и деформаций свободной поверхности потока. Зависимости, используемые для определения длин зон сжатия и растекания потока, должны учитывать основные факторы, их определяющие, и прежде всего степень стеснения паводкового потока подходами — первопричину деформаций русел и свободной поверхности потока.

5. В общем случае расчеты необходимо выполнять по длительной серии уже прошедших паводков в натурной последовательности, что совершенно необходимо в случаях:

расчетов общих размывов на мостовых переходах с большой степенью стеснения потока подходами, с большой шириной разлива в паводки или с крупными наносами;

необходимости прогноза условий судоходства на участках русел рек у мостовых переходов и прогноза размывов переходов коммуникаций, особенно в нижних бьефах мостовых переходов;

расчетов мостовых переходов, работающих в условиях взаимодействия с другими гидротехническими сооружениями, т.е. в пределах зоны влияния других мостовых переходов, в нижних бьефах плотин, в подпоре и т.д.

6. Расчет по уравнению баланса наносов (29.1) дает возможность определения лишь средних глубин после общего размыва. Для перехода к максимальным глубинам, расчетным для опор мостов, необходимо учитывать возможные природные деформации русел, а также вероятное отношение наибольшей глубины в русле к средней.

7. Расчет размывов на пойменных участках отверстий мостов следует выполнять отдельно, если только этот участок не объединяют с руслом посредством удаления связных грунтов пойменного наилка (т.е. путем устройства срезки). Этот расчет выполняют по неразмывающим скоростям течения для грунтов, слагающих поверхность поймы.

8. Расчет по уравнению баланса наносов требует введения гарантийных поправок к глубинам размыва, определенным теоретическим путем. Наличие погрешности расчета объясняется все еще неполным учетом факторов, определяющих размыв, недостаточной надежностью морфометрической основы расчета распределения общего расхода между руслом и поймами, особенно при самых высоких уровнях, когда слив воды с пойм наибольший, а также неточностью перехода от средних глубин размыва к максимальным, расчетным для опор моста.

Развитие размыва на участке русла элементарной длины Δl_{pm} за элементарное время Δt_j описывается дифференциальным уравнением баланса наносов (29.1), которое в конечных разностях (при фиксированных плановых размерах русла) имеет вид

$$\Delta h_{pmj} = \frac{G_{mj} - G_{(m+1)j}}{B_{pm}\Delta l_{pm}} \Delta t_j, \qquad (29.4)$$

где Δh_{pmj} — среднее понижение (повышение) дна на m-м участке русла при j-м уровне воды за интервал времени Δt_j; G_{mj}, $G_{(m+1)j}$ — расходы наносов руслоформирующих фракций, определяемые для начального и

конечного створов расчетного участка длиной Δl_{pm}; B_{pm} — средняя ширина русла (фронта переноса наносов) на m-м расчетном участке.

Решение уравнения баланса наносов в конечных разностях (29.4) требует знания связи расхода руслоформирующих наносов с гидравлическими характеристиками потока — скоростью течения и глубиной. Расход твердой фазы потока — это полный расход наносов руслоформирующих фракций — донных и взвешенных. Расходы наносов вычисляют в зависимости от имеющихся данных одним из трех способов:

по материалам натурных наблюдений;

по среднему диаметру донных отложений с использованием формулы И.И. Леви

$$G_{mj} = \left[\frac{A_д}{h_{pmj}^{1/4}} + A_в \right] B_{pm} v_{pmj}^3 (v_{pmj} - v_{нер}), \qquad (29.5)$$

где G_{mj} — расход наносов руслоформирующих фракций в рыхлом теле, м/с^3; $A_д = f(d)$ и $A_в = f(d)$ — характеристики донных и взвешенных наносов руслоформирующих фракций; h_{pmj} — средняя глубина потока в m-м створе русла, м; v_{pmj} — средняя скорость течения в m-м створе русла при j-м уровне, м/с; $v_{нер}$ — неразмывающая средняя скорость для грунтов дна русла, м/с; B_{pm} — ширина русла (фронта переноса руслоформирующих наносов) в m-м створе;

по фактическому составу донных отложений

$$G_{mj} = \frac{\sum G_{mjk} p_k}{100}, \qquad (29.6)$$

где G_{mjk} — расход наносов, вычисленный по формуле (29.5) для k-й фракции; p_k — содержание k-й фракции, %.

Расход наносов смешанного состава G_{mj} при слоистом геологическом строении русла в створах ниже n-го, где размыв коснулся II геологического слоя (рис. 29.1), определяют:

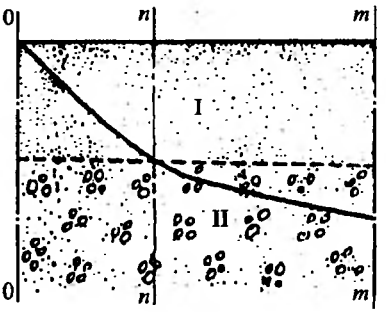
$$G_{mj} = \left(1 - \frac{G_{nj}}{G_{mj\,I}} \right) G_{mj\,II} + G_{nj}, \qquad (29.7)$$

где $G_{mj\,I}$, $G_{mj\,II}$ — транспортирующие способности потока в m-м створе при j-м уровне соответственно по грунтам крупностью d_I и d_{II}; G_{nj} — расход наносов крупностью d_I в n-м створе.

Расчет отмостки дна русла крупными фракциями ведут по формуле

$$\Delta = 1{,}79 d_{\text{отм}} \left(\frac{100 - p}{p} \right), \quad (29.8)$$

где Δ — толщина слоя смыва грунта, необходимая для образования отмостки; $d_{\text{отм}}$ — диаметр частиц, отмащивающих дно русла, м; p — содержание этих частиц, %.



Р и с. 29.1. Схема к расчету расхода наносов смешанного состава при расчетах размыва слоистых русел

Нелинейное изменение руслового расхода по длине потока определяют теоретической зависимостью, учитывающей перераспределение общего расхода между элементами живого сечения потока, т.е. между руслом и поймами, при боковых и глубинных деформациях русла, а также при деформациях свободной поверхности потока:

$$Q_{\text{р}mj} = \frac{\beta_{mj} Q_j Q_{\text{рб}j} \eta_{\text{р}}^{5/3} \dfrac{B_{\text{р}m}}{B_{\text{рб}}}}{\beta_{mj} Q_{\text{рб}j} \left(\eta_{\text{р}}^{5/3} \dfrac{B_{\text{р}m}}{B_{\text{рб}}} - \eta_n^{5/3} \dfrac{B_m - B_{\text{р}m}}{B_m - B_{\text{рб}}} \right) + Q_j \eta_n^{5/3} \dfrac{B_m - B_{\text{р}m}}{B_m - B_{\text{рб}}}} \quad (29.9)$$

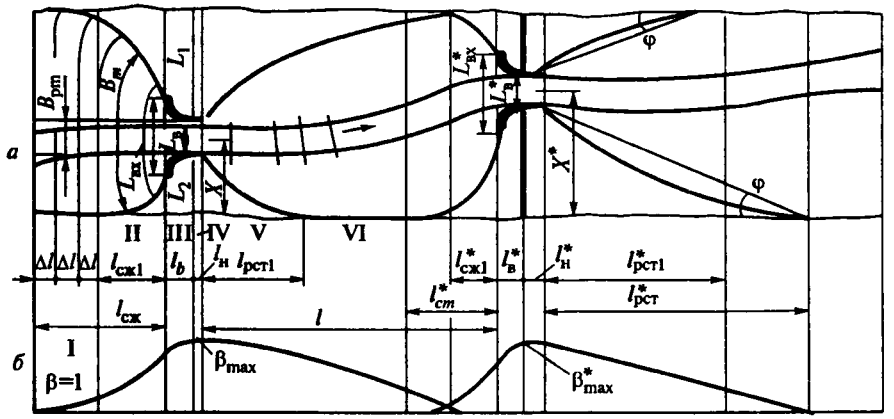
$$\eta_{\text{р}} = \frac{h_{\text{р}mj} + \Delta z_{mj}}{h_{\text{рб}j}}; \quad \eta_n = \frac{h_{\text{рб}j} + \Delta z_{mj}}{h_{\text{пб}j}}$$

при $\beta_{mj} = \dfrac{Q_j}{Q_{\text{рб}j} + q_{\text{пб}j}(B_m - B_{\text{р}m})}$,

где $\eta_{\text{р}}$ и $\eta_{\text{п}}$ — относительные подпоры в русле и на пойме; $Q_{\text{рб}j}$ — русловый бытовой расход при j-м уровне; Q_j — общий расход при j-м уровне; β_{mj} — степень стеснения потока в m-м створе при j-м уровне; $q_{\text{пб}}$ — погонный бытовой расход воды на поймах; $B_{\text{рб}}$ — бытовая ширина русла; B_m — ширина потока в m-м створе.

Ширину потока в зоне сжатия (участки I, II на рис. 29.2) определяют по зависимостям, разработанным на основе обобщения материалов натурных наблюдений М.В. Михайлова за характером схода струй перед мостами.

Согласно этим исследованиям границы водоворотных зон на участке сжатия очерчиваются по кривой, близкой к четверти дуги ок-



Р и с. 29.2. Схема к расчету русловых деформаций и кривых свободной поверхности на мостовых переходах:

а — план сжатого потока; *б* — кривые изменения руслового расхода по длине зоны влияния мостовых переходов; $L_{вх}$ — ширина входного сечения в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами; $L_м$ — отверстие моста; φ — угол растекания потока за мостом

ружности. Живые сечения сжатого потока при этом представляют собой криволинейные поперечники.

Ширина живых сечений потока:

на участке I

$$B_m = X + \frac{L_м}{2} + \frac{l_{сж}^2 - \sum \Delta l_m^2}{2\sum \Delta l_m} \arcsin \frac{2 l_{сж} \sum \Delta l_m}{l_{сж}^2 + \sum \Delta l_m^2};$$

на участке II

$$B_m = L_м + \frac{l_{сж}^2 - \sum \Delta l_m^2}{2\sum \Delta l_m} \arcsin \frac{2 l_{сж} \sum \Delta l_m}{l_{сж}^2 + \sum \Delta l_m^2} + \frac{l_{сж1}^2 + [\sum \Delta l_m - (l_{сж} - l_{сж1})]^2}{2[\sum \Delta l_m - (l_{сж} - l_{сж1})]} x$$

$$x \arcsin \frac{2 l_{сж1} [\sum \Delta l_m - (l_{сж} - l_{сж1})]}{l_{сж1}^2 + [\sum \Delta l_m - (l_{сж} - l_{сж1})]^2}$$

при $l_{сж} = \dfrac{B_0 - L_м}{1 + \dfrac{l_{мп}}{l_{бп}}}$; $\quad l_{сж1} = \dfrac{B_0 - L_м}{1 + \dfrac{l_{бп}}{l_{мп}}}$.

В зоне, охватываемой струенаправляющими дамбами (участок III на рис. 29.2), изменение ширины живого сечения принято в соответствии с законом обтекания дамб эллиптического очертания:

$$B_m = L_м + 1{,}571(L_{вх} - L_м)\left[\frac{l_{сж} + \frac{2}{3}l_д - \sum \Delta l_m}{\frac{L_{вх} - L_м}{B_0 - L_м} l_{сж} + \frac{2}{3}l_д}\right]^{n_1}$$

$$\text{при } n_1 = 0{,}45\frac{l_д\,(B_0 - L_м)}{l_{сж}(L_{вх} - L_м)} + 1{,}08,$$

где X — расстояние от границы разлива до середины моста со стороны малой поймы; $L_м$ — отверстие моста в свету; $l_{сж}$ — длина зоны сжатия потока перед мостом; $l_{мп}$, $l_{бп}$ — ширина малой и большой пойм соответственно; $\Sigma\Delta l_m$ — расстояние от начала сжатия до m-го створа; $l_{сж1}$ — длина зоны влияния малой поймы; $L_{вх}$ — ширина входного сечения в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами; $l_д$ — длина зоны, охватываемой струенаправляющими дамбами.

В зоне низовых струенаправляющих дамб (участок IV на рис. 29.2) ширина потока практически постоянна и может быть принята равной величине отверстия моста:

$$B_m = L_м.$$

В зоне растекания потока координаты граничной струи определяются по универсальной зависимости, полученной на основе преобразования формулы И.В. Лебедева. При этом на участке V закон изменения ширины живого сечения описывается зависимостью:

$$B_m = B_0 - l_{сж1}\sqrt[n]{1 - \left[\frac{\sum \Delta l_m - (l_{сж} + l_д)}{l_{рст\,1}}\right]^n} - l_{сж}\sqrt[n]{1 - \left[\frac{\sum \Delta l_m - (l_{сж} + l_д)}{l_{рст}}\right]^n}$$

при $n = 0{,}58 \div 2{,}0$ — показатель степени, определяющий закон растекания потока за мостом.

На следующем VI участке

$$B_m = B_0 - l_{сж}\sqrt[n]{1 - \left[\frac{\sum \Delta l_m - (l_{сж} + l_д)}{l_{рст}}\right]^n}.$$

И наконец, на участке ниже зон влияния мостовых переходов ширина потока постоянна и равна ширине разлива:

$$B_m = B_0.$$

Изменение ширины живого сечения реки B_m может быть определено и по другим зависимостям, а также по данным лабораторных либо натурных измерений.

Петлеобразность кривых уклонов $I = f(H)$, скоростей $v = f(H)$ и расходов $Q = f(H)$ на разных фазах рассчитываемого паводка учитывается умножением соответствующих значений уклона на коэффициент λ^2 и скоростей и расходов на коэффициент λ, для определения которого получено выражение в результате решения дифференциального уравнения неразрывности неустановившегося потока:

$$\lambda_j = \sqrt{1 + \frac{1}{\lambda_j I_б v_б} \frac{\Delta h_j}{\Delta t_j} - \frac{\lambda_j^2 - 1}{v_{бj}} \frac{\Delta v_{бj}}{\Delta h_j} h_j}, \qquad (29.10)$$

где $I_б$ — бытовой уклон свободной поверхности потока, равный уклону долины реки; $v_{бj}$ — средняя бытовая скорость потока при j-м уровне; Δh_j — приращение глубины потока за счет изменения уровня паводка за время Δt_j; h_j — средняя глубина потока при j-м уровне; $\Delta v_{бj}$ — приращение средней скорости потока за время Δt_j.

Средняя скорость течения в заданном сечении русла:

$$v_{pmj} = \frac{Q_{pmj}}{B_{pm} h_{pmj}};$$

средняя глубина потока при j-м уровне

$$h_{pmj} = УВ_j + \Delta z_{mj} - H_{pmj},$$

где $УВ_j$ — уровень воды в j-й момент времени; Δz_{mj} — изменение отметки свободной поверхности в m-м створе при j-м уровне над бытовым его значением за счет подпора; H_{pmj} — средняя отметка (геодезическая высота) деформированного дна русла.

Уравнение неразрывности неустановившегося потока:

$$Q_{mj} = Q_{(m+1)j} + \frac{B_m \Delta h_{mj} + B_{(m+1)} \Delta h_{(m+1)j} + 4 B_{mcp} \Delta h_{mjcp}}{6 \Delta t} \Delta l_m, \qquad (29.11)$$

где Q_{mj}, $Q_{(m+1)j}$ — соответственно общие расходы в начальном и конечном створах m-го участка;

$$\Delta h_{mj} = \Delta h_j + \Delta z_{mj} - \Delta z_{m(j-1)};$$

$$\Delta h_{(m+1)j} = \Delta h_j + \Delta z_{(m+1)j} - \Delta z_{(m+1)(j-1)};$$

Δh_j — бытовое приращение уровня воды за время Δt_j, снимаемое с водомерного графика паводка; B_m, $B_{(m+1)}$ — соответственно ширина

потока в начальном и конечном створах m-го участка; Δl_m — длина m-го участка.

Уравнение неустановившегося течения для непризматических русел:

$$\Delta z_{mj}=\Delta z_{(m+1)j}+\frac{\alpha_{(m+1)j}v^2_{(m+1)j}-\alpha_{mj}v^2_{mj}}{2g}+\frac{\alpha_{0mj}v_{mjcp}-\alpha_{0m(j-1)}v_{m(j-1)cp}}{g\Delta t_j}\Delta l_m+$$

$$+\left(\frac{Q^2_{mjcp}}{K^2_{mjcp}}-I_6\right)\Delta l_m, \qquad (29.12)$$

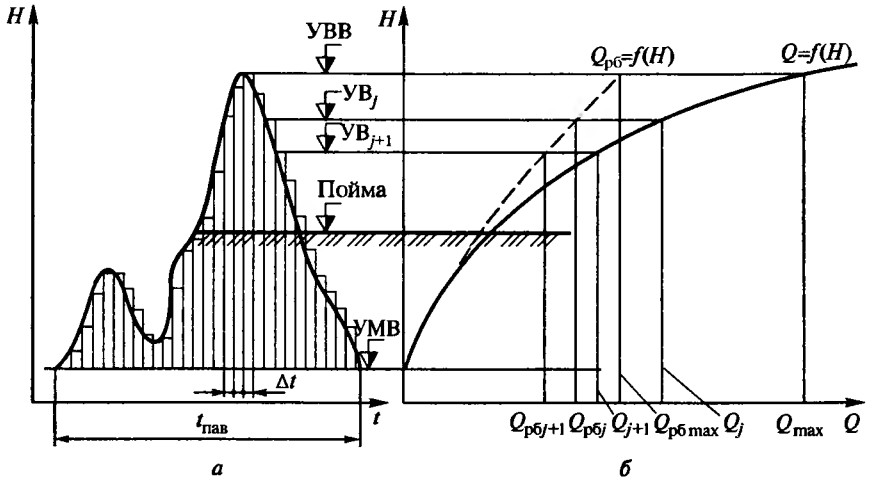
где Δz_{mj}, $\Delta z_{(m+1)j}$ — соответственно изменения отметок свободной поверхности потока в начальном и конечном створах m-го участка при j-м уровне воды за счет подпора; α_{mj}, $\alpha_{(m+1)j}$ — коэффициенты Кориолиса (коррективы кинетической энергии) в начальном и конечном створах m-го участка; v_{mj}, $v_{(m+1)j}$ — соответственно средние скорости течения; g — ускорение свободного падения; α_{0mj}, $\alpha_{0m(j-1)}$ — средние на m-м участке коэффициенты Буссинеска (коррективы количества движения) при j-м и $(j-1)$-м уровнях соответственно; v_{mjcp}, $v_{m(j-1)cp}$ — средние на m-м участке скорости течения при j-м и $(j-1)$-м уровнях воды; Δt_j — j-й интервал времени; Q_{mjcp}, K_{mjcp} — средние на m-м участке при j-м уровне расход и расходная характеристика соответственно; I_6 — бытовой уклон свободной поверхности, равный уклону долины реки.

Коэффициенты Кориолиса (коррективы кинетической энергии) и коэффициенты Буссинеска (коррективы количества движения) в m-м створе при j-м определяются в соответствии с фактическими площадями живых сечений и скоростями в русле и на пойменных участках:

$$\alpha_{mj}=\frac{v^3_{pm}h_{pmj}B_{pm}+v^3_{пmj}h_{пmj}(B_m-B_{pm})}{v^3_{mj}h_{mj}B_m}+0{,}2;$$

$$\alpha_{0mj}=\frac{v^2_{pm}h_{pmj}B_{pm}+v^2_{пmj}h_{пmj}(B_m-B_{pm})}{v^2_{mj}h_{mj}B_m}+0{,}07,$$

где v_{pmj}, $v_{пmj}$ — средние скорости течения в русле и на поймах в m-м створе при j-м уровне; h_{pmj}, $h_{пmj}$ — средние глубины в русле и на поймах с учетом подпора и размыва; B_{pm} — ширина русла в m-м створе; B_m — ширина сжатого потока в m-м створе; v_{mj}, h_{mj} — средняя скорость и глубина всего потока соответственно.

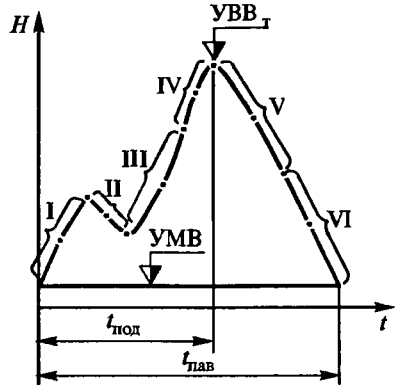


Р и с. 29.3. Замена водомерного графика паводка ступенчатым очертанием (*а*) и определение руслового $Q_{рб}$ и общего Q расходов на каждой ступеньке паводка (*б*)

При решении основных дифференциальных уравнений весь исследуемый участок русла делят на ряд расчетных интервалов длиной $\Delta l_{рm}$ и средней шириной $B_{рm}$ (см. рис. 29.2). Водомерные графики паводков $H_i = f(t)$ заменяют ступенчатыми с шагом Δt (рис. 29.3).

Зная ход паводка во времени и учитывая, что связь транспортирующей способности потока G со средней скоростью течения в русле $v_р$ и гранулометрическим составом наносов d известна, можно вычислить расходы наносов руслоформирующих фракций, используя формулы (29.5)—(29.7) при уровне воды УВ$_j$ для каждого расчетного створа русла. Бытовые расходы Q_j для каждого уровня УВ$_j$ вводят в расчет с учетом коэффициента неустановившегося течения паводкового потока (29.10). Общий расход для каждого створа определяют последовательным решением для каждой пары створов снизу вверх по течению системы уравнений Сен-Венана (29.11)—(29.12). Изменение руслового расхода $Q_{рmj}$ по длине русла реки с учетом общего стеснения потока, глубинных и боковых деформаций русла и свободной поверхности потока определяют по уравнению (29.9).

Последовательно решая уравнение баланса наносов (29.4) для каждой пары створов русла сверху вниз по течению, определяют изменения средних отметок дна русла $\Delta h_{рmj}$ на каждом m-м расчетном участке русла за интервал времени Δt_j. Затем для интервала времени Δt_{j+1} и соответствующего уровня воды УВ$_{j+1}$ определяют характерные расходы с учетом коэффициента неустановившегося течения (29.10).



Р и с. 29.4. Аналитическое представление типового водомерного графика паводка $H_m = f(t)$ методом кусочно-параболической интерполяции

Последовательным решением для каждой пары створов снизу вверх по течению системы уравнений Сен-Венана (29.11) и (29.12) строят кривую свободной поверхности потока и одновременно определяют изменение общего расхода и по уравнению (29.9) руслового расхода по длине зоны влияния мостового перехода.

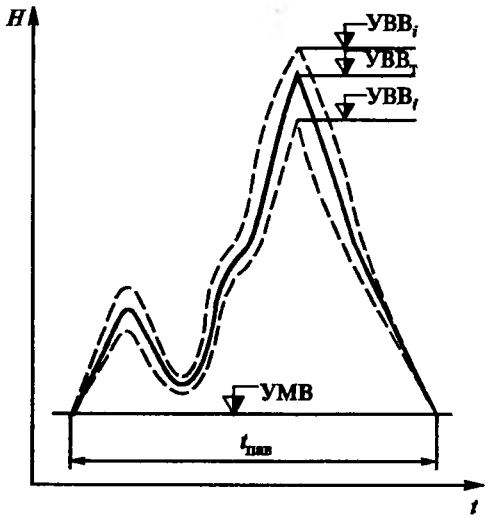
В соответствии с полученными русловыми скоростями течения в каждом створе русла вычисляют транспортирующие способности потока с учетом размыва-заноса и деформации свободной поверхности потока за предшествующий период времени. Далее, последовательно применяя уравнение баланса наносов (29.4) для каждой пары створов сверху вниз по течению, определяют средние значения изменения отметок дна $\Delta h_{pm(j+1)}$ за интервал времени Δt_{j+1} и т.д.

Программа «Рома» позволяет вести расчеты по длительной серии паводков с учетом периода межени двояким способом. Когда разные по высоте паводки имеют приблизительно одинаковую форму и продолжительность, то в таких случаях допустимо вести расчеты по серии типовых паводков. В компьютер вводят в табличной форме лишь один наиболее характерный для всей серии водомерный график паводка, где он аппроксимируется по методу кусочно-параболической аппроксимации с использованием интерполяционного полинома Лагранжа для неравно отстоящих узлов интерполяции (рис. 29.4):

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^{n} y_i \frac{(x-x_0)...(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})...(x-x_n)}{(x_i-x_0)...(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})...(x_i-x_n)}, \qquad (29.13)$$

где $x_0, y_0, ..., x_n, y_n$ — соответственно значения аргумента и функции в узлах интерполяции.

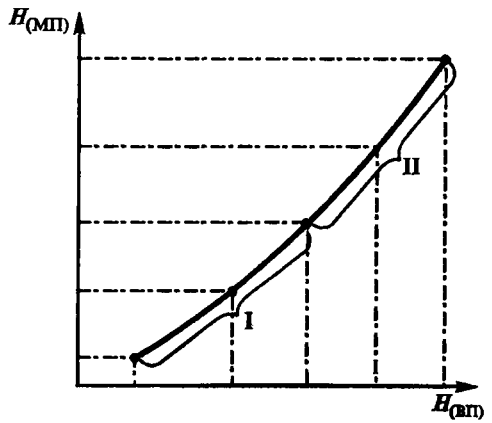
Каждый паводок натурной серии характеризуют лишь одним максимальным уровнем $УВВ_i$. Сравнивая уровень высокой воды рассчи-



Р и с. 29.5. Типовое очертание разных по высоте паводков

тываемого паводка УВВ$_i$ с уровнем типового паводка УВВ$_т$, строится водомерный график $H_i = f(t)$, подобный типовому $H_т = f(t)$ (рис. 29.5).

В остальных случаях расчеты выполняют по натурной серии фактических паводков. В этом случае в компьютер вводят водомерные графики каждого паводка без схематизации, т.е. ежедневные уровни в отсчетах рейки опорного водомерного поста. Водомерные графики автоматически переносятся по кривой связи на ось перехода. Кривые связи уровней водомерных постов (опорного гидрометеослужбы ГМС и по оси мостового перехода) также представляют в виде криволинейных отрезков, аналитические выражения которых определяют-



Р и с. 29.6. Аналитическое представление кривой связи опорного водомерного поста с водопостом по оси мостового перехода

ся полиномом Лагранжа (29.13) с использованием принципа кусочно-параболической интерполяции (рис. 29.6).

Расчет по натурной серии паводков требует ввода в компьютер больших объемов исходной информации, однако в подавляющем большинстве случаев оказывается достаточным выполнение расчетов по серии типовых расчетов, требующих минимального объема исходной информации.

29.2. Исходная информация и результаты расчета по программе «Рома»

Для комплексного расчета по программе «Рома» требуется исходная информация — цифровая модель водотока и мостового перехода, требующая некоторой предварительной обработки и размещаемая в памяти компьютера в виде следующих массивов.

I. Массив названий и свойств объектов расчета

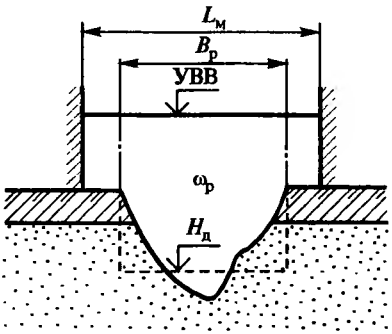
Данный массив содержит:

1. Название объекта.
2. Вид расчета, выбираемый из списка:
верховой мост;
низовой мост;
мост + мост;
ГЭС + мост;
русловая плотина + мост.
3. Вид расчета по используемой исходной гидрологической информации:
по серии типовых паводков;
по серии натурных паводков;
в условиях подпора.
4. Вид руслового расчета:
по среднему диаметру донных отложений;
пофракционный (по фактическому составу донных отложений).
5. Вид расчета по геологическому строению русла:
однослойное строение русла;
двухслойное строение русла.

II. Основной массив исходных данных

В этот массив пользователь вводит:

1. $H_д$ — средняя отметка дна русловой части подмостового сечения (рис. 29.7) до размыва, м, определяется по формуле



Р и с. 29.7. Схема к определению средней отметки дна до размыва

$$H_д = РУВВ_{р\%} - \frac{ω_р}{B_р}\left(\frac{B_р}{B_{рб}}\right)^{2/3}, \quad (29.14)$$

где $РУВВ_{р\%}$ — расчетный уровень высокой воды; $B_р$ — ширина русла под мостом до размыва; $B_{рб}$ — бытовая ширина русла (средняя на участке).

2. d — средний диаметр донных отложений первого размываемого слоя, мм.

3. $H_г$ — средняя отметка геологического ограничения размыву или слоя грунта другой крупности, м.

4. d_1 — средняя крупность грунта второго геологического слоя, мм.

5. $H_п$ — средняя отметка поймы, м, определяемая по формуле

$$H_п = РУВВ_{р\%} - \frac{\sum ω_п}{(B_0 - B_р)}, \quad (29.15)$$

где $\Sigma ω_п$ — сумма площадей живых сечений на пойме при $РУВВ_{р\%}$, м^2; B_0 — ширина разлива реки в паводки, м; $B_р$ — ширина русла, м.

6. УМВ — условный уровень меженных вод, м, принимаемый равным уровню межени типового водомерного графика паводка, но не ниже

$$УМВ \geq [h_р(\alpha_р - 1) + H_д],$$

где $h_р$ — средняя глубина в русле при уровне $УВВ_Q$; $\alpha_р$ — коэффициент формы русла (см. далее п. 33).

7. B_0 — ширина разлива реки в паводки, м.

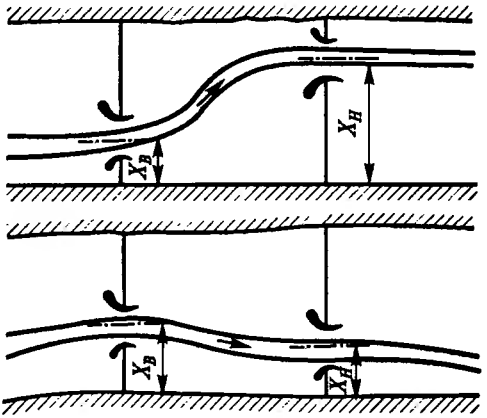
8. $B_{рб}$ — бытовая ширина русла, определяемая как среднее арифметическое нескольких измерений ширины русла на исследуемом участке долины реки, м.

9. $I_б$ — бытовой уклон свободной поверхности, равный уклону долины в месте перехода.

10. $УВВ_Q$ — уровень высокой воды, при котором известно распределение общего расхода между элементами живого сечения долины — руслом и поймами, м.

11. Q — общий расход при $УВВ_Q$, м^3/с.

12. $Q_{рб}$ — русловый бытовой расход при $УВВ_Q$, м^3/с.



Р и с. 29.8. Схема к определению зон влияния пойм разной ширины

13. $УВВ_т$ — уровень высокой воды типового водомерного графика паводка при выполнении расчетов по серии типовых паводков, м.

14. $t_{пд}$ — время подъема типового паводка, сут.

15. $t_{пв}$ — продолжительность типового паводка, сут.

16. «0» графика — отметка «0» графика по оси перехода, м.

17. $L_м$ — отверстие верхового моста в свету, м.

18. $L_{вх}$ — ширина входного сечения в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами, м.

19. X — расстояние от границы разлива до середины моста со стороны малой поймы, м (рис. 29.8).

20. $l_д$ — длина зоны, охватываемой струенаправляющей дамбы верхового моста, м.

21. $l_р$ — длина зоны растекания за верховым мостом, м.

Определяется одним из следующих способов:

по приближенной формуле:

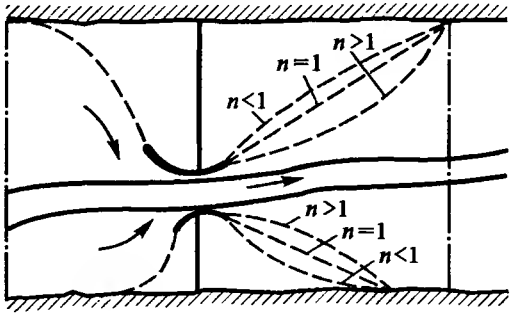
$$l_р = 2\frac{B_0 - L_м}{1 + \frac{l_{мп}}{l_{бп}}}, \qquad (29.16)$$

где $l_{мп}$, $l_{бп}$ — ширина малой и большой пойм соответственно;

по результатам теоретического построения планов течения на мостовом переходе;

на основе результатов моделирования в гидравлических лотках либо по данным натурных наблюдений на ближайших существующих мостовых переходах.

22. $L_{мн}$ — отверстие низового моста в свету, м.



Р и с. 29.9. Возможные схемы растекания потока за мостом

23. $L_{вхн}$ — ширина входного сечения в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами низового моста, м.

24. $X_н$ — расстояние от середины моста до границы разлива со стороны той же, что и для верхового моста, поймы, м (см. рис. 29.8).

25. $l_{дн}$ — длина зоны, охватываемой струенаправляющими дамбами низового моста, м.

26. $l_{рн}$ — длина зоны растекания потока за низовым мостом, м.

Определяется одним из способов, изложенных в п. 21.

27. $l_б$ — длина исследуемого участка реки ниже зоны растекания, м.

Назначается пользователем в зависимости от целей расчета, но не менее $l_б \geq l_р$.

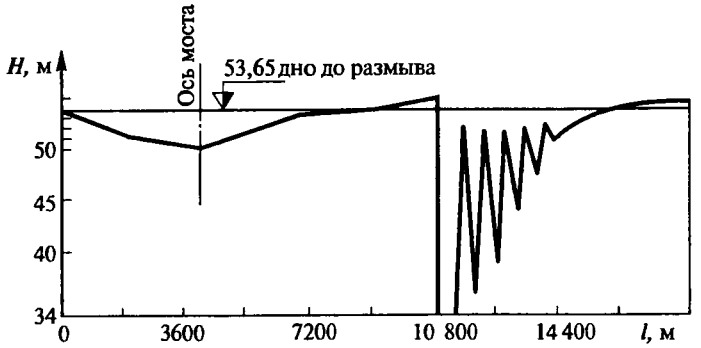
28. l — расстояние от входного сечения в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами низового моста, до низовых струенаправляющих дамб верхового моста либо до створа плотины, м.

29. n — показатель степени, характеризующий закон растекания сжатого потока за мостом (рис. 29.9).

Значение n в пределах от 0,6 до 2,0 принимают тем большим, чем меньше ширина разлива, меньше шероховатость пойм и чем больше глубина их затопления. Значения n в каждом случае могут быть уточнены теоретическим построением планов течений в нижних бьефах мостовых переходов, данными моделирования в гидравлических лотках, а также по результатам натурных наблюдений. Обычно принимают для равнинных рек $n = 0{,}75$.

30. Δl — расчетный интервал длины, м.

Принимают равным не более $\Delta l \leq (0{,}1 \div 0{,}125)\, l_{сж}$, где $l_{сж}$ — длина зоны сжатия потока перед мостом, принимаемая равной $l_{сж} = 0{,}5\, l_р$. Длина зоны растекания потока за мостом $l_р$ определяется по формуле (29.16).



Р и с. 29.10. Всплески отметок дна в зоне растекания при преувеличенных расчетных интервалах времени

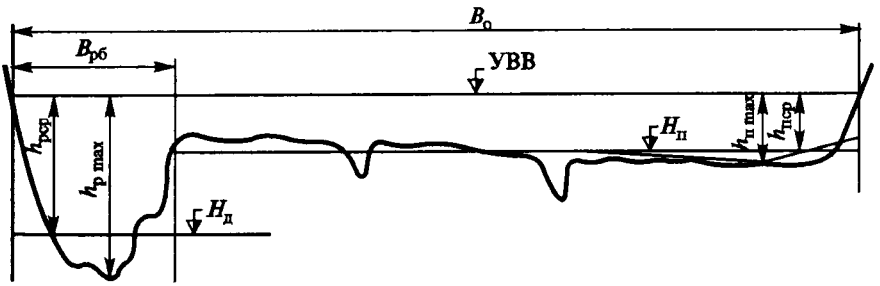
31. Δt — расчетный интервал времени, сут. Принимают равным не более $\Delta t \le 0{,}33$ сут.

Значения Δt принимают обязательно кратными 1 сут (0,333..., 0,25, 0,1666 ... и т.д.). Предпочтительным является интервал времени в пределах $\Delta t = 0{,}1 - 0{,}25$ сут. Если в зоне растекания потока появляются всплески отметок дна (рис. 29.10) либо если происходит зацикливание счета, интервал времени Δt следует уменьшать до тех пор, пока всплески не исчезнут.

Расчетный интервал времени следует принимать тем меньшим, чем меньше длительность паводка, чем больше стеснен поток и чем мельче переносимые рекой наносы.

32. $\alpha_п$ — коэффициент поймы (отношение средней из наибольших глубин на пойме в пониженных местах к средней глубине на всей пойме), считая от $УВВ_Q$ (рис. 29.11).

33. $\alpha_р$ — коэффициент формы русла (отношение максимальной глубины русла к средней), считая от $УВВ_Q$ (см. рис. 29.11).



Р и с. 29.11. Продольный профиль по оси мостового перехода. Схема к определению коэффициентов формы русла $\alpha_р$ и пойм $\alpha_п$

34. $K_п$ — количество рассчитываемых паводков.

В зависимости от видов производимых расчетов некоторые из перечисленных выше значений определяются программой автоматически.

III. Массив измененных длин расчетных интервалов

Данный массив содержит пары следующих значений:

номер расчетного интервала;

значение измененной длины соответствующего интервала, м.

При формировании исходных данных (после подготовки и ввода основного массива) данный массив готовится автоматически вводом одинаковых интервалов, равных расчетному в основном массиве (см. п. 30). Целью дополнительного ввода данных (измененных длин интервалов) является точное размещение расчетных створов в необходимых сечениях (например, створ входного сечения в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами, створ по оси моста, створ конца струенаправляющих дамб и т.д.).

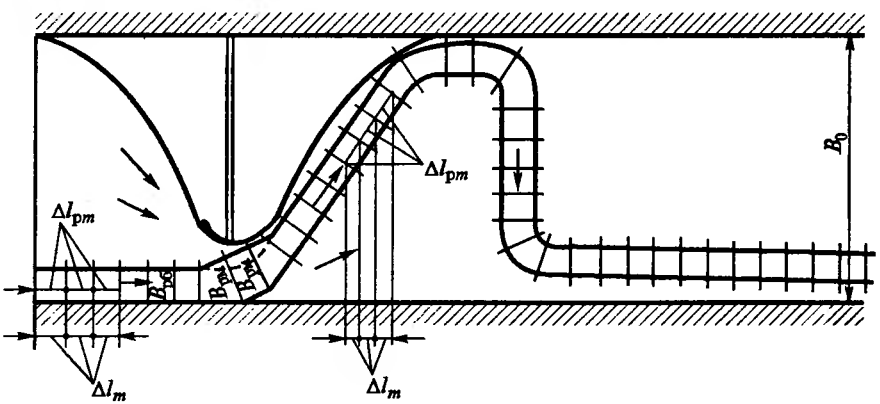
IV. Массив измененных проекций длин расчетных интервалов

Данный массив, необходимый при учете извилистости русла реки, содержит пары следующих значений:

номер проекции расчетного интервала на ось долины реки;

значение измененной проекции длины расчетного интервала, м.

При формировании исходных данных (после подготовки и ввода основного массива) данный массив готовится автоматически вводом



Р и с. 29.12. Схема к определению проекций расчетных интервалов длины на ось долины реки при учете извилистости русла

одинаковых интервалов, равных расчетному в основном массиве (см. § 30). Целью дополнительного ввода данных (измененных длин интервалов) является учет извилистости русла реки (рис. 29.12) и точное размещение расчетных створов в необходимых сечениях (например, створ входного сечения в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами, створ по оси моста, створ конца струенаправляющих дамб и т.д.).

V. Массив измененных отметок дна русла

Данный массив содержит пары следующих значений:
номер расчетного створа;
значение средней отметки дна русла в данном створе с учетом поправки на уклон водотока, вводимой вверх со знаком (—) и вниз — со знаком (+), м.

Данный массив обычно используют при выполнении специальных расчетов (например, расчет деформаций русловых карьеров, расчет взаимодействия русловых карьеров с мостовыми переходами и другими гидротехническими сооружениями на реках и т.д.).

VI. Массив измененных отметок геологического ограничения размыву

Данный массив содержит пары следующих значений:
номер расчетного створа;
значение средней отметки геологического ограничения размыва в заданном створе, м.

Данный файл используют при резком изменении отметок кровли неразмываемых коренных пород по длине реки.

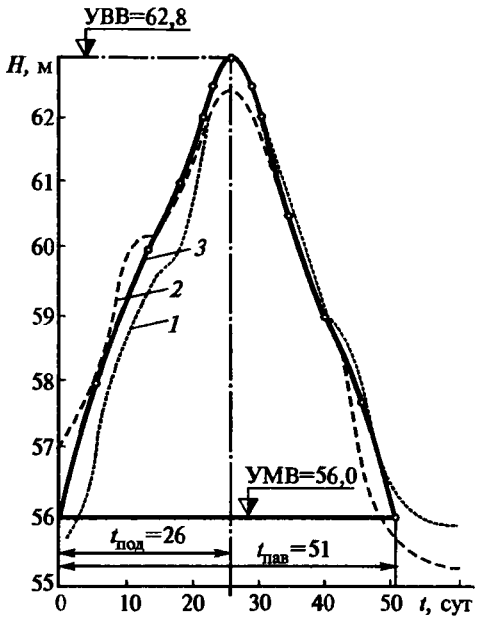
VII. Массив измененных ширин русла

Данный массив содержит пары следующих значений:
номер расчетного створа;
значение измененной ширины русла в данном створе, м.

Данный массив обычно используют для учета переменной ширины русла на исследуемом участке речной длины и для учета влияния срезки (искусственного уширения русла) на величину расчетного общего размыва.

VIII. Массив координат типового водомерного графика

Данный массив содержит пары следующих значений:
текущее время от начала паводка, сут;
уровень воды, м.



Р и с. 29.13. Пример построения типового водомерного графика $H_т = f(t)$ на мостовом переходе через р. Дон:

1 — паводок 1942 г.; *2* — паводок 1963 г.; *3* — типовой водомерный график; о — узлы интерполяции

Количество узлов интерполяции должно быть обязательно нечетным: не менее 5 и не более 99. Пример построения типового водомерного графика на р. Дон представлен на рис. 29.13.

IX. Массив максимальных годовых уровней воды

Массив содержит величины максимальных наблюденных уровней высокой воды, приведенные к высотам водопоста по оси мостового перехода. Максимальное число вводимых уровней до 81.

Массив используют лишь при расчетах по серии типовых паводков.

X. Массив координат кривой связи водопостов

Массив содержит пары величин (см. рис. 29.6):

уровень базового водопоста, м;

уровень водопоста по оси рассчитываемого мостового перехода, м.

Количество узлов интерполяции, принимаемое на менее трех и не более 25, должно быть обязательно нечетным.

Данный массив является обязательным при расчетах мостовых переходов по серии натурных паводков и на мостовых переходах, работающих в условиях подпора.

XI. Массив ежедневных уровней натурных паводков

Ежедневные уровни в отсчетах рейки опорного водопоста представляют в сантиметрах. Максимальная продолжительность каждого из представляемых натурных паводков 162 сут.

XII. Массив ежедневных расходов натурных паводков

Ежедневные расходы представляют в $м^3/с$.

Данный массив используют при расчетах мостовых переходов, работающих в условиях искусственного (водохранилища) или естественного (сгонно-нагонные явления, заторы, зажоры и т.д.) подпора, а также в условиях регрессивной эрозии. Каждый ежедневный расход должен точно соответствовать уровню того же дня.

Максимальное число ежедневных расходов каждого паводка — 162.

XIII. Массив фракционного состава донных отложений

Массив необходим при пофракционных расчетах русловых деформаций в резко разнозернистых грунтах с учетом возможной отмостки дна русла крупными фракциями.

В расчет вводят процентное содержание (в %) в составе донных отложений следующих фракций (мм): 0,10—0,25; 0,25—0,5; 0,5—1; 1—2; 2—5; 5—10; 10—20; 20—40; 40—60; 60—100; 100—200; 200—300; 300—400.

В результате комплексного расчета по программе «Рома» на печать в виде таблиц, а также в виде графиков, выводимых на экран монитора и на печать, выдается следующая информация.

I. Фактический водомерный график и гидрограф паводка

Данные представляются в виде таблицы, которая содержит:
текущее время, сут;
уровень воды, м;
расход, $м^3/с$.

II. Расчетный водомерный график и тахограф паводка

С интервалом в 1 сут для каждого рассчитанного паводка в виде таблицы выдаются данные:
русловый расход, $м^3/с$;
пойменный расход, $м^3/с$;
время от начала паводка, сут;
уровень, м;
максимальная наблюдаемая на рассчитываемом участке русловая средняя скорость течения, м/с.

III. Результаты расчета

Результаты расчета формируются для каждого рассчитанного паводка на его пике и после его прохода. Таблица для каждого расчетного створа представляется следующими данными:

номер рассчитанного паводка;

интервал длины, м;

проекция интервала длины, м;

ширина потока, м;

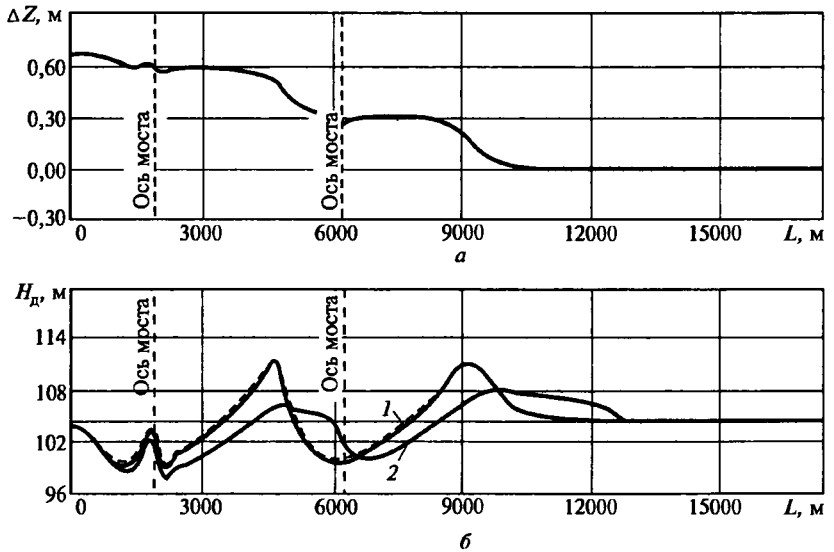
ширина русла, м;

величина подпора, м;

средняя отметка дна русла, м;

средняя русловая скорость течения, м/с.

На рис. 29.14 представлены результаты (в графической форме) расчета свободной поверхности потока и русловых деформаций для проектируемого мостового перехода через р. Оку, расположенного в 4,3 км выше существующего.



Р и с. 29.14. Результаты расчета по программе «Рома» взаимодействующих мостовых переходов через р. Оку:

а — свободная поверхность потока; *б* — профили размытого дна вдоль реки; *1* — на пике паводка; *2* — на спаде паводка

По результатам расчета определены:

1. $H_{рм} = 101{,}69$ м — средняя отметка дна в русле под мостом после размыва с учетом влияния искусственного уширения подмостового русла (срезки).

2. $h_{рм} = РУВВ_{1\%} - H_{рм} = 116{,}90 - 101{,}69 = 15{,}21$ м — средняя глубина в русле под мостом после общего размыва.

3. $P = \frac{h_{рм}}{h_{рб}} = \frac{15{,}21}{12{,}66} = 1{,}21$ — коэффициент общего размыва.

4. $H_{рм\ max} = РУВВ_{1\%} - \alpha_{рб} h_{рм} = 116{,}90 - 1{,}13 \times 15{,}21 = 99{,}71$ м — минимальная отметка дна в русле под мостом после общего размыва.

5. $\Delta z_0 = 0{,}67$ м — начальный подпор.

6. $\Delta z = 0{,}67$ м — полный подпор.

7. $\Delta z_н = \Delta z + l_z I_б = 0{,}67 + 1800 \times 0{,}00012 = 0{,}89$ м — подпор у насыпи.

8. $\Delta z_м = 0{,}60$ м — подмостовой подпор.

29.3. Программа расчета уширений русел на мостовых переходах «Рур»

Методика расчета уширений подмостовых русел, реализованная в виде программы «Рур», позволяет при проектировании мостовых переходов решать следующие задачи:

определять координаты зоны возможного самоуширения русла (т.е. определять ту наиболее вероятную плановую конфигурацию русла, которую обязательно выполнит сама река после строительства мостового перехода);

определять координаты зоны искусственного уширения (т.е. определять плановые очертания того наибольшего искусственного уширения русла, которое река в месте перехода еще способна принять без заиления в течение длительного периода времени);

рассчитывать вероятное естественное уширение (самоуширение), а также искусственное уширение русел (срезку) при геологическом ограничении глубинному размыву;

определять оптимальные отверстия мостов с учетом уширения подмостовых русел;

исследовать влияние различных факторов на степень возможного уширения подмостовых русел.

В основу методики расчета уширений русел на мостовых переходах положено уравнение баланса наносов (29.1). Таким образом, физическая основа расчета боковых и глубинных деформаций русел

одна и та же — закон сохранения материи. Результаты расчета боковых деформаций русел служат для обоснованного назначения генеральных размеров мостовых переходов и, в частности, отверстий мостов и срезок под мостами. Эти основные характеристики используют для изложенного ранее комплексного расчета мостовых переходов.

Порядок детального расчета размеров срезок пойменных берегов следующий.

1. Используя график функции $H = f\left(\frac{\sum \Delta t_j}{n}\right)$ с шагом Δt_j, определяют по формуле (29.5) расходы наносов руслоформирующих фракций для каждого j-го уровня и вычисляют среднемноголетний объем W_6 притока наносов к мосту:

$$W_6 = \sum_{j=1}^{k} G_{6j} \Delta t_j,$$

где G_{6j} — бытовой расход наносов руслоформирующих фракций, м^3/с; Δt_j — расчетный интервал времени, с.

2. Задавшись руслоформирующим уровнем РУВ выше средней отметки поймы, определяют в первом приближении ширину русла в m-м створе по формуле

$$B_{pm} = \beta_{ру}^{0.93} B_{рб},$$

где $\beta_{ру}$ — степень стеснения потока, определяемая по формуле

$$\beta_{ру} = \frac{Q}{Q_{рб} + q_{пб}(B_m - B_{pm})},$$

Q, $Q_{рб}$ — общий и русловый бытовой расходы при руслоформирующем уровне РУВ, м^3/с; $q_{пб}$ — погонный бытовой расход на пойме, м^3/с/м; B_m — ширина потока в m-м створе, м; $B_{рб}$, B_{pm} — бытовая ширина русла и ширина русла в m-м створе соответственно, м.

Определяют также среднюю отметку дна:

$$H_{pm} = \text{РУВ} - h_{рб}\beta_{ру}^{0.27},$$

где $h_{рб}$ — средняя бытовая глубина при руслоформирующем уровне РУВ.

3. Используя график функции $H = f\left(\frac{\sum \Delta t_j}{n}\right)$ с шагом Δt_j, определяют по формуле (29.5) расходы наносов руслоформирующих фракций для каждого j-го уровня и вычисляют среднемноголетний

объем W_m выноса наносов за пределы m-го створа для предварительно вычисленных $B_{рm}$ и $H_{рm}$:

$$W_m = \sum_{j=1}^{k} G_{mj} \Delta t_j,$$

где G_{mj} — расход наносов руслоформирующих фракций при j-м уровне воды в m-м створе.

4. Если выносимый объем наносов превалирует над объемом притока наносов к m-му створу русла, т.е. $W_m > W_б$, то отметку руслоформирующего уровня РУВ несколько повышают, а при $W_m < W_б$, наоборот, понижают и при новых значениях $B_{рm}$ и $H_{рm}$ вновь вычисляют среднемноголетний объем W_m выноса наносов. Расчет повторяют до тех пор, пока объем выноса наносов не станет равным бытовому их притоку к m-му створу русла, т.е. $W_m = W_б$.

5. Вычислив окончательно новые размеры русла в m-м створе, все вычисления повторяют для $(m + 1)$-го створа и т.д.

29.4. Исходная информация и результаты расчета по программе «Рур»

Для расчета по программе «Рур» уширения русел на мостовых переходах требуется подготовка следующих массивов исходных данных.

I. Массив названий объектов расчета

Данный массив содержит:
названия рассчитанных или подлежащих расчету объектов.

II. Основной массив исходных данных

В этот массив пользователь вводит:

1. $H_д$ — средняя отметка дна русла до размыва, м (см. рис. 29.7, формула (29.14)).

2. d — средний диаметр донных отложений, мм.

3. $H_г$ — средняя отметка кровли коренных пород, служащих ограничением общему размыву, м.

4. $H_п$ — средняя отметка поймы, м (формула (29.15)).

5. B_0 — ширина разлива при высоких уровнях воды в паводки, м.

6. $B_{рб}$ — бытовая ширина русла, определяемая как среднее арифметическое нескольких измерений ширины русла на исследуемом участке долины реки, м.

7. $УВВ_Q$ — уровень высокой воды, при котором известно распределение общего расхода между элементами живого сечения долины реки в месте перехода (руслом и поймами), м.

8. Q — общий расход при уровне $УВВ_Q$, $м^3/с$.

9. $Q_{рб}$ — русловый бытовой расход при уровне $УВВ_Q$, $м^3/с$.

10. $t_{пв}$ — средняя многолетняя продолжительность паводка при наинизшем уровне, отраженном графиком $H = f\left(\frac{\sum \Delta t_j}{n}\right)$, сут.

11. $L_м$ — отверстие моста в свету, м.

12. $L_{вх}$ — ширина входного сечения в зону, охватываемую струенаправляющими дамбами, м.

13. X — расстояние от границы разлива до середины моста со стороны малой поймы, м (см. рис. 29.8).

14. $l_д$ — длина зоны, охватываемой струенаправляющими дамбами, м.

15. $l_р$ — длина зоны растекания потока за верховым мостом, м (формула (29.16)).

16. n — показатель степени, характеризующий закон растекания потока за мостом (см. рис. 29.9). Значение n в пределах от 0,6 до 2 принимают тем большим, чем меньше ширина разлива, меньше шероховатость пойм и чем больше глубина на поймах. Обычно для равнинных рек принимают $n = 0{,}75$.

17. Δl — расчетный интервал длины, м.

18. Δt — расчетный интервал времени, сут. Обычно принимают равным от 0,33 до 0,5 сут, но обязательно кратным 1 сут.

19. $\alpha_п$ — коэффициент поймы (отношение средней из наибольших глубин на пойме в пониженных местах к средней глубине на всей пойме, считая от уровня $УВВ_Q$) (см. рис. 29.11).

20. $\alpha_р$ — коэффициент формы русла (отношение максимальной глубины русла к средней, считая от $УВВ_Q$).

21. Δh — допустимая погрешность (точность) определения руслоформирующего уровня, м. Обычно принимают равной 0,01—0,05 м.

III. Массив измененных длин расчетных интервалов

Данный массив содержит пары следующих значений:
номер расчетного интервала;
значение заданной длины данного интервала, м.

При формировании исходных данных (после завершения ввода в основной файл исходных данных) данный массив формируется автоматически. Однако целью данной операции, в частности, является

размещение расчетных створов в необходимых для расчета сечениях: створе голов струенаправляющих дамб, створе моста, створе конца струенаправляющих дамб. При необходимости пользователь может изменить и дополнить данный массив.

Если пользователь неудачно скорректировал значения этого массива, то существует возможность восстановить первоначальные его величины. Для этого необходимо сначала удалить все строки данного массива, а также массива измененных проекций длин расчетных интервалов (см. далее). После этого нужно открыть основной массив исходных данных и нажать кнопку «ОК».

IV. Массив измененных проекций длин расчетных интервалов

Данный массив содержит пары следующих значений:
номер расчетного интервала;
значение измененной проекции длины расчетного интервала, м.

V. Файл координат расчетной многолетней гидрологической характеристики водотока

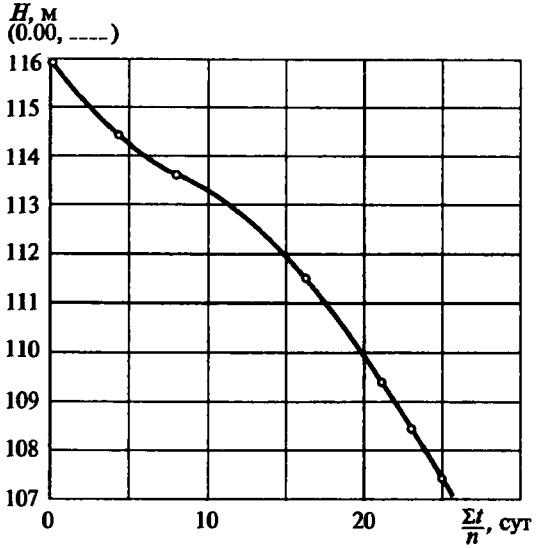
В этот массив пользователь вводит координаты функции $H = f\left(\frac{\sum \Delta t_j}{n}\right)$, представленной в отметках по оси мостового перехода. Количество узлов интерполяции должно быть нечетным — не менее трех и не более 29.

На рис. 29.15 представлен образец задания среднемноголетней гидрологической характеристики реки $H = f\left(\frac{\sum \Delta t_j}{n}\right)$ в створе мостового перехода через р. Оку.

VI. Результаты расчета

Результаты расчета по программе «Рур» представляются в табличной форме и в виде графиков, выводимых на экран монитора и на печать:

номер расчетного интервала;
проекция расчетного интервала, м;
длина расчетного интервала, м;
ширина потока в створе, м;
величина самоуширения в створе, м;
величина максимального искусственного уширения в створе, м;



Р и с. 29.15. Представление графика $H = f\left(\frac{\sum \Delta t_j}{n}\right)$ семью узлами интерполяции

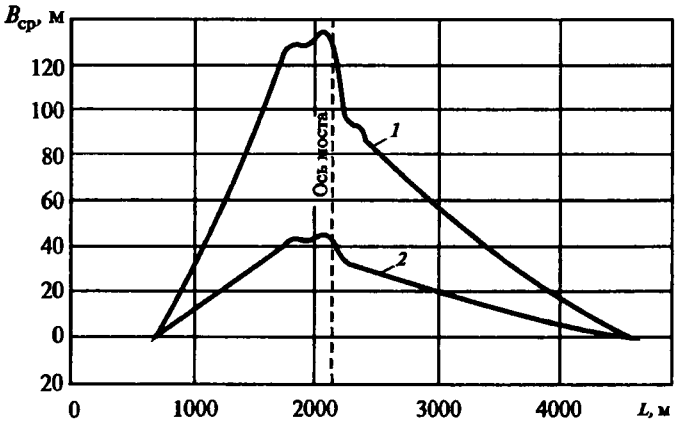
руслоформирующий уровень, м;

степень стеснения потока.

На рис. 29.16 представлены результаты расчета мостового перехода через р. Оку по программе «Рур».

В результате расчета получены следующие данные:

1. b_c = 134 м — максимальная ширина срезки под мостом.



Р и с. 29.16. График расчета уширений русла на мостовом переходе через р. Оку:

1 — искусственное уширение русла; *2* — самоуширение русла

2. $l_c = 6b_c = 6 \times 134 \approx 800$ м — минимальная длина срезки.

3. $B_{рм} = B_{рб} + b_c = 374 + 134 = 508$ м — ширина русла под мостом с учетом срезки, вводимая в расчет общего размыва и величины отверстия моста.

4. $L_м = B_{рм} + \Sigma b_{оп} + \Sigma l_{укр} + 2mh_п = 508 + 20 + 20 + 2\times 2 \times 6{,}1 \approx$ ≈ 580 м — рекомендуемая минимальная величина отверстия моста.

Глава 30

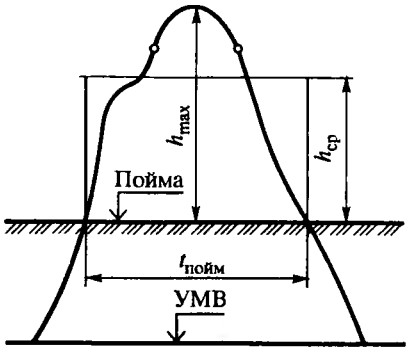
УПРОЩЕННЫЕ РАСЧЕТЫ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

30.1. Расчет размеров срезок пойменных берегов и отверстий мостов

Методика детального расчета уширений русел на мостовых переходах, основанная на решении дифференциального уравнения баланса наносов (29.1), изложена в гл. 29. Методика требует большого объема вычислительных работ и реализация ее без компьютерной обработки исходных данных весьма затруднительна. Однако на практике очень часто возникает необходимость в быстрой оценке возможного уширения подмостового русла, а также размеров отверстия и длины моста (особенно часто это приходится делать на ранних стадиях проектирования), не прибегая к детальному расчету, требующему к тому же большого объема исходной информации.

Существующие методы быстрой оценки целесообразности устройства срезок на мостовых переходах построены по единственному критерию — частоте затопления пойм в месте перехода в паводки. При этом не учитывают степень стеснения потока подходами — первопричину глубинных и боковых деформаций подмостовых русел.

В результате математического моделирования с использованием методики детального расчета и программы «Рур» (см. гл. 29) установлено, что на размеры устойчивого во времени уширения подмостовых русел существенно влияют не один, а три фактора: степень стеснения потока подходами к мосту β, вероятность (либо частота) затопления пойм в месте перехода $P_{п\%}$ и форма проходящих на водотоке паводков, характеризуемая их полнотой $П$ (*полнота паводка* — это отношение средней высоты паводка над поймой $h_{ср}$ к его максимальной высоте h_{max}) — $П = \dfrac{h_{ср}}{h_{max}}$ (рис. 30.1).



Р и с. 30.1. Схема к определению полноты расчетного паводка

Значения возможного уширения при этом оказываются тем большими, чем больше стеснен поток подходами, чем чаще затапливаются поймы в месте перехода в паводки и чем больше полнота паводков.

Наибольшая ширина подмостового русла $B_{рм}$ (с учетом срезки), которую еще может принять река без заиления в течение многих десятилетий, можно определить по теоретико-эмпирической формуле, полученной на основе обобщения материалов математического моделирования многочисленных существующих и проектируемых мостовых переходов и анализа данных натурных обследований существующих мостовых переходов:

$$B_{рм} = B_{рб}[(\beta_{1\%}^{0,93} - 1)K_{п}K_{р\%} + 1], \qquad (30.1)$$

где $B_{рб}$ — бытовая ширина подмостового русла; $\beta_{1\%} = \dfrac{Q_{1\%}}{Q_{рб1\%}}$ — степень стеснения потока при отверстии, близком к $B_{рм}$ на пике паводка с ВП = 1%; $K_{п}$ — коэффициент, учитывающий влияние полноты расчетного паводка; $K_{р\%}$ — коэффициент частоты затопления пойм, %.

Коэффициент, учитывающий влияние полноты расчетного паводка:

$$K_{п} = \left(\frac{7,7}{\beta_{1\%}} - 1\right)\left(\frac{П}{2}\right)^{(3,8-0,85\beta_{1\%})} \quad \text{при } \beta_{1\%} < 4,5 \text{ и } P_{п\%} < 95\%;$$

$$K_{п} = 0,7 \text{ при } \beta_{1\%} \geq 4,5 \text{ и } P_{п\%} < 95\%;$$

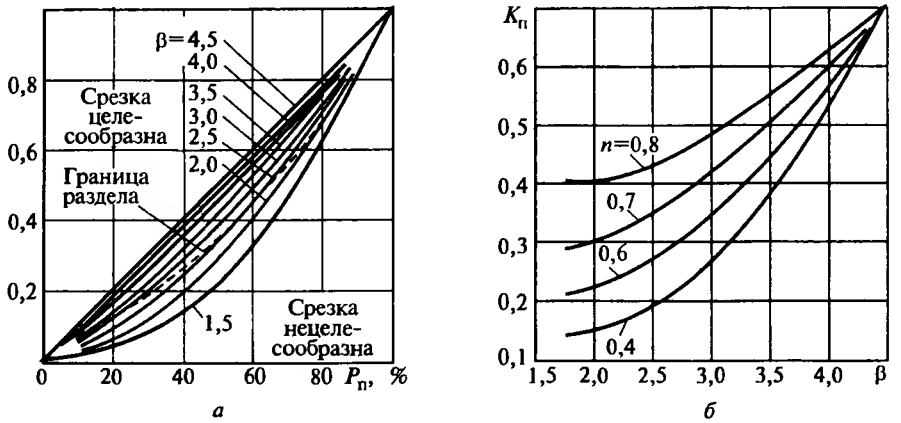
$$K_{п} = 0,79П^{1/2} \text{ при } P_{п\%} \geq 95\%,$$

где $П$ — полнота паводка; $P_{п\%}$ — вероятность (частота) затопления пойм в паводки в месте перехода, %.

Коэффициент частоты затопления пойм

$$K_{р\%} = \left(\frac{P_{п\%}}{100}\right)^{\left(0,5+\frac{2,5}{\beta_{1\%}}\right)} \quad \text{при } P_{п\%} < 95\%;$$

$$K_{р\%} = 1 \text{ при } P_{п\%} \geq 95\%.$$



Р и с. 30.2. Графики для определения коэффициентов, учитывающих:

а — вероятность (частоту) затопления пойм $K_{p\%}$; *б* — полноту паводков $K_п$

Коэффициенты $K_п$ и $K_{p\%}$ могут быть определены с использованием графиков Г.С. Пичугова (рис. 30.2).

Выработаны следующие правила проектирования срезок и соответствующих им отверстий мостов.

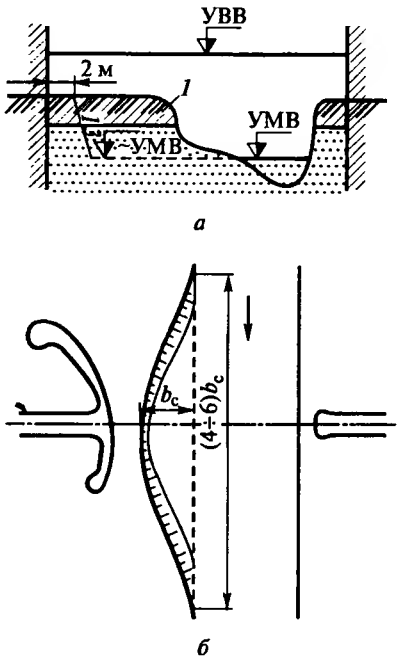
1. Срезку под мостом, являющуюся по своей природе искусственным уширением русла (увеличением ширины фронта переноса руслоформирующих наносов), нужно устраивать за счет удаления связных грунтов наилка поймы до обнажения несвязных аллювиальных отложений (рис. 30.3, *а*), но не за счет русловых элементов — побочней, осередков и т.д.

2. Наибольшие размеры срезок, которые еще может принять река при данном стеснении без заиливания в течение многих десятилетий, необходимо обосновывать расчетами. Наиболее полную информацию для проектирования дает детальный компьютерный расчет по программе «Рур» (см. гл. 29). Можно использовать и изложенный выше упрощенный расчет наибольших размеров срезок подмостовых русел по формуле (30.1).

3. Вопрос целесообразности устройства срезки может быть решен лишь при выполнении следующего условия:

$$0{,}4\beta_{1\%}\left(\frac{P_{п\%}}{100}+0{,}5\right)\geq 1. \qquad (30.2)$$

Неравенство (30.2) можно также представить и в табличной форме (табл. 30.1).



Р и с. 30.3. Очертания срезки в поперечном сечении (*а*) и в плане (*б*):

1 — наилок поймы

Т а б л и ц а 30.1. **Условия целесообразности устройства срезки**

$\beta_{1\%}$	1,7	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$P_{п\%}$, %, не менее	95	75	50	33	21	13	6

При степени стеснения потока $\beta_{1\%} < 1,7$ вопрос о возможности устройства срезки снимают при всех обстоятельствах.

4. Генеральные размеры срезок определяют исходя из необходимости уменьшения общего размыва у мостовых опор, а также потребными объемами грунта для устройства насыпей подходов, струенаправляющих дамб, траверсов и т.д.

5. Можно устраивать как одностороннюю, так и двустороннюю срезку с распределением уширения между соответствующими поймами пропорционально сливу воды с каждой из них.

6. Срезку устраивают на глубину до уровня средней межени. Форму уширенного русла в плане принимают эллиптического очертания с плавным сопряжением с не уширенными частями его в верхнем и

нижнем бьефах. Общую длину срезки назначают на менее 4÷6-кратной ее ширины b_c (рис. 30.3, *б*).

7. Отверстие моста назначают, как правило, не менее величины, определяемой формулой:

$$L_м = \delta B_{рм} + \sum b_{оп} + \sum l_{укр} + 2mh_п, \qquad (30.3)$$

где $B_{рм}$ — ширина русла под мостом, определенная расчетом, м; δ — гарантийный запас на возможную погрешность, принимаемый: $\delta = 1{,}1$ при морфометрической основе расчета; $\delta = 1{,}0$ при гидрометрической основе расчета; $\sum b_{оп}$ — суммарная ширина опор по фасаду (для расчета отверстия моста в свету $\sum b_{оп} = 0$), м; $\Sigma l_{укр}$ — ширина укрепления подошв конусов (для ориентировочных расчетов можно принимать $\Sigma l_{укр} = 10 \div 20$ м); m — коэффициент заложения откосов конусов (обычно $m = 2$); $h_п$ — глубина на пойме у конусов при РУВВ.

30.2. Пределы общего размыва и расчетный для опор мостов общий размыв

Расчет общего размыва подмостовых русел является одной из важнейших частей проектов мостовых переходов, поскольку во многом определяет глубину фундирования опор мостов и их конструкцию.

Расчет общего размыва на мостовых переходах наиболее точно выполняют по длительной серии паводков, пропускаемых в натурной (наблюденной) последовательности, с использованием компьютерной комплексной методики гидравлических и русловых расчетов и программы «Рома», основанной на детальном решении дифференциального уравнения баланса наносов в конечных разностях (см. гл. 29).

На практике нередко оказывается необходимым выполнять быструю оценку возможного общего размыва у опор мостов (особенно на ранних стадиях проектирования), не прибегая к многодельному хотя и более точному компьютерному расчету. Нередки случаи, когда проектные организации не имеют соответствующих специалистов, которые могли бы профессионально такие расчеты выполнить. При производстве изысканий использование упрощенных расчетов является обычно единственно возможным.

На основе анализа и обобщения результатов математического моделирования с использованием комплексной методики гидравлических и русловых расчетов мостовых переходов и программы «Гидрам-3» (программа «Рома» появилась позже) были исследованы свой-

ства характерных пределов общего размыва и разработан метод упрощенного расчета общего размыва подмостовых русел.

Нижним пределом общего размыва называют наибольший общий размыв, который может возникнуть при длительном воздействии на подмостовое русло расчетного паводка постоянной высоты.

Глубина нижнего предела размыва оказывается тем больше, чем больше степень стеснения потока подходами к мосту $\beta = \frac{Q_{рм}}{Q_{рб}}$ и чем меньше степень уширения подмостового русла $\gamma = \frac{B_{рм}}{B_{рб}}$.

Основное свойство нижнего предела размыва заключается в том, что расчетный для опор моста размыв ни при каких обстоятельствах не может быть больше нижнего предела размыва (если, конечно, паводок не превысит расчетный). В отдельных случаях нижний предел общего размыва может быть достигнут в ходе реального (имеющего подъем, спад и ограниченную длительность) паводка в момент восстановления продольного баланса наносов при уровнях, близких к его пику.

Нижний предел размыва может быть определен двумя способами:

непосредственным компьютерным расчетом с использованием программы «Рома» (см. гл. 29) по длительному паводку постоянной высоты, равной пику расчетного паводка;

по теоретической формуле предельного баланса проф. О.В. Андреева, представляемой для практических расчетов в следующем виде:

$$h_{рн} = h_{рб}\,\beta^{8/9}\left[\frac{B_{рб}}{B_{рм}(1-\lambda)}\right]^{2/3}, \qquad (30.4)$$

где $h_{рб}$, $h_{рн}$ — глубина в русле под мостом до и после предельного размыва, м; $B_{рб}$, $B_{рм}$ — бытовая ширина русла и ширина русла под мостом с учетом срезки, определяемая по формуле (30.1), м; $\lambda = \frac{b_{оп}}{l_{пр}}$ — относительная ширина русловой опоры: $b_{оп}$ — средняя ширина русловой опоры по фасаду моста; $l_{пр}$ — длина пролета; β — степень стеснения потока подходами:

$$\beta = \frac{Q}{Q_{рб} + q_{пб}(L_м - B_{рм})}, \qquad (30.5)$$

где Q, $Q_{рб}$ — соответственно общий и русловый бытовой расходы при расчетном уровне воды, $м^3/с$; $L_м$ — отверстие моста, м; $q_{пб}$ — бытовой погонный расход на пойме, $м^3/с/м$:

$$q_{\text{пб}} = \frac{Q - Q_{\text{рб}}}{B_0 - B_{\text{рб}}};$$

B_0 — ширина разлива реки в паводки, м.

Время, потребное для достижения нижнего предела размыва $t_{\text{н}}$, является важной характеристикой мостового перехода и зависит от многих факторов: бытовой глубины потока $h_{\text{рб}}$, длины зоны сжатия потока перед мостом $l_{\text{сж}}$, длины верховых струенаправляющих дамб $l_{\text{вд}}$, бытовой скорости течения в русле $v_{\text{рб}}$, крупности размываемого аллювия d. Время стабилизации нижнего предела размыва (сут) определяется по теоретико-эмпирической формуле, полученной на основе анализа и обобщения материалов математических экспериментов:

$$t_{\text{н}} = \frac{l_{\text{сж}} h_{\text{рб}} (K_{\text{ф}} - 2\chi)}{172\,800 g_{\text{б}}}, \qquad (30.6)$$

где $h_{\text{рб}}$ — средняя бытовая глубина потока в русле, считая от РУВВ, м; $K_{\text{ф}}$ — коэффициент формы ямы размыва перед мостом:

$$K_{\text{ф}} = 0{,}4\left(\frac{l_{\text{мп}}}{l_{\text{бп}}} - 0{,}5\right)^2 + 0{,}8;$$

$l_{\text{мп}}$, $l_{\text{бп}}$ — ширина малой и большой пойм соответственно; $\chi = \frac{l_{\text{вд}}}{l_{\text{сж}}}$ — относительная длина верховых струенаправляющих дамб (зоны, охватываемой верховыми струенаправляющими дамбами); $l_{\text{сж}}$ — длина зоны сжатия потока перед мостом, определяемая одним из следующих способов:

по формуле, полученной на основе данных М.В. Михайлова:

$$l_{\text{сж}} = \frac{B_0 - L_{\text{м}}}{1 + \frac{l_{\text{мп}}}{l_{\text{бп}}}}; \qquad (30.7)$$

по формуле Н.И. Чиркиной:

$$l_{\text{сж}} = \frac{5 L_{\text{бп}}}{\beta^{3/2}}; \qquad (30.8)$$

$L_{\text{бп}}$ — длина большего подхода, м; $g_{\text{б}}$ — погонный бытовой расход руслоформирующих наносов при РУВВ, м^3/с/м:

$$g_б = \left[\frac{A_д}{h_{рб}^{1/4}} + A_в\right] v_{рб}^3 (v_{рб} - v_{нер});$$

$A_д$, $A_в$ — функции свойств аллювия принимают:
для расчета донных наносов

$$A_д = \frac{2(1+r)}{g^{3/2} d_{ср}^{1/4} \gamma};$$

для расчета взвешенных наносов

$$A_в = \frac{0{,}2(1+r)}{g W \gamma};$$

r — порозность наносов, т.е. отношение объема пор к объему беспустотной среды (обычно $r = 0{,}65$); g — ускорение свободного падения ($g = 9{,}81$ м/с^2); d — средняя крупность наносов, м; γ — плотность материала наносов (обычно $\gamma = 2650$ кг/м^3); W — гидравлическая крупность наносов (частиц), т.е. скорость выпадения частиц в стоячей воде; $v_{рб}$ — средняя русловая бытовая скорость течения, м/с; $v_{нер} = \frac{v_{нд}}{d^{1/6}} h_{рб}^{1/6}$ — неразмывающая средняя скорость течения, м/с.

Гидравлическую крупность наносов W определяют по шкале В.Б. Архангельского:

d, мм	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
W, м/с	0,0001	0,0018	0,0069	0,0156	0,0216	0,027	0,0324
d, мм	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80
W, м/с	0,0378	0,0432	0,0468	0,054	0,065	0,073	0,081
d, мм	0,90	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50
W, м/с	0,088	0,094	0,126	0,153	0,177	0,19	0,209
d, мм	4,00	4,50	5,00				
W, м/с	0,223	0,237	0,249				

Значения $\frac{v_{нд}}{d^{1/6}}$ определяют по табл. 30.2, составленной проф. О.В. Андреевым.

Таблица 30.2. **Донные неразмывающие скорости**

Грунт	d, мм	Донная неразмывающая скорость, м/с	$\frac{v_{ил}}{d^{1/6}}$
Песок:			
мелкий	0,05—0,25	0,20	0,55—0,60
средний	0,25—1,0	0,20	0,60—0,65
крупный	1,0—2,5	0,20—0,2	0,65—0,70
Гравий:			
мелкий	2,5—5,0	0,25—0,35	0,70—0,85
средний	5,0—10	0,35—0,50	0,85—1,10
крупный	10—15	0,50—0,60	1,10—1,20
Галька:			
мелкая	15—25	0,60—0,80	1,20—1,50
средняя	25—40	0,80—1,00	1,50—1,70
крупная	40—75	1,00—1,35	1,70—2,10
Булыжник:			
мелкий	75—100	1,35—1,60	2,10—2,35
средний	100—150	1,60—1,95	2,35—2,60
крупный	150—200	1,95—2,25	2,60—2,95
Валуны:			
мелкие	200—300	2,25—2,75	2,95—3,35
средние	300—400	2,75—3,15	3,35—3,70
крупные	> 400	> 3,15	> 3,70

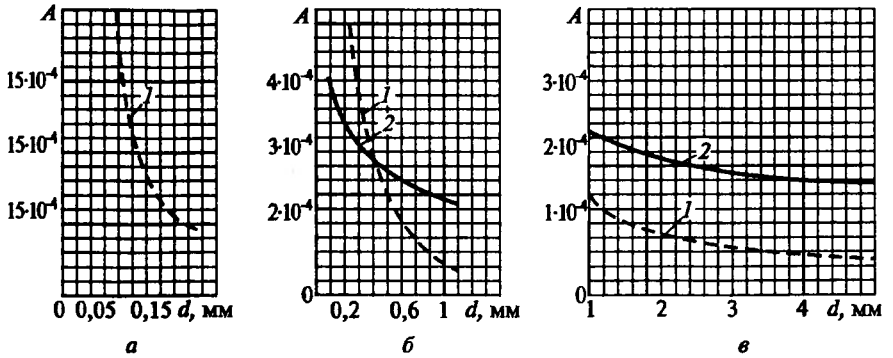
Примечание. $v_{нз}$ — донная неразмывающая скорость для грунта данной крупности, м/с; $d_{ср}$ — средняя крупность грунта, м.

Функции свойств грунта $A_д$ и $A_в$ могут быть также ориентировочно определены по графику (рис. 30.4).

Гипотетическим пределом общего размыва называют размыв, вызываемый воздействием на подмостовое русло многих реальных (имеющих подъем, спад и конкретную продолжительность), проходящих один за другим одинаковых расчетных паводков.

Глубина гипотетического предела общего размыва оказывается тем больше, чем больше степень стеснения потока подходами к мосту β, чем меньше степень уширения подмостового русла γ и чем больше полнота расчетного паводка $П$ (см. рис. 30.1). Обычно полнота расчетного паводка лежит в узких пределах $П = 0{,}5 \div 0{,}6$.

Основное свойство гипотетического предела общего размыва заключается в том, что расчетный для опор моста размыв не может быть больше гипотетического предела (если, конечно, паводок не превышает расчетный). Гипотетический предел общего размыва достигает-



Р и с. 30.4. Графики для определения коэффициентов $A_д$ и $A_в$ при наносах:
а — мелких; *б* — средних; *в* — крупных; *1* — взвешенные наносы ($A_в$); *2* — донные наносы ($A_д$)

ся в момент восстановления продольного баланса наносов на спаде очередного расчетного паводка.

Гипотетический предел общего размыва может быть определен одним из двух способов:

непосредственным компьютерным расчетом по программе «Рома» (см. гл. 29) по серии следующих один за другим одинаковых расчетных паводков;

по теоретико-эмпирической формуле, полученной проф. Г.А. Федотовым на основе анализа и обобщения данных математического моделирования:

$$h_{рг} = h_{рб}\left[(\beta^{8/9} - 1)\,П^{1/2} + 1\right]\left[\frac{B_{рб}}{B_{рм}(1-\lambda)}\right]^{2/3}, \qquad (30.9)$$

где β — степень стеснения потока при РУВВ, определяемая по формуле (30.5); $П$ — полнота расчетного паводка. Дли не изученных в гидрологическом отношении водотоков можно ориентировочно принимать $П = 0{,}55$; $B_{рб}$ и $B_{рм}$ — бытовая ширина русла и ширина его под мостом с учетом срезки; λ — относительная ширина русловой опоры.

Верхним пределом общего размыва называют общий размыв, вызываемый проходом единичного расчетного паводка первым по предварительно не размытому дну.

Глубина верхнего предела размыва зависит от всей совокупности факторов, действующих на мостовых переходах, и оказывается тем больше, чем больше степень стеснения потока подходами β, чем меньше уширение подмостового русла γ, чем меньше длина зоны

сжатия потока перед мостом $l_{сж}$, чем меньше крупность размываемого грунта d и чем больше длительность $t_{пв}$ и полнота $П$ расчетного паводка.

Основное свойство верхнего предела размыва заключается в том, что расчетный для опор моста общий размыв может быть равен ему, но не может быть меньше. Верхний предел общего размыва достигается в момент восстановления продольного баланса наносов на спаде расчетного паводка, однако при уровне, более низком, чем гипотетический предел.

Верхний предел общего размыва может быть определен двумя способами:

непосредственным компьютерным расчетом с использованием программы «Рома» (см. гл. 29) по единственному расчетному паводку, пропускаемому первым по предварительно не размытому дну;

по теоретико-эмпирической формуле, полученной проф. Г.А. Федотовым на основе анализа и обобщения материалов математического моделирования:

$$h_{рв} = h_{рб}\left[(\beta^{8/9} - 1)\,П^{1/2} K_t + 1\right]\left[\frac{B_{рб}}{B_{рм}(1-\lambda)}\right]^{2/3}, \qquad (30.10)$$

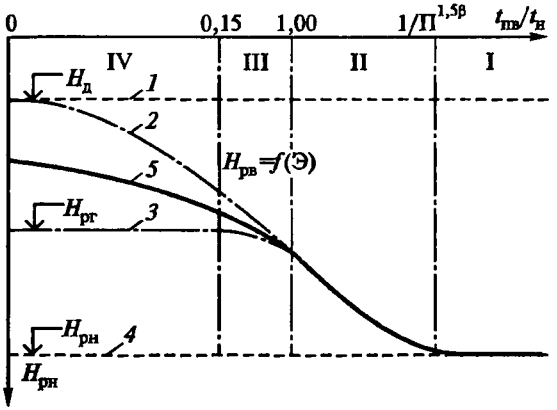
где K_t — коэффициент, учитывающий влияние времени размыва, определяемый по теоретико-эмпирическим формулам, полученным по материалам математического моделирования:

$$K_t = \left(1 + \frac{0{,}53}{\beta}\right)\left(\frac{t_{пв}}{t_н}\right)^{\frac{0{,}75}{\beta}} \quad \text{при } K_t < 0{,}80;$$

$$K_t = \left(\frac{t_{пв}}{t_н}\right)^{\frac{0{,}35}{\beta}} \quad \text{при } K_t \geq 0{,}80,$$

где $t_н$ — время стабилизации нижнего предела общего размыва, определяемой по формуле (30.6), сут.

При потенциальной размывающей способности расчетного паводка, равной минимально необходимой для реализации гипотетического предела, последний оказывается достигнутым сразу же после прохода первого расчетного паводка, т.е. оказывается равным верхнему пределу (рис. 30.5). При этом, если потенциальная размывающая способность паводка оказывается больше необходимой для реализации гипотетического размыва, происходит закономерное нарушение независимости гипотетического предела от длины зоны сжа-



Р и с. 30.5. Взаимное положение характерных пределов размыва при различной потенциальной размывающей способности расчетного паводка:

1 — дно до размыва; *2* — верхний предел; *3* — гипотетический предел; *4* — нижний предел; *5* — расчетный для опор общий размыв

тия потока перед мостом, длительности расчетного паводка над поймой и крупности размываемого грунта, т.е. гипотетический предел, равный верхнему, подобно ему уже оказывается зависимым от всей совокупности факторов, влияющих на общий размыв вообще. Гипотетический размыв в этом случае уже нельзя определять по формуле (30.9), его устанавливают по формуле (30.10).

В зависимости от потенциальной размывающей способности паводка, определяемой соотношением $\frac{t_{пв}}{t_н}$, расчетный для опор моста размыв может совпадать с некоторыми характерными пределами, но в общем случае занимает промежуточное положение между верхним и гипотетическим размывами (см. рис. 30.5).

Как показывает анализ графика, изображенного на рис. 30.5, по способу определения расчетного для опор моста общего размыва все мостовые переходы могут быть разделены на четыре группы.

Первая группа мостовых переходов характеризуется потенциальной размывающей способностью расчетного паводка большей, чем требуется для достижения нижнего предела. Расчетный для опор моста общий размыв, равный нижнему пределу, определяют в этом случае по формуле (30.4) предельного баланса проф. О.В. Андреева.

Вторая группа мостовых переходов характеризуется потенциальной размывающей способностью расчетного паводка большей, чем

требуется для реализации гипотетического размыва, но меньшей, чем минимально необходимая для реализации нижнего. Расчетный для опор моста размыв, равный верхнему пределу, определяют по формуле (30.10).

Третья группа мостовых переходов характеризуется потенциальной размывающей способностью расчетного паводка, близкой к требуемой для реализации гипотетического предела. Расчетный для опор моста общий размыв, равный гипотетическому пределу, принимают по формуле (30.9). На практике мостовых переходов третьей группы встречается наибольшее количество (порядка 70—75% от общего их числа).

Четвертая группа мостовых переходов характеризуется тем, что потенциальная размывающая способность расчетного паводка слишком мала для реализации гипотетического предела. На мостовых переходах четвертой группы все характерные пределы размыва сильно разнятся между собой, а расчетный для опор общий размыв занимает промежуточное положение между верхним и гипотетическим (см. рис. 30.5). Расчетный общий размыв в этом случае определяют компьютерным расчетом по программе «Рома» по длительной натурной серии паводков с пропуском расчетного в конце одного из многоводных периодов, определившего наиболее опасную направленность русловых деформаций. На ранних стадиях проектирования в качестве расчетного (с некоторым запасом) может быть принят гипотетический размыв, определяемый по формуле (30.9).

Признаки, по которым можно сразу же отнести тот или иной мостовой переход к соответствующей группе, представлены в табл. 30.3.

Таблица 30.3. **Признаки группы мостовых переходов**

Группа мостового перехода	Признаки	Способ расчета
Первая	$h_{рв} \geq h_{рн};\ \frac{t_{нв}}{t_н} \geq \frac{1}{П^{1.5\beta}}$	По формуле (30.4)
Вторая	$h_{рн} > h_{рв} \geq h_{рг};\ \frac{1}{П^{1.5\beta}} > \frac{t_{нв}}{t_н} \geq 1$	По формуле (30.10)
Третья	$h_{рн} \geq 0{,}85h_{рг} > h_{рв};\ 1 > \frac{t_{нв}}{t_н} \geq 0{,}15$	По формуле (30.9)
Четвертая	$h_{рв} < 0{,}85h_{рг};\ \frac{t_{нв}}{t_н} < 0{,}15$	По программе «Рома» или по формуле (30.9)

30.3. Определение максимальной глубины расчетного общего размыва

Все изложенные выше способы расчета общих размывов дают возможность определения средней глубины в подмостовом русле $h_{рм}$ после общего размыва. Однако при проектировании мостов их опоры необходимо фундировать исходя из фактической максимальной глубины в русле $h_{рм\,max}$ (рис. 30.6).

Для перехода от расчетной средней глубины после размыва к максимальной уже в течение ряда десятилетий используют физически ясный показатель — *коэффициент формы русла* (отношение максимальной глубины в русле к ее среднему значению). При этом различают:

коэффициент формы русла бытовой

$$\alpha_{рб} = \frac{h_{рб\,max}}{h_{рб}},$$

где $h_{рб\,max}$ и $h_{рб}$ — максимальная и средняя бытовая (до размыва) глубина в русле соответственно (см. рис. 30.6);

коэффициент формы русла под мостом после размыва

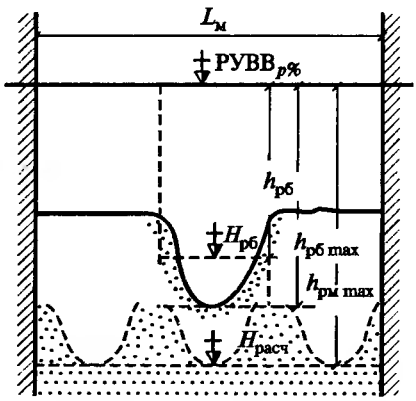
$$\alpha_{рм} = \frac{h_{рм\,max}}{h_{рм}},$$

где $h_{рм\,max}$ и $h_{рм}$ — максимальная и средняя глубина в русле под мостом после общего расчетного размыва соответственно (см. рис. 30.6).

При этом величина максимальной (расчетной для опор мостов) глубины общего размыва определяется так:

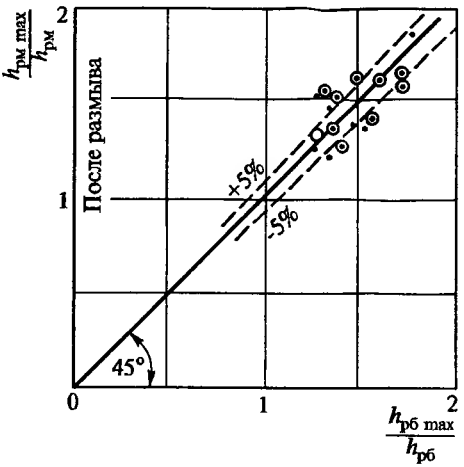
$$h_{рм\,max} = \alpha_{рм} h_{рм}, \qquad (30.11)$$

где $h_{рм}$ — средняя глубина расчетного общего размыва.



Р и с. 30.6. Схема к определению расчетного для опор моста максимального общего размыва

Анализ многочисленных натурных данных и результатов лабораторных экспериментов свидетельствует о том, что коэффициент формы русла под мостами, как правило, не остается неизменным во времени и величина его может меняться в ходе размыва как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, и назначение его неизмен-



Р и с. 30.7. Коэффициенты формы подмостовых русел до и после размыва (по данным проф. О.В. Андреева). Кружками показаны точки, соответствующие мостам с уширением подмостовых русел

ным в ходе размыва может приводить в одних случаях к опасным инженерным решениям, а в других — к излишним запасам устойчивости и, следовательно, к омертвлению капитальных вложений.

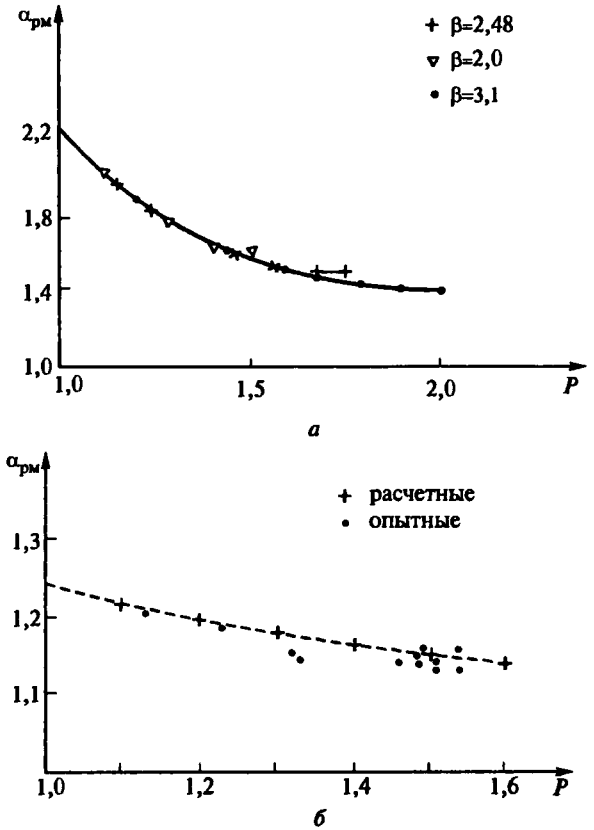
Как показали исследования, выполненные С.Н. Лущом, величина конечного (расчетного) коэффициента формы русла под мостами $\alpha_{рм}$ зависит от коэффициента общего размыва, определяемого степенью стеснения потока подходами, временем воздействия расчетного паводка и его формой, крупностью современного аллювия, шириной разлива речного потока в паводки, инженерно-геологическим строением русла и т.д.

В течение истекшего столетия все предложения по расчетам изменения коэффициента формы подмостового русла сводились к разработкам зависимостей двух видов: увеличения подмостового коэффициента формы русла $\alpha_{рм} > \alpha_{рб}$ (Л.Л. Лиштван, И.И. Херхеулидзе, А.М. Латышенков) и сохранения его бытового значения $\alpha_{рм} = \alpha_{рб}$ (Н.А. Белелюбский, Е.В. Болдаков, О.В. Андреев).

Если первая группа методов почти всегда определяла излишние (необоснованные) запасы устойчивости опор мостов с соответствующим омертвлением капитальных вложений, то вторая давала более достоверные значения максимальных расчетных глубин общего размыва.

Согласно данным натурных измерений под существующими мостами в ряде случаев коэффициенты формы подмостового русла после размыва оказываются близкими к бытовым их значениям, хотя отдельные отклонения могут достигать 25% и более (рис. 30.7).

На основе анализа и обобщения натурных данных, данных лабораторных экспериментов и результатов математического моделиро-



Р и с. 30.8. Изменение коэффициента формы русла под мостами $\alpha_{рм}$ в ходе размыва (по данным С.Н. Луща):

а — данные математического моделирования; *б* — данные моделирования в гидравлическом лотке

вания с использованием математической модели поструйного расчета общего размыва в русле, построенной С.Н.Лущом на базе программы «Гидрам-3», удалось установить, что в ходе общих размывов подмостовых русел с однородным геологическим строением размываемого дна имеет место тенденция уменьшения коэффициента формы подмостовых русел (рис. 30.8).

Таким образом, при определении максимальных глубин общего размыва (расчетных для опор мостов) по формуле (30.11) коэффициент $\alpha_{рм}$ можно определять двумя способами:

по условию сохранения после размыва бытового коэффициента формы подмостового русла (с некоторым запасом)

$$\alpha_{рм} = \alpha_{рб};$$

по формуле С.Н. Луща

$$\alpha_{рм} = \frac{\alpha_{рб} + P - 1}{P},$$

где $P = \frac{h_{рм}}{h_{рб}}$ — расчетный коэффициент общего размыва; $h_{рб}$ и $h_{рм}$ — средние глубины в русле под мостом до и после общего размыва.

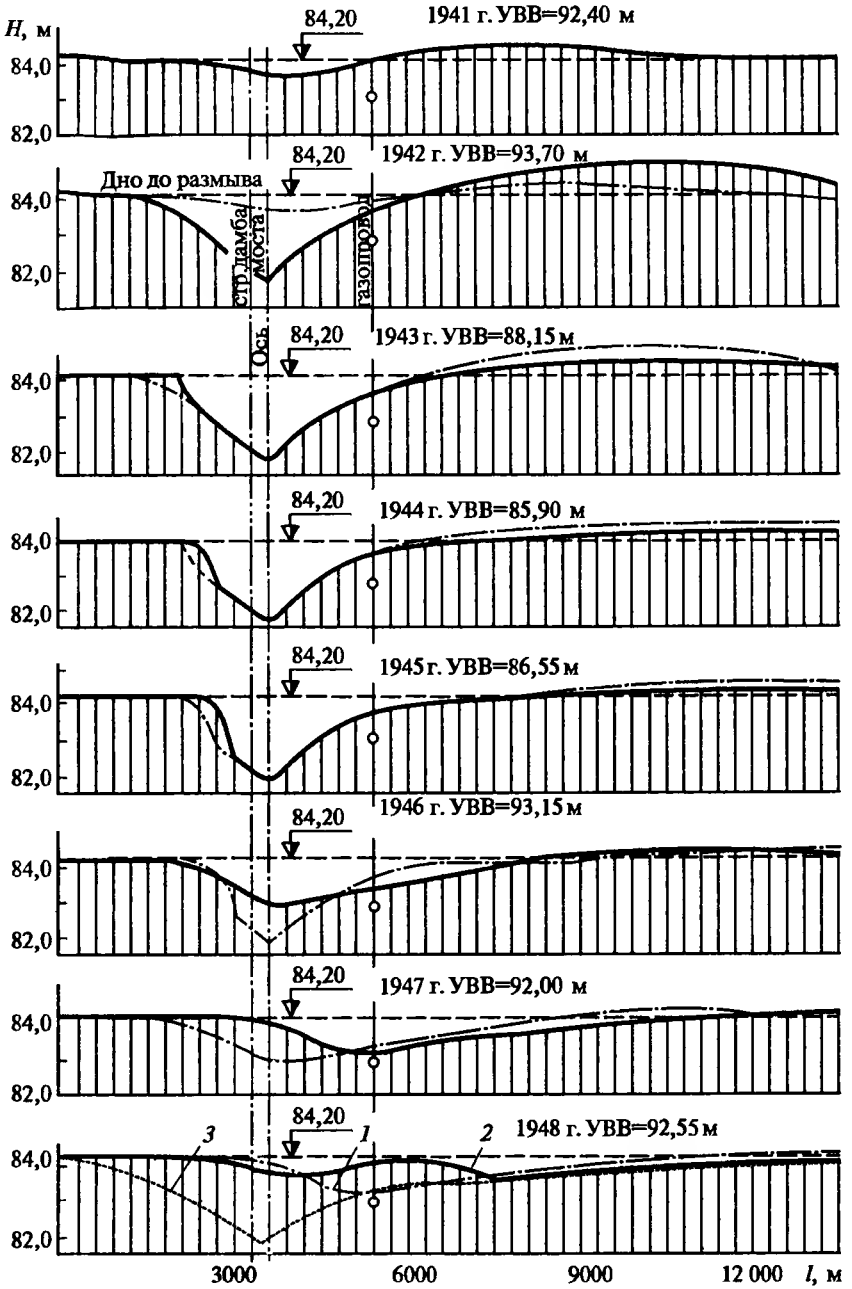
30.4. Расчет размывов переходов коммуникаций у мостовых переходов

Одним из важных вопросов, решаемых при комплексных расчетах мостовых переходов, является прогноз размывов существующих и проектируемых переходов коммуникаций, размещаемых у мостов или в некотором удалении от них. Такие случаи на практике случаются часто и прежде всего потому, что место, удобное для сооружения мостового перехода, оказывается привлекательным и для строительства переходов различных коммуникаций.

Магистральные нефтепроводы, газопроводы, кабельные переходы, линии электропередач, дюкеры и т.д. пересекают реку в подводных траншеях или по воздушному переходу, устраиваемому на специальных опорах. Эти переходы сами по себе практически не нарушают бытового режима водотока.

Однако после строительства мостовых переходов на значительном удалении вверх и особенно вниз по течению в руслах рек развиваются размывы. Игнорирование этого важного обстоятельства при проектировании обычно приводит к повреждению коммуникаций или полному выводу их из строя уже в первые годы после постройки мостовых переходов.

В нормах проектирования магистральных трубопроводов нормируемое минимально допустимое расстояние от железнодорожных и автодорожных мостовых переходов до магистральных нефтепроводов при диаметре до 1000 мм принято 300 м и при диаметре 1000 мм и более — 500 м. Расстояние от мостовых переходов до магистральных газопроводов в зависимости от их диаметра нормировано в пределах лишь 75—250 м. Строительные нормы и правила на проектирование автомобильных дорог и мостов вообще не содержат указаний, предусматривающих переустройство существующих коммуникаций, попадающих в зону влияния мостовых переходов.


H, м
84,0
82,0
84,20
1941 г. УВВ=92,40 м
1942 г. УВВ=93,70 м
Дно до размыва
стр. дамба
моста
газопровод
Ось
1943 г. УВВ=88,15 м
1944 г. УВВ=85,90 м
1945 г. УВВ=86,55 м
1946 г. УВВ=93,15 м
1947 г. УВВ=92,00 м
1948 г. УВВ=92,55 м
3
1
2
3000
6000
9000
12 000
l, м

В первом приближении задача расчета размывов переходов коммуникаций у мостов была решена в Союздорпроекте.

Наиболее полно и точно сохранность коммуникаций у мостовых переходов можно прогнозировать с помощью программы «Рома», обязательно по длительной натурной серии паводков с пропуском расчетного в конце первого же многоводного периода. При определении размывов переходов коммуникаций, располагаемых выше оси моста, такой расчет, как правило, является исчерпывающим. Что касается прогноза сохранности переходов коммуникаций ниже оси моста, то расчет должен быть продолжен, так как наибольшее распространение вниз по реке общий размыв получает в сравнительно маловодные периоды стока, после многоводных.

На рис. 30.9 представлены результаты расчета (выполнен в Гипротрансмосте по программе «Гидрам-3») размыва магистрального газопровода, расположенного на 1,8 км ниже проектируемого мостового перехода через р. Урал у г. Индер по натурной серии паводков 1941—1948 гг.

В результате прохода расчетного паводка 1942 г. (РУВВ = 93,70 м) общий размыв распространился на 3,0 км вверх и на 2,5 км вниз по течению. При этом в пределах зоны сжатия потока перед мостом сформировались опасные для проектируемых переходов коммуникаций размывы, в то время как средний смыв грунта в русле реки по оси существующего магистрального газопровода в нижнем бьефе составил всего 0,4 м. В более низкие паводки 1943—1947 гг. происходил процесс заиления ямы размыва и перемещения створа с наибольшей глубиной к существующему газопроводу и, наконец, в относительно невысокий паводок 1947 г. (УВВ = 92,00 м) наибольшая глубина достигла оси коммуникации и средний смыв грунта в русле над ней составил уже 1,05 м.

Как видно из результирующего графика (см. рис. 30.9, кривая *3*), профили наибольших средних глубин в створах, наблюдавшиеся в серии всех пропущенных паводков выше и ниже мостового перехода, имеют вид выпуклых кривых. При этом на всем исследуемом участке нижнего бьефа общей протяженностью 10 200 м в ходе серии павод-

---

Р и с. 30.9. Продольные профили дна русла р. Урал по результатам расчета размыва магистрального газопровода, расположенного в нижнем бьефе мостового перехода:

1 — до прохода паводка; *2* — после прохода паводка; *3* — наибольшие глубины, зафиксированные в ходе всей серии паводков

ков были зафиксированы размывы. Однако в конце исследуемого участка эти размывы уже несущественны.

Для быстрого определения размеров смыва грунта в любом створе русла выше и ниже мостовых переходов при известном расчетном размыве в створе самого моста можно воспользоваться упрощенными зависимостями, полученными проф. Г.А. Федотовым в результате анализа и обобщения материалов математического компьютерного моделирования.

Смыв грунта в русле выше моста (при известном расчетном общем размыве под мостом) может быть определен по формуле

$$\Delta h_{рк} = \Delta h_{рм}\left(1-\frac{l_в}{l_{сж}}\right)^{3/2},$$

где $\Delta h_{рк}$ — средний смыв грунта в русле на расстоянии $l_в$ выше входного сечения верховых струенаправляющих дамб; $\Delta h_{рм} = (h_{рм} - h_{рб})$ — расчетный смыв грунта в русле под мостом, определенный без влияния срезки (поскольку последняя изменяет величину общего размыва лишь в пределах искусственного уширения русла); $l_{сж} = \dfrac{B_0 - L_м}{1+\dfrac{l_{мп}}{l_{бп}}}$ — длина зоны сжатия потока перед мостом.

Если ось перехода коммуникации размещается в пределах искусственного уширения русла (срезки), то величина смыва грунта определяется с учетом фактической ширины русла в створе перехода коммуникации:

$$\Delta h_{ркс} = (\Delta h_{рк} + h_{рб})\left(\frac{B_{рб}}{B_{ркс}}\right)^{2/3} - h_{рб}, \qquad (30.12)$$

где $\Delta h_{ркс}$ — средний смыв грунта в русле по оси перехода коммуникации с учетом срезки в этом створе; $B_{ркс}$ — ширина русла с учетом срезки в створе коммуникации.

Согласно результатам компьютерного математического моделирования влияние мостового перехода в нижнем бьефе практически ощущается на расстоянии порядка трех длин растекания потока за мостом. Смыв грунта в русле ниже моста при известном расчетном общем размыве под мостом можно определять по зависимости:

$$\Delta h_{рк} = \Delta h_{рм}\left(1-\frac{l_н}{3l_р}\right)^{6},$$

где $\Delta h_{рк}$ — средний смыв в русле реки в створе коммуникации, расположенной на расстоянии $l_н$ от конца низовых струенаправляющих дамб; $\Delta h_{рм}$ — средний смыв грунта в русле под мостом после расчетного общего размыва без учета влияния искусственного уширения подмостового русла (срезки); $l_р \approx 2l_{сж}$ — длина зоны растекания потока за мостом.

Если переход коммуникации в нижнем бьефе расположен в пределах искусственного уширения русла, то величина смыва грунта определяется, так же как и для верхнего бьефа, по формуле (30.12).

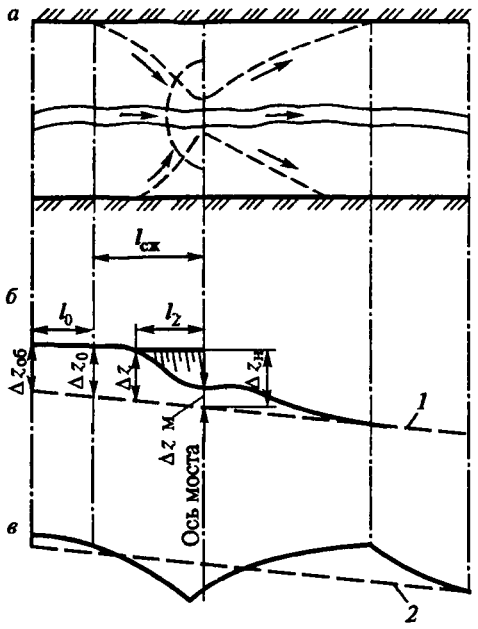
На участке русла в пределах зоны, охватываемой струенаправляющими дамбами, с достаточной для практики точностью можно принимать $\Delta h_{рк} = \Delta h_{рм}$.

30.5. Расчет характерных подпоров на мостовых переходах

Стеснение паводкового потока подходами к мосту приводит к нарушению его бытового режима на значительном протяжении вверх и вниз от оси мостового перехода: к увеличению скоростей течения, деформациям русла и свободной поверхности потока. Эти явления, в сильной степени влияющие на стоимость перехода, подлежат обязательному учету при проектировании.

В настоящее время наиболее полно и точно деформации свободной поверхности потока рассчитывают по компьютерной программе «Рома» (см. гл. 29), основанной на совместном решении в конечных разностях дифференциальных уравнений неустановившегося течения жидкости и баланса наносов.

При проектировании мостовых переходов нередко возникает задача в быстрой (особенно на ранних стадиях проектирования) оценке вероятных величин деформаций свободной поверхности потока и определения характерных подпоров (рис. 30.10): *начального* Δz_0 в начальном створе зоны сжатия потока перед мостом (для последующего построения свободной поверхности потока вверх и вниз по реке); *общего* $\Delta z_{об}$ (для расчета групповых отверстий); *полного* Δz в створе с максимумом подпора (для последующего расчета подпора у насыпи); *подмостового* $\Delta z_м$ в створе самого моста (для расчета минимальных геодезических высот (отметок) низа конструкций моста, бровок струенаправляющих дамб, геодезических высот верха укреплений откосов струенаправляющих дамб и т.д.); *подпора у насыпи* $\Delta z_н$ (для расчета минимальных геодезических высот бровок земляного полотна на



Р и с. 30.10. Схема к определению характерных подпоров на мостовых переходах:

а — план мостового перехода; *б* — кривая свободной поверхности на мостовом переходе; *в* — профиль размытого на пике расчетного паводка; *1* — бытовая свободная поверхность потока; *2* — бытовое дно

подходах, геодезических высот верха укреплений откосов пойменных насыпей).

На основе анализа и обобщения материалов компьютерного математического моделирования с использованием программы «Гидрам-3» проф. Г.А. Федотовым разработана полная методика упрощенного расчета всех характерных подпоров на мостовых переходах. В основу методики положены известные теоретические зависимости проф. О.В. Андреева, но с обязательным введением коррективов потерь энергии, физическая природа которых заключается в учете нелинейности потерь энергии по длине потока и русловых деформаций.

Начальный подпор:

$$\Delta z_0 = \frac{3}{2} l_{сж} I_б \left(K \frac{\beta^2}{\varepsilon^{10/3}} - 1 \right) (1+\chi), \qquad (30.13)$$

где $l_{сж}$ — длина зоны сжатия потока перед мостом, определяемая по формулам (30.7)—(30.8); $I_б$ — бытовой уклон свободной поверхности потока, равный уклону долины; β — степень стеснения потока, определяемая по формуле (30.5); $\varepsilon = \dfrac{h_б + \Delta z_0}{h_б}$ — относительный подпор;

$h_б$ — средняя бытовая глубина всего паводкового потока; $\chi = \frac{l_{вд}}{l_{сж}}$ — относительная длина верховых струенаправляющих дамб; K — корректив начального подпора.

Корректив начального подпора определяют по формулам:

$$K = \frac{1{,}1}{\sqrt{\beta\, P_\omega^{(\beta-1)}}} \text{ при } P_\omega \le 1{,}2;$$

$$K = \frac{1{,}3}{\sqrt{\beta\, P_\omega^{1{,}2}}} \text{ при } P_\omega > 1{,}2,$$

где P_ω — коэффициент размыва под мостом по площади на пике первого расчетного паводка (т.е. отношение площади живого сечения под мостом после размыва к площади до размыва). Определяется по формуле верхнего предела размыва (30.10) для ветви подъема расчетного паводка.

Уравнение (30.13) представлено в неявном виде, поскольку искомое значение подпора входит как в правую, так и в левую части уравнения. В связи с этим уравнение (30.13) решают подбором.

Подмостовой подпор:

$$\Delta z_м = \frac{1}{2} l_{сж} I_б \left(K_м \frac{\beta^2}{\varepsilon_м^{10/3}} - 1 \right) (2+\chi) - \frac{\alpha_м v_м^2 - \alpha_б v_б^2}{2g}, \qquad (30.14)$$

где $\varepsilon_м = \frac{h_м + \Delta z_м}{h_м}$ — относительный подмостовой подпор; $h_м$ — средняя глубина в подмостовом сечении до размыва; $K_м$ — корректив подмостового подпора; $v_б$, $v_м$ — бытовая средняя скорость всего речного потока и средняя скорость под мостом с учетом подмостового подпора и размыва; $\alpha_б$, $\alpha_м$ — коэффициенты Кориолиса (коррективы кинетической энергии потока) в бытовом и подмостовом сечениях.

Корректив подмостового подпора определяют по формулам:

$$K_м = \frac{P_\omega^2}{\sqrt[3]{\beta^2}} \text{ при } P_\omega \le 1{,}2;$$

$$K_м = \frac{1{,}5}{\sqrt[3]{\beta^2 P_\omega}} \text{ при } P_\omega > 1{,}2.$$

Коэффициенты Кориолиса:

$$\alpha_б = \frac{v_{рб}^3 \omega_{рб} + v_{пб}^3 \sum \omega_{пб}}{v_б^3 (\omega_{рб} + \sum \omega_{пб})} + 0{,}2;$$

$$\alpha_м = (\alpha_б - 1{,}2)\frac{L_м - B_{рб}}{B_0 - B_{рб}} + 1{,}2,$$

где $v_{рб}$ — русловая бытовая скорость течения; $\omega_{рб}$ — бытовая площадь живого сечения в русле; $v_{пб}$ — пойменная бытовая скорость течения; $\sum\omega_{пб}$ — площадь живого сечения пойм; $v_б$ — средняя скорость течения всего потока; $L_м$ — отверстие моста; B_0 — ширина разлива реки в паводки.

Уравнение (30.14), записанное в неявном виде, также решается подбором.

Полный подпор:

$$\Delta z = \Delta z_0 + 0{,}25\beta I_б \left(\frac{l_{сж} - l_z}{l_{сж}}\right)^{1.2} (l_{сж} - l_z),$$

где l_z — расстояние от моста до створа полного подпора (см. рис. 30.10):

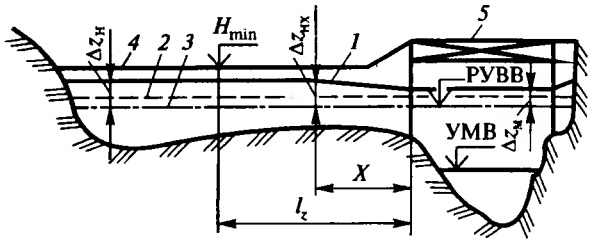
$$l_z = \frac{\left(\frac{\beta}{\varepsilon^{5/3}} - 1\right)}{\beta - 1} l_{сж}.$$

При малых значениях бытового уклона $I_б \le 0{,}0001$ значения начального и полного подпора практически совпадают и можно принимать $\Delta z = \Delta z_0$.

Подпор у насыпи:

$$\Delta z_н = \Delta z + I_б l_z. \qquad (30.15)$$

При проектировании мостовых переходов нередко возникает необходимость в построении кривой свободной поверхности со стороны верхового и низового откосов пойменной насыпи. Особенно часто это требуется на мостовых переходах с большой шириной разлива. В результате такого расчета представляется возможным проектировать продольный профиль подходов к мосту, а также отметки верха укреплений откосов насыпей, следующие очертанию свободной поверхности от границы разлива к мосту. Схема к расчету кривых сво-



Р и с. 30.11. Схема поперечного профиля водной поверхности с верховой и низовой сторон пойменной насыпи:

1 — профиль с верховой стороны; *2* — профиль с низовой стороны; *3* — бытовая свободная поверхность; *4* — насыпь; *5* — мост

бодной поверхности со стороны верхового и низового откосов пойменных насыпей подходов представлена на рис. 30.11.

Профиль поверхности потока у верхового откоса насыпи может быть построен по зависимости проф. О.В. Андреева, полученной из уравнения неравномерного течения потока в предположении линейного нарастания скорости течения вдоль струи:

$$\Delta z_{нх} = (\Delta z_н - \Delta z_м)\left[1 - \left(\frac{l_z - x}{l_z}\right)^3\right] + \Delta z_м, \qquad (30.16)$$

где $z_{нх}$ — подпор у насыпи на расстоянии x от устоя моста при $x \le l_z$.

На участке насыпи, где $x > l_z$, свободная поверхность горизонтальна и подпор у насыпи постоянен:

$$z_{нх} = \Delta z_н. \qquad (30.17)$$

Поверхность потока у низового откоса насыпей подходов можно принять горизонтальной и равной подпору у низовых струенаправляющих дамб, практически равному подмостовому подпору:

$$\Delta z_{нх} = \Delta z_м. \qquad (30.18)$$

Кривую свободной поверхности с верховой стороны насыпей подходов, определяемую формулами (30.16) и (30.17), используют для проектирования продольного профиля подходов и верха капитального укрепления откосов. Свободную поверхность с низовой стороны насыпей подходов, определяемую равенством (30.18), используют при проектировании капитальных укреплений низовых откосов.

Общий подпор, необходимый для расчета групповых отверстий, оценки подтопления окружающей местности и т.д., определяют по формуле Л.А. Пустовой (см. рис. 30.10):

$$\Delta z_{об} = \Delta z_0 - I_б l_{об} \frac{\varepsilon_{ср}^{10/3} - 1}{\varepsilon_{ср}^{10/3}}, \qquad (30.19)$$

где $l_{об}$ — расстояние между створами начального и общего подпоров вверх по реке; $\varepsilon_{ср} = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{об}}{2}$ — средний относительный подпор.

Уравнение (30.19), решаемое подбором, дает возможность построения кривой свободной поверхности потока выше створа начала сжатия (см. рис. 30.10).

Глава 31

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОДХОДОВ И РЕГУЛЯЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДАХ

31.1. Условия работы пойменных насыпей подходов к мостам

Подходы к постоянным мостам, которые являются одной из основных и неотъемлемых частей мостовых переходов, устраивают обычно в виде непереливаемых земляных насыпей на поймах, а для блуждающих беспойменных рек — и в русле. Подходы к временным низководным мостам или к постоянным капитальным мостам на период строительства могут устраивать переливаемыми.

По экономическим соображениям при высоте насыпей подходов более 30 м, при слабых грунтах основания, а также при отсутствии вблизи перехода грунтов, пригодных для возведения земляных сооружений, вместо непереливаемых насыпей подходов устраивают пойменные эстакады.

Насыпи подходов к мостам на поймах по сравнению с насыпями такой же высоты на основных участках дорог работают в весьма неблагоприятных условиях. При периодическом подтоплении в паводки на пойменные насыпи воздействуют волнобой, ледоход, продольные течения с верховой стороны мостовых переходов, особенно опасные вблизи мостов. Пойменные насыпи подходов нередко имеют весьма значительную высоту и их приходится устраивать на слабых, дающих осадки основаниях (илистые, торфяные грунты и т.д.). Насыщение земляного полотна водой на подъеме паводка предопределяет резкое ухудшение условий работы пойменных насыпей (особенно высоких) на его спаде, когда в результате снижения физико-механических свойств грунтов, в частности, вследствие уменьшения сил

сцепления в водонасыщенной части насыпей и появления дополнительного гидродинамического давления, в значительной степени уменьшаются коэффициенты устойчивости откосов. В связи с этим наиболее частыми повреждениями пойменных насыпей являются: разрушение откосов насыпей и их укреплений волнобоем; повреждение ледоходом; размывы подошв насыпей продольными течениями; недопустимые осадки насыпей на слабых основаниях и обусловливаемое ими разрушение дорожных одежд; обрушение откосов высоких насыпей в связи с потерей их общей устойчивости.

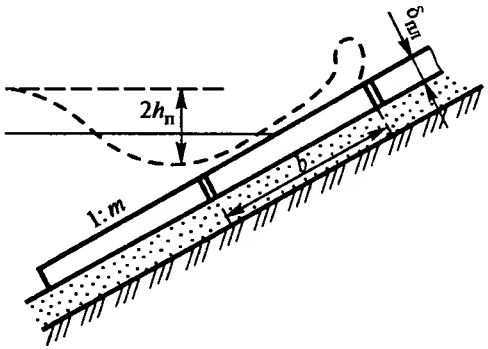
Насыпи подходов к мостам должны быть непереливаемы даже при проходе самых высоких паводков. В связи с этим бровки земляного полотна подходов поднимают выше уровня высокой воды расчетной вероятности превышения $РУВВ_{р\%}$ с учетом подпора у насыпи $\Delta z_н$, высоты набега ветровой волны на откос $h_{наб}$ и некоторого конструктивного запаса Δ.

Уровни воды у верховых и низовых откосов пойменных насыпей определяют в соответствии с формулами (30.15)—(30.17) (см. гл. 30).

В периоды затопления пойм в паводки возможен заход льдин из русла к насыпям подходов и, кроме того, могут появляться льдины, принесенные течением с пойменных озер и староречий. Плывущие льдины, ударяясь об откосы насыпей, могут приводить к повреждениям конструкций укрепления откосов и нарушению устойчивости самих откосов.

Во время прохода высоких паводков в долинах рек могут наблюдаться сильные ветры, вызывающие появление волн на водной поверхности. Явления половодий и интенсивного перемещения воздушных масс в долинах рек нельзя считать независимыми друг от друга, поэтому прохождение высоких паводков на реках почти всегда сопровождают сильные ветры. Чаще всего неприятные последствия воздействий ледохода и волнобоя имеют место у верховых откосов насыпей подходов, где ледоход и волны распространяются вниз по течению. Существенно меньшую высоту волн и практическое отсутствие воздействия ледохода наблюдают у низовых откосов насыпей.

В связи с развитием гидротехнического строительства на реках появилось много мостовых переходов, работающих в условиях подпора от водохранилищ. Насыпи подходов таких мостовых переходов в отличие от переходов через свободные реки уже работают в условиях постоянного подтопления, поэтому опасные ледовые и волновые воздействия могут иметь место и у верховых, и у низовых откосов. Так, например, на мостовом переходе через р. Дон у г. Чира, который работает в подпоре от Цимлянской ГЭС, опасным ледовым и волно-



Р и с. 31.1. Схема набега волны на откос

вым воздействиям подвержены исключительно низовые откосы подходов.

Волны, набегающие на откос насыпи, могут взбегать по нему на высоту существенно большую, чем сама высота волны (рис. 31.1).

Поскольку при откате воды с большими скоростями волна может вызывать размывы, нельзя допускать ее попадания на обочины земляного полотна, поэтому при проектировании подходов к мостам необходимо уметь рассчитывать как высоту волны ($2h_в$), так и высоту ее набега на откос $h_{наб}$.

Возможная высота волны ($2h_в$) и ее длина ($\lambda_в$) зависят от расчетной скорости ветра W (м/с) и длины разбега волны L (км). Высоты волн на мостовых переходах определяют в соответствии со СНиП 2.06.04—82 или в первом приближении по формуле В.Г. Андриянова:

$$(2h_в) = 0{,}02\, W^{5/4} L^{1/3}. \qquad (31.1)$$

Возникающие на глубине волны при выходе их на относительно мелкие пойменные участки могут разрушаться, поскольку максимальная длина волн ограничена двойной глубиной на пойме. Тогда, учитывая, что в среднем соотношение высоты волны ($2h_в$) к ее длине $\lambda_в$ составляет 1:10, можно записать соотношение для определения максимально возможной высоты волны, которая может возникнуть на пойме со средней глубиной $h_п$:

$$(2h_в) = 0{,}2h_п. \qquad (31.2)$$

Выражение (31.2) применяют при отсутствии исходных данных по скоростям и направлениям ветров, а при наличии последних для более точного определения высоты волны используют СНиП 2.06.04—82 или формулу (31.1).

Волна, набегая на откос насыпи (см. рис. 31.1), поднимается по нему на высоту (считая от спокойного уровня) $h_{наб}$, определяемую по формуле

$$h_{наб} = \frac{4{,}3(2h_н)K_ш}{m}, \qquad (31.3)$$

где $K_ш$ — коэффициент, характеризующий шероховатость откоса и принимаемый равным $K_ш = 1$ — для бетонных и асфальтобетонных укреплений откосов; $K_ш = 0{,}9$ — для сборных бетонных плит; $K_ш = 0{,}8$ — для дерновки и мощения; $K_ш = 0{,}60$ — для каменной наброски; m — коэффициент заложения откоса насыпи, принимаемый для подтопляемых откосов $m \geq 2$.

Защита откосов земляного полотна от волновых воздействий — одна из наиболее важных деталей проектов мостовых. Случаи разрушения укрепленных откосов пойменных насыпей на мостовых переходах все еще нередки (например, мостовые переходы через р. Оку у Каширы и Серпухова в паводок 1970 г.). Это можно объяснить прежде всего тем, что в действующих типовых проектах по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог уделено внимание конструкциям укреплений откосов, но не рассматривается качество грунтов их основания, т.е. качество грунтов насыпей, на откосы которых укладывают защитные конструкции.

В практике проектирования подходов к мостам наибольшее распространение получили плоские капитальные укрепления из сборных железобетонных плит или из монолитного бетона. Подобные укрепления, с одной стороны, являются универсальными (защищают откосы пойменных насыпей от волнобоя, ледовых воздействий и продольных течений одновременно) и, с другой, обеспечивают высокую степень индустриализации и механизации строительных работ. Плитную конструкцию укладывают на подготовку из гравия или щебня, играющего роль фильтра, одно из основных назначений которого состоит в снятии гидростатического давления в теле насыпи, возникающего при откате волн.

Для предотвращения заполнения пор фильтра мелкими частицами грунта насыпи защитную конструкцию нередко укладывают по слою нетканного синтетического материала — геотекстиля, обладающего высоким коэффициентом фильтрации, но не пропускающим мелкие частицы грунтов насыпей.

Откосы пойменных насыпей при волнобое испытывают значительное давление, сменяющееся разрежением при откате волн. Удары волн оказывают силовое воздействие на плоское капитальное укрепление, передающееся затем через фильтр на водонасыщенный

грунт откоса, с ускорениями тем большими, чем меньше толщина плиты и фильтра и чем круче откос пойменной насыпи. Под действием периодически повторяющихся ударов волн водонасыщенный грунт откосов может прийти в плывунное состояние и полностью потерять несущую способность. При этом фильтр укрепления начинает проседать, поры его заполняются плывунным грунтом. Через образовавшиеся в результате этого щели в плитной конструкции волны быстро вымывают грунт насыпи и материал фильтра, что приводит к полному разрушению защитной конструкции и откоса пойменной насыпи. С этой точки зрения наиболее опасными являются мелкозернистые и пылеватые пески и супеси. Поэтому правильный подбор грунта в тело пойменной насыпи является одним из самых радикальных способов борьбы с волнобоем. Применение геотекстиля, укладываемого по поверхности грунтового откоса и препятствующего проседанию фильтра в плывунный грунт, существенно повышает устойчивость укрепленных откосов волнобою.

Фундаментальные экспериментальные и теоретические исследования работы укрепленных откосов насыпей были выполнены И.А. Ярославцевым. Эти исследования впервые показали, что долговечность и целостность плитных конструкций и защищаемых ими откосов пойменных насыпей связаны прежде всего с устойчивостью грунтового основания плиты.

Как показали эксперименты, подвижки грунта под плитными конструкциями в момент удара волны происходят по нескольким заглубленным поверхностям, параллельным поверхности откоса. Анализ характера грунтовых подвижек дал основание рассматривать предельную устойчивость грунта под волновой нагрузкой по схеме выпора грунта. И.А. Ярославцевым было обнаружено также, что в момент приложения ударного волнового импульса давление воды сверху на плиту уменьшается по сравнению с гидростатическим. Образовавшийся дефицит давления вызывает прогиб плиты вверх и сопровождается подтоком в появившееся под плитой пространство воды из пор грунта. Образующиеся при этом фильтрационные силы разгружают грунтовую массу, резко снижая ее несущую способность. Максимальный дефицит давления приходится как раз на момент приложения динамической нагрузки удара волны, которая, воздействуя на ограниченную по откосу область, вызывает появление в грунтовом основании мощных фильтрационных токов, направленных сверху вниз по откосу, которые во многом способствуют нарушению его устойчивости.

Детальный расчет местной устойчивости откоса пойменной насыпи, укрепленной плитной конструкцией, разработанный И.А.

Ярославцевым, является довольно сложным и практическая его полная реализация возможна лишь с использованием компьютерной техники, однако на основе обобщения материалов компьютерного математического моделирования И.А. Ярославцеву удалось получить сравнительно простую зависимость для определения минимальной толщины плиты $\delta_{пл}$ (в см), при которой грунтовое основание откоса остается устойчивым при ветровом волнении заданных параметров:

$$\delta_{пл} = [a(2h_в) + b\lambda_в]K_щ, \qquad (31.4)$$

где $2h_в$ — высота волны, м; $\lambda_в$ — длина волны, м; $a = C_4 - C_5 b$ и $b = C_1 + [C_2 - C_3(2h_в)](2h_в)$ — коэффициенты, определяемые в зависимости от вида грунта и крутизны откоса m по табл. 31.1;

Таблица 31.1. **Коэффициенты $C_1 - C_6$**

m	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
2,0	0,62(0,39)	0,39(0,22)	0,06(0,03)	10,82(10,75)	9,01(11,19)	0,84
2,5	0,42(0,37)	0,20(0,13)	0,03(0,02)	11,24(11,48)	12,87(16,12)	0,88
3,0	0,37(0,34)	0,12(0,12)	0,02(0,02)	11,65(11,53)	16,84(18,95)	0,91
3,5	0,37(0,35)	0,11(0,09)	0,02(0,01)	12,04(11,87)	20,04(21,69)	0,94
4,0	0,37(0,36)	0,08(0,08)	0,01(0,01)	12,80(12,59)	27,74(25,16)	0,95

Примечание. Приведены значения коэффициентов для пылеватых и мелкозернистых, в скобках — для средне- и крупнозернистых песков.

$K_щ$ — коэффициент, учитывающий влияние гравийной или щебеночной подготовки (фильтра), определяют:

при отсутствии подготовки ($\delta_щ = 0$)

$$K_щ = 0{,}95 + 0{,}75\sqrt{(2h_d)};$$

при $\delta_щ = 0{,}10$ м

$$K_щ = 1;$$

при $\delta_щ = 0{,}2$ м

$$K_щ = \frac{1}{(2h_в) + 2{,}85} - 0{,}015\frac{\lambda_в}{(2h_в)} + C_6.$$

Формула И.А. Ярославцева (31.4) справедлива для песчаных грунтов при следующих условиях: $0{,}5 \text{ м} \le (2h_в) \le 4{,}0$ м; $7 \text{ м} \le \lambda_в \le 18$ м; $2 \le m \le 4$; $\delta_щ \le 0{,}2$ м; длина ребра плиты $B_{пл} \le 12\,\delta_{пл}$. В последние годы стал получать распространение метод борьбы с волнобоем посредст-

вом устройства пологих пляжных откосов крутизной от 1:20 до 1:30. Принцип работы пляжных откосов состоит в том, что волны, набегающие по пологому откосу, разрушаются на мелководье. Однако пляжные откосы подвержены размывам продольными течениями, которые всегда имеют место с верховой стороны насыпей мостовых переходов. Поэтому применять пляжные откосы можно только в исключительных случаях и только с низовой стороны насыпи, устраивая с верховой стороны обычный откос с капитальным плоским укреплением.

31.2. Проектирование подходов к мостам

Продольный профиль к мосту обычно может быть разделен на три характерных участка (см. рис. 26.3): участок *I* спуска с коренного берега речной долины на пойму; пойменный участок *II* насыпи с минимальными высотами, обеспечивающими сохранность насыпи от переливов даже в самые высокие паводки; участок *III* сопряжения пойменной насыпи с проездом по мосту, который, как правило, значительно возвышается над уровнем воды в реке, особенно на судоходных реках.

Спуск *I* с коренного берега речной долины на пойму проектируют в виде обычной выемки, грунт из которой обычно используют для отсыпки насыпей подходов. Этот участок трассы подходов нередко проектируют с предельными продольными уклонами, сопрягая с пойменной насыпью вогнутыми вертикальными кривыми.

Пойменный участок *II* с минимальными высотами проектируют, как правило, в виде горизонтальной насыпи с высотами, при которых не происходит переливов воды в высокие паводки. На реках с широким разливом пойменным насыпям нередко придают небольшой продольный уклон в сторону моста в соответствии с очертанием свободной поверхности с верховой стороны насыпи (см. рис. 30.11), которая может быть построена по формуле (30.16). Для отсыпки пойменных насыпей используют грунт из выемок или привозной грунт из сосредоточенных резервов или карьеров. Очень часто пойменные насыпи возводят средствами гидромеханизации. Не следует устраивать карьеры в руслах рек с верховой стороны мостов либо иных ответственных гидротехнических сооружений, переходов коммуникаций и т.д. Нельзя отсыпать подходы из притрассовых пойменных резервов и совершенно недопустимо устраивать резервы грунта на поймах с верховой стороны насыпей подходов.

Минимальную высоту насыпей подходов определяют:

$$H_{\min} = \text{РУВВ}_{p\%} + \Delta z_{н} + h_{наб} + \Delta,$$

где $\text{РУВВ}_{p\%}$ — расчетный уровень высокой воды в створе мостового перехода с ВП = $p\%$; $\Delta z_{н}$ — подпор у насыпи, определяемый либо непосредственным компьютерным расчетом по программе «Рома», либо упрощенно по формуле (30.15); $h_{наб}$ — высота набега волны на откос, определяемая по формуле (31.3); $\Delta = 0{,}5$ м — конструктивный запас.

На участке *III* сопряжение пойменной насыпи с проездом на мосту осуществляют вогнуто-выпуклыми вертикальными кривыми. Минимальные высоты проезда на мостах определяют:

на судоходных реках

$$H_{\min} = \text{РСУ} + \Gamma_{с} + h_{кон};$$

на несудоходных реках

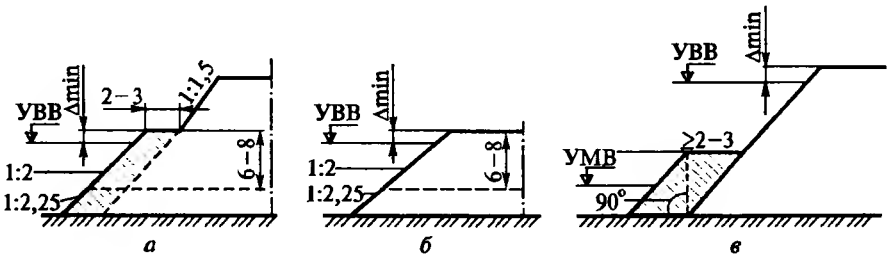
$$H_{\min} = \text{РУВВ}_{p\%} + \Delta z_{м} + h_{в} + \Gamma_{н} + h_{кон},$$

где РСУ — расчетный судоходный уровень, определяемый согласно ГОСТ 26775—97; $\Gamma_{с}$ — подмостовой габарит, нормируемый в зависимости от класса реки по судоходству согласно ГОСТ 26775—97; $\text{РУВВ}_{p\%}$ — расчетный уровень высокой воды в створе мостового перехода; $\Delta z_{м}$ — подмостовой подпор, определяемый компьютерным расчетом по программе «Рома» или упрощенно по формуле (30.14); $h_{в}$ — высота волны, вычисляемая из формулы (31.1); $\Gamma_{н} = 0{,}5 \div 1{,}0$ м — подмостовой габарит на несудоходных реках, определяемый согласно СНиП 2.05.03—84; $h_{кон}$ — высота конструкции пролетного строения, включая толщину плиты проезжей части.

С целью обеспечения водоотвода с проезжей части, выхода на коренной берег речной долины с минимальными объемами земляных работ, а также для уменьшения высоты моста на несудоходной части отверстия и высоты насыпей подходов продольный профиль автодорожных мостов обычно проектируют на вертикальных выпуклых кривых или на продольном уклоне, не превышающем 30‰.

Ширину насыпей на подходах назначают с учетом категории дороги, а крутизну откосов — в зависимости от грунтов насыпи, ее высоты и ожидаемых условий работы, при этом откосы, периодически подтопляемые водой, проектируют с заложением не круче 1:2.

Неподтопляемый и подтопляемый откосы сопрягают бермой шириной не менее 3 м, устраиваемой на отметках низкой пойменной насыпи (рис. 31.2, *а*), с целью повышения устойчивости откосов и обеспечения проезда автотранспорта на струенаправляющие дамбы для



Р и с. 31.2. Характерные поперечные профили насыпей подходов

обеспечения строительными материалами при производстве ремонтно-восстановительных работ.

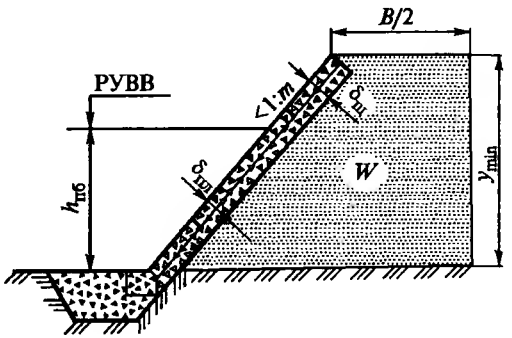
Подтопляемые насыпи проектируют с крутизной откосов не более 1:2 с уположением на 0,25 на каждые последующие 6 м высоты (рис. 31.2, *б*).

При пересечении староречий устраивают бермы (обычно из камня) на уровне берегов староречий (рис. 31.2, *в*). Берма шириной не менее 3 м обеспечивает плавное протекание воды вдоль откоса, а также обеспечивает устойчивость насыпи.

31.3. Проектирование оптимальных пойменных насыпей

Экспериментальные исследования, а также результаты компьютерного математического моделирования, выполненные И.А. Ярославцевым, показали, что коэффициент местной устойчивости возрастает при замене грунта насыпи на более крупный, возрастает с увеличением толщины плиты $\delta_{пл}$, толщины подготовки $\delta_{щ}$ и с уположением откоса (увеличением коэффициента заложения m).

Таким образом, местная устойчивость откоса при заданном типе грунта насыпи может быть обеспечена увеличением толщины плиты, увеличением толщины щебеночной подготовки и уположением откоса. Каждое из этих мероприятий в разной степени влияет на изменение объемов работ и, следовательно, стоимости строительства подходов. Учитывая это обстоятельство, а также то, что подходы к мостам являются чрезвычайно капиталоемкими сооружениями, целесообразно отыскивать при проектировании пойменных насыпей мостовых переходов такие решения, при которых была бы обеспечена местная устойчивость откосов при волнобое, с одной стороны, и минимальная стоимость строительства, с другой. Таким образом, проектирование подходов к мостам представляет собой классическую задачу



Р и с. 31.3. Схема к обоснованию целевой функции при проектировании оптимальных пойменных насыпей

оптимизации при наличии определенного комплекса технических ограничений.

Учитывая, что параметры расчетного волнения с верховой и низовой сторон насыпи в общем случае бывают различными, оптимизировать верховую и низовую части поперечного профиля нужно отдельно. В качестве функции цели целесообразно принимать строительную стоимость 1 пог. м пойменной насыпи C. При этом для верховой или низовой части поперечного профиля целевая функция будет иметь вид (рис. 31.3):

$$C = WC_{гр} + y_{min}\sqrt{1+m^2}\,\delta_{щ}C_{щ} + y_{min}\sqrt{1+m^2}\,\delta_{пл}C_{пл} + \left(\frac{B}{2} + y_{min}\right)C_{оз} \Rightarrow \min, \quad (31.5)$$

где W — площадь верховой или низовой части поперечного профиля пойменной насыпи, м^3/м; $C_{гр}$ — стоимость разработки 1 м^3 грунта насыпи, руб/м^3/м; $y_{min} = h_{пб} + \Delta z_н + h_{наб} + 0{,}5$ м — рабочая отметка пойменной насыпи, м; $h_{пб}$ — бытовая глубина на пойме, м; $\Delta z_н$ — подпор у насыпи, м; $h_{наб}$ — высота набега расчетной волны на откос, м; m — коэффициент заложения откоса; $\delta_{щ}$ — толщина подготовки под плитой, м; $C_{щ}$ — стоимость 1 м^2 подготовки, отнесенная к единице толщины, руб/м^3/м; $\delta_{пл}$ — толщина плиты, м; $C_{пл}$ — стоимость 1 м^2 плиты, отнесенная к единице толщины, руб/м^3/м; B — ширина земляного полотна, м; $C_{оз}$ — стоимость отвода 1 м^2 земли, руб/м^2.

Экстремум (минимум) целевой функции (31.5) отыскивается в рамках следующих технических ограничений:

ограничение по условию обеспечения местной устойчивости откоса пойменной насыпи и плитной конструкции при заданных параметрах волнения ($K \geq K_{min}$);

ограничение наибольшей крутизны откоса ($m \geq 2$);

ограничение наименьшей толщины подготовки (фильтра) по технологическим условиям ($\delta_{ш} \geq 0{,}10$ м);

ограничение наименьшей толщины плиты по условиям транспортирования ($\delta_{пл} \geq 0{,}12$ м).

Для практического решения сформулированной оптимизационной задачи реализован метод покоординатного спуска. Последовательность поиска оптимальной конструкции пойменной насыпи сводится к следующему:

вычисляют минимальную толщину плиты $\delta_{пл}$ по формуле (31.4) при минимально допустимом коэффициенте местной устойчивости и минимально допустимых значениях $\delta_{ш} = 0{,}10$ м и $m = 2{,}0$. Если в результате расчета получена толщина $\delta_{пл} \leq 0{,}12$ м, то, приняв $\delta_{пл} = 0{,}12$ м, получим оптимальное решение, поскольку при заданных технических ограничениях коэффициент устойчивости больше минимально необходимого, что соответствует минимуму строительной стоимости;

если полученная в результате расчета толщина плиты $\delta_{пл} > 0{,}12$ м, то увеличивают коэффициент заложения откоса, начиная с $m = 2{,}0$ с шагом $\Delta m_i = 0{,}25$

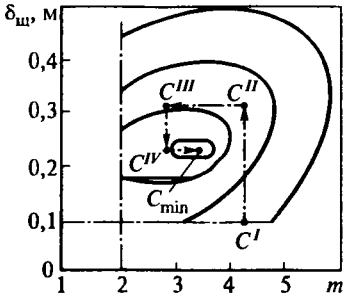
$$m = m + \sum_{i=1}^{n} \Delta m_i,$$

где n — число шагов перебора коэффициента заложения, и для каждого значения m при неизменной толщине подготовки с использованием формулы (31.4) вычисляют минимальную толщину плиты $\delta_{пл}$, при которой обеспечена местная устойчивость откоса при заданных параметрах волнения; для каждого значения m вычисляют целевую функцию (стоимость) по формуле (31.5). Вычисления прекращают как только строительная стоимость C, уменьшающаяся в ходе уположения откоса, вновь начинает возрастать. При этом учитывают снижение высоты насыпи y_{min}, связанное с уменьшением высоты набега волны на откос $h_{наб}$ в результате его уположения. Минимальную стоимость погонного метра пойменной насыпи C^{J}_{min} запоминают; при найденном значении m увеличивают толщину гравийной или щебеночной подготовки, начиная с $\delta_{ш} = 0{,}10$ м с шагом $\Delta\delta_{ш} = 0{,}01$ м:

$$\delta_{ш} = \delta_{ш} + \sum_{j=1}^{k} \Delta\delta_{ш},$$

где k — число шагов перебора толщины фильтра; и для каждого значения толщины $\delta_{ш}$ вычисляют минимальную толщину плиты, при ко-

торой обеспечена местная устойчивость откоса; для каждого значения толщины $\delta_{щ}$ вычисляют значение целевой функции (31.5). Вычисления прекращают как только строительная стоимость C, уменьшающаяся в ходе увеличения толщины подготовки, вновь начинает возрастать. Минимальную стоимость C^{II}_{min} при соответствующей толщине подготовки $\delta_{щ}$ запоминают; далее вновь меняют крутизну откоса с шагом Δm_i до получения минимального значения стоимости C^{III}_{min}. При этом величины Δm_i вводят со знаком (+) при уположении откоса и со знаком (−) при увеличении его крутизны; затем вновь меняют толщину фильтра с шагом $\Delta\delta_{щ}$ до получения минимального значения строительной стоимости C^{IV}_{min}. При этом величины $\Delta\delta_{щ}$ вводят со знаком (+) при увеличении толщины подготовки и со знаком (−) при ее уменьшении до тех пор, пока любое изменение крутизны откоса или толщины подготовки уже будет приводить только к увеличению значения целевой функции (31.5). Найденное таким образом решение при $C = C_{min}$ является оптимальным.



Р и с. 31.4. Стратегия поиска оптимальной конструкции пойменной насыпи

Стратегия поиска конструкции насыпи, характеризуемой устойчивыми к волновым воздействиям откосами, с одной стороны, и минимальной строительной стоимостью, с другой, представлена на рис. 31.4.

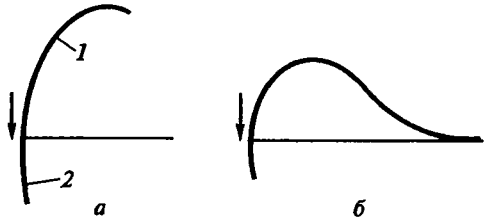
31.4. Задачи и принципы регулирования рек у мостовых переходов

Русловые деформации, развивающиеся на мостовых переходах, могут приводить к повреждению основных сооружений транспортного назначения (моста и подходов). Чтобы русловые деформации были безопасными для мостового перехода, в комплекс его сооружений включают и систему регуляционных сооружений, конструкция которых, а также форма и размеры в плане определяются конкретными задачами регулирования.

На мостовых переходах принято различать следующие виды регуляционных сооружений:

криволинейные струенаправляющие дамбы;

прямолинейные струенаправляющие дамбы;



Р и с. 31.5. Схемы криволинейных пойменных струенаправляющих дамб:

а — шпоровидной; *б* — грушевидной; *1* — верховой; *2* — низовой

капитальные валы, стесняющие русловую зону блуждающих рек;
поперечные струеотбойные траверсы;
укрепления берегов русел рек;
срезки подмостовых русел;
спрямления русел рек.

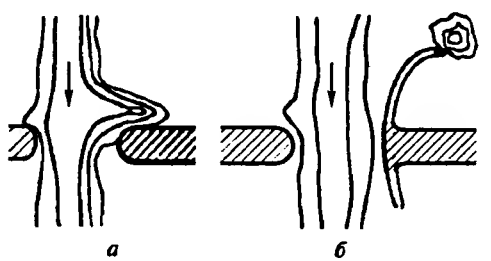
Пойменные криволинейные струенаправляющие дамбы могут быть шпоровидной (рис. 31.5, *а*) или грушевидной (рис. 31.5, *б*) формы.

Наиболее экономичны по строительной стоимости, как правило, шпоровидные дамбы. Грушевидные дамбы обычно устраивают при косом пересечении водотока, когда ожидаются значительные скорости течения вдоль насыпи по направлению к мосту.

Криволинейные струенаправляющие дамбы предназначены для плавного подвода пойменных потоков к мостовому отверстию, для обеспечения равномерного распределения расхода по ширине подмостового сечения, а также для ликвидации опасных размывов у конусов насыпей (рис. 31.6, *а*).

Строительство струенаправляющих дамб не исключает появление размывов (рис. 31.6, *б*), но предопределяет их появление на некотором удалении от конусов и береговых устоев мостов. Повреждения голов струенаправляющих дамб, связанные с неизбежно развивающимися местными размывами у их голов, устраняют в межпаводковый период без перерывов движения транспортных потоков на мостовом переходе.

Проектные высоты бровок криволинейных струенаправляющих дамб назначают такими, при которых не будет переливов в период прохождения самых высоких паводков. Размеры в плане струена-



Р и с. 31.6. Схемы размыва конусов насыпей подходов:

а — без струенаправляющей дамбы; *б* — при наличии струенаправляющей дамбы

правляющих дамб определяют из условия недопущения отрыва струй при их обтекании сливающимися с пойм потоками. Минимальную проектную высоту струенаправляющей дамбы определяют:

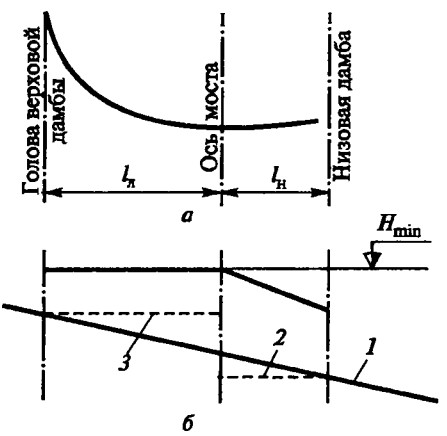
$$H_{min} = \text{РУВВ}_{p\%} + \Delta z_м + h_{наб} + \Delta,$$

где $\text{РУВВ}_{p\%}$ — расчетный уровень высокой воды; $\Delta z_м$ — подмостовой подпор, определяемый наиболее точно детальным компьютерным расчетом по программе «Рома» или по упрощенной формуле (30.14); $h_{наб}$ — высота набега волны на откос, вычисляемая по формуле (31.3); $\Delta = 0{,}25$ м — конструктивный запас для вспомогательных сооружений нетранспортного назначения.

На мостовых переходах через реки с большими продольными уклонами верховые и низовые струенаправляющие дамбы нередко устраивают на разных проектных высотах. При этом продольный профиль земляного полотна струенаправляющих дамб проектируют в соответствии с фактическим очертанием свободной поверхности потока с речной и пойменной сторон струенаправляющей дамбы (рис. 31.7).

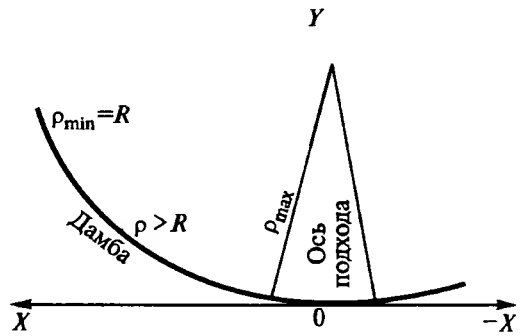
Криволинейные струенаправляющие дамбы располагают в плане по кривым переменного радиуса, с изменением последнего от некоторой минимальной величины у головы дамбы до наибольшего значения по оси моста, сообразно росту скоростей течения вдоль ее откоса. Кривизна дамбы не должна превышать тех величин, при которых уже не будет обеспечено ее безотрывное обтекание.

Методика расчета очертаний криволинейных струенаправляющих дамб в плане и их генеральных размеров разработана проф. О.В. Андреевым в 1936—1939 гг. Система параметрических уравне-



Р и с. 31.7. Схема струенаправляющей дамбы:

а — план; *б* — продольный профиль; *1* — свободная поверхность потока со стороны речного откоса дамбы; *2* — свободная поверхность пойменного потока за низовой дамбой; *3* — то же, за верховой



Р и с. 31.8. Схема примыкания криволинейной струенаправляющей дамбы к мосту

ний криволинейной верховой струенаправляющей дамбы при размещении начала координат в ее голове имеет вид:

$$X = -R \ln \sin \alpha; \quad Y = R(0{,}5\pi - \alpha); \quad S = -R \ln \operatorname{tg} 0{,}5\alpha,$$

где R — радиус в голове дамбы; X, Y — текущие координаты; S — длина по оси сооружения от головы к мосту до соответствующей точки; α — угол наклона касательной к оси абсцисс.

Для удобства разбивки начало координат переносят в точку примыкания дамбы к мосту, а длину криволинейной части дамбы переменной кривизны ограничивают условием $\alpha_{min} = 5^{\circ}$. Примыкание дамбы к мосту осуществляют по круговой кривой (рис. 31.8).

Для предохранения берегового устоя моста от подмыва кроме верховых устраивают также еще и низовые прямолинейные струенаправляющие дамбы, расходящиеся в виде раструба под углом 5—6° к оси потока. Примыкание низовой дамбы осуществляют, так же как и верховой, по круговой кривой. Длину низовой струенаправляющей дамбы обычно назначают не менее половины длины верховой.

Размеры в плане криволинейных струенаправляющих дамб принимают тем большими, чем больше размеры водотока и чем больше стеснен паводковый поток подходами к мосту. Определять точные генеральные размеры криволинейных струенаправляющих дамб нет необходимости, так как их обычно корректируют, сообразуясь с конкретными ситуационными особенностями местности в месте мостового перехода. Голову криволинейных струенаправляющих дамб, у которых развиваются наибольшие местные размывы, размещают по возможности на возвышенных местах пойм.

Координаты струенаправляющих дамб определяют по табл. 31.2 умножением соответствующих табличных значений на величину радиуса $R = l_в : 3$.

Таблица 31.2. **Координаты криволинейных струенаправляющих дамб**

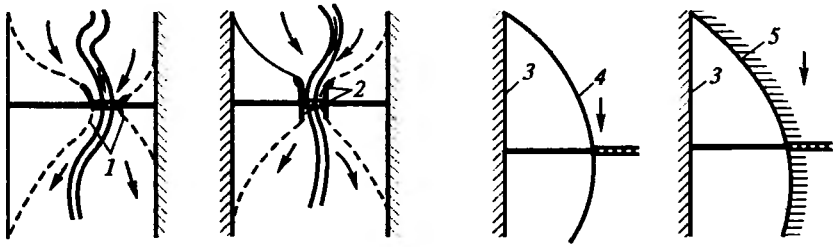
№ точки	$\frac{S}{R}$	$\frac{X}{R}$	$\frac{Y}{R}$	№ точки	$\frac{S}{R}$	$\frac{X}{R}$	$\frac{Y}{R}$
	Верховая дамба				Низовая дамба		
1	0,0	2,321	1,435	17	3,2	−0,192	0,005
2	0,2	2,300	1,237	18	3,4	−0,393	0,020
3	0,4	2,243	1,035	19	3,6	−0,592	0,041
4	0,6	2,151	0,870	20	3,8	−0,791	0,062
5	0,8	2,027	0,710	21	4,0	−0,990	0,082
6	1,0	1,886	0,570	22	4,2	−1,189	0,103
7	1,2	1,732	0,453				
8	1,4	1,556	0,348				
9	1,6	1,375	0,254				
10	1,8	1,186	0,193				
11	2,0	1,000	0,134				
12	2,2	0,805	0,087				
13	2,4	0,610	0,050				
14	2,6	0,410	0,023				
15	2,8	0,210	0,006				
16	3,0	0	0				

Ориентировочную суммарную длину верховых струенаправляющих дамб (левобережной и правобережной) определяют в зависимости от степени стеснения потока β и размеров максимального уширенного русла под мостом $B_{рм}$ или, что то же самое, от минимальных размеров отверстия моста L_{min}, определяемых по формуле (30.3). Отношение $\frac{l_в}{L_{min}}$ определяют так:

β	1—1,2	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5
$\frac{l_в}{L_{min}}$	0	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75

На мостовых переходах с двумя поймами значение $l_в$ представляет собой суммарную длину левобережной и правобережной дамб, которую распределяют между соответствующими сооружениями пропорционально сливу пойменных вод с каждой из них (рис. 31.9, *а*).

Прямолинейные струенаправляющие дамбы предназначены для отжима пойменных потоков от береговых устоев мостов, для облегчения работы пойменных участков мостовых отверстий, а также для смещения опасных размывов вверх по течению. Прямолинейные струенаправляющие дамбы возводят достаточно длинными; они оп-



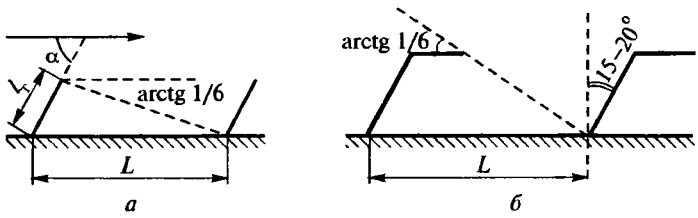
Р и с. 31.9. Виды регуляционных сооружений на реках:

а — равнинных; *б* — блуждающих; *1* — криволинейные струенаправляюшие дамбы; *2* — прямолинейные струенаправляющие дамбы; *3* — капитальный обтекаемый вал; *4* — вал с системой струеотбойных траверсов; *5* — граница русловой зоны

равдывают свое назначение при достаточном сливе пойменных вод из-за головы дамбы. Длину верховых прямолинейных струенаправляющих дамб принимают не менее половины ширины подмостового русла с учетом его искусственного уширения (срезки), а длину низовых дамб принимают равной половине длины верховых.

Регуляционные сооружения на блуждающих реках (рис. 31.9, *б*) представляют собой укрепленные *капитальные валы*, постепенно уменьшающие ширину блуждающего русла. В отличие от струенаправляющих дамб на равнинных реках (см. рис. 31.9, *а*) капитальные валы на блуждающих предназначены не только для плавного подвода воды к подмостовому сечению, но и руслоформирующих наносов. Поэтому длина фронта регулирования на блуждающих реках существенно больше, чем на равнинных, и достигает двух—четырех величин отверстия моста. Капитальные валы защищают от размыва соответствующими укреплениями откосов и подошв: гибкими покрытиями, опускающимися в яму размыва по мере ее развития, или системой хорошо укрепленных струеотбойных сооружений (см. рис. 31.9, *б*). Очертания в плане регуляционных валов принимают плавными с выпуклостью в сторону потока и малым углом схода валов непосредственно перед мостом. Иногда перед мостом сооружают коридор из параллельных валов длиной, примерно равной отверстию моста, для того, чтобы отодвинуть вверх от моста опасные для его опор размывы и замедлить темп их развития.

Для защиты регуляционных капитальных валов, а также берегов русел рек от размыва нередко сооружают *поперечные струеотбойные траверсы*. Расстояние между поперечными сооружениями назначают исходя из того, чтобы между ними образовался защищенный участок



Р и с. 31.10. Схема расположения струеотбойных траверсов:

а — при течениях, параллельных укрепляемому откосу; *б* — при косом набегании потока

откоса. При этом расстояние между траверсами принимают равным не более $6l_T \sin\alpha$ (где l_T — длина траверса, α — угол наклона между осью сооружения и направлением потока). В тех случаях, когда ожидают косое набегание потока на откос, устраивают Г-образные траверсы. Длину части траверса, параллельному откосу или защищаемому берегу, назначают не более половины длины траверса. В плане траверсы наклоняют по направлению течения потока на 15—20° (рис. 31.10).

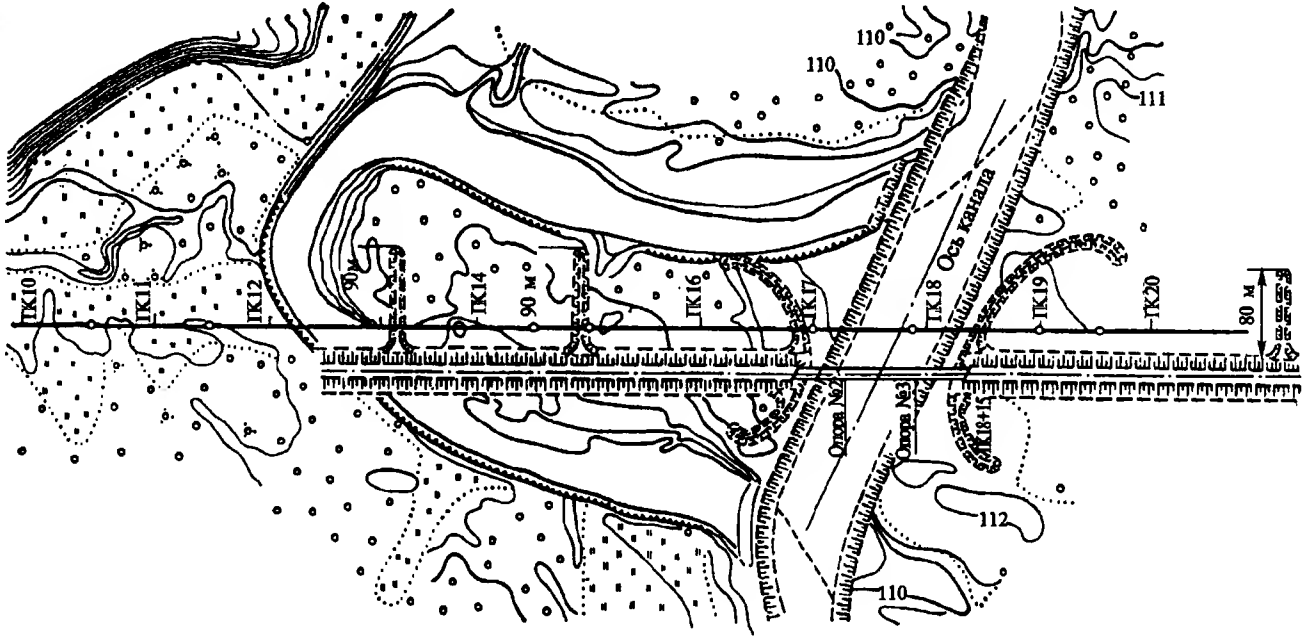
Размеры и конфигурация струенаправляющих дамб и капитальных ограждающих валов входят в состав исходной информации для компьютерного комплексного расчета мостовых переходов с использованием программ «Рур» и «Рома».

Для защиты берегов рек от размыва используют *плоские капитальные укрепления*, располагаемые на спланированных береговых откосах и опускающиеся в яму размыва при развитии русловых деформаций. Берег, размываемый на длине l, укрепляют по всей этой длине еще вверх на величину $0{,}125l$ и вниз на $0{,}25l$. Плоские укрепления обычно работают лучше поперечных струеотбойных сооружений.

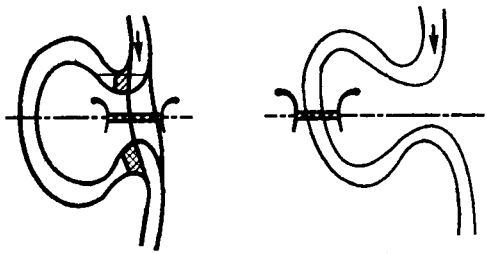
Устройство *искусственных уширений русел (срезок)* на мостовых переходах — одно из эффективнейших регуляторов общего размыва, позволяющих при сравнительно небольших затратах обеспечивать существенно меньшую глубину фундирования опор мостов. Размеры искусственных уширений русел, не заносимых в течение десятилетий, определяют компьютерным расчетом по программе «Рур» (см. гл. 29) или упрощенно (см. гл. 30).

На мостовых переходах через меандрирующие реки нередко прибегают к спрямлению русел, особенно при пересечении осью перехода крутой излучины (рис. 31.11).

Необходимость спрямления русел рек наиболее часто возникает: при строительстве мостов на спрямлениях с целью улучшения гид-



Р и с. 31.11. Пример спрямления русла на мостовом переходе через р. Лидь



а *б*

Р и с. 31.12. Схема размещения моста на спрямляющем канале (*а*) и на вершине излучины реки (*б*)

равлической структуры потока в подмостовом отверстии (рис. 31.12, *а*); во избежание скорого подхода к насыпи смежных излучин, что может случиться при размещении моста на крутом повороте русла (рис. 31.12, *б*); по условиям удобства организации строительства, когда мост строят на сухом месте и лишь после его возведения под ним устраивают спрямляющий канал; на действующих мостовых переходах с целью улучшения их работы.

Русла спрямляют не только под мостами, но и нередко на прилегающих участках реки. При устройстве спрямлений, на коротком участке русла обычно резко возрастают уклоны руслового потока и, следовательно, русловые скорости течения, что приводит к интенсивным глубинным и плановым деформациям искусственного канала, что нужно учитывать при назначении размеров отверстий мостов на спрямлениях. Устройство спрямлений русел на мостовых переходах через судоходные реки, как правило, нецелесообразно, поскольку оно может на несколько лет нарушить условия плавания судов.

Размеры спрямлений русел определяют расчетом исходя из условия их наименьшей деформируемости и из условия обеспечения пропуска бытовых расходов воды и наносов. Способ расчета спрямлений русел разработан проф. О.В. Андреевым, согласно которому характеристики спрямляющего канала определяют так:

$$B_с = B_{рб}\left(\frac{I_с}{I_б}\right)^2;\quad h_с = h_{рб}\left(\frac{I_б}{I_с}\right)^{3/2};\quad v_с = v_{рб}\left(\frac{I_б}{I_с}\right)^{1/2},$$

где $B_{рб}$, $h_{рб}$, $v_{рб}$ — бытовые характеристики русла при руслоформирующем паводке: ширина, глубина и средняя скорость течения; $B_с$, $h_с$, $v_с$ — характеристики спрямляющего канала; $I_б$, $I_с$ — уклоны свободной поверхности потока до и после спрямления.

31.5. Конструкции регуляционных сооружений на мостовых переходах

Учитывая высокую стоимость автомобильных дорог и тем более мостовых переходов, при проектировании всегда следует уделять особое внимание использованию местных дорожно-строительных материалов с целью максимально возможного снижения сметной стоимости строительства этих объектов. Только в случае отсутствия на месте необходимых материалов или недостаточной их прочности применяют более дорогие привозные или искусственно приготовляемые материалы. Наиболее часто имеется возможность использования таких местных материалов, как грунт, дерн и камень. Эти материалы имеют определенную сферу своего применения, поэтому при строительстве мостовых переходов материалы привозные используют почти всегда.

Местные грунты, пригодные по своим физико-механическим свойствам для возведения сооружений мостовых переходов (насыпей подходов, струенаправляющих дамб, траверсов, строительных площадок и т.д.), являются одним из основных видов строительных материалов, всегда используемых в значительных объемах при строительстве. В качестве источников снабжения строительства местными грунтами используют следующие:

грунты из выемок автомобильных дорог на спусках с коренных берегов долины на поймы. Эти грунты обычно используют для возведения пойменных насыпей подходов к мостам;

грунты срезок пойменных берегов (искусственных уширений русел) наиболее часто используют для возведения струенаправляющих дамб и участков пойменных насыпей на ближайших подходах к мостам;

грунты искусственных спрямлений русел;

грунты из близлежащих к месту перехода сосредоточенных грунтовых резервов и карьеров, располагаемых за пределами пойм реки. Эти грунты доставляют к месту строительства, как правило, автовозкой;

грунты из пойменных карьеров, размещаемых вблизи от строящихся мостовых переходов. Такие карьеры не следует размещать с верховой стороны насыпей подходов;

грунты из русловых карьеров нередко используют при возведении земляных сооружений мостовых переходов средствами гидромеханизации. Этот высокоэффективный способ строительства является привлекательным особенно при больших потребных объемах грунта. Однако этот вид карьеров является опасным для нижележащих инженерных сооружений на реках (мостов, переходов коммуникаций, во-

дозаборов и т.д.), поэтому для русловых карьеров, обычно размещаемых ниже по течению от строящихся мостов, обязательно выполняют прогнозы их ожидаемого вредного воздействия на другие речные сооружения и объекты.

Грунтовые сооружения мостовых переходов требуют обязательного укрепления их откосов от вредного воздействия водного потока в паводки. Для этих целей можно использовать дерн или камень, которые, несмотря на их относительно невысокую стоимость, характеризуются низкой степенью механизации строительных работ.

Дерн используют для укрепления нагорных канав, притрассовых кюветов и резервов, а также не подверженных волнобою ледовым воздействиям и продольным течениям откосов. Чаще всего укрепляют низовые откосы подходов к мостам, пойменные откосы струенаправляющих дамб и низовые откосы траверсов.

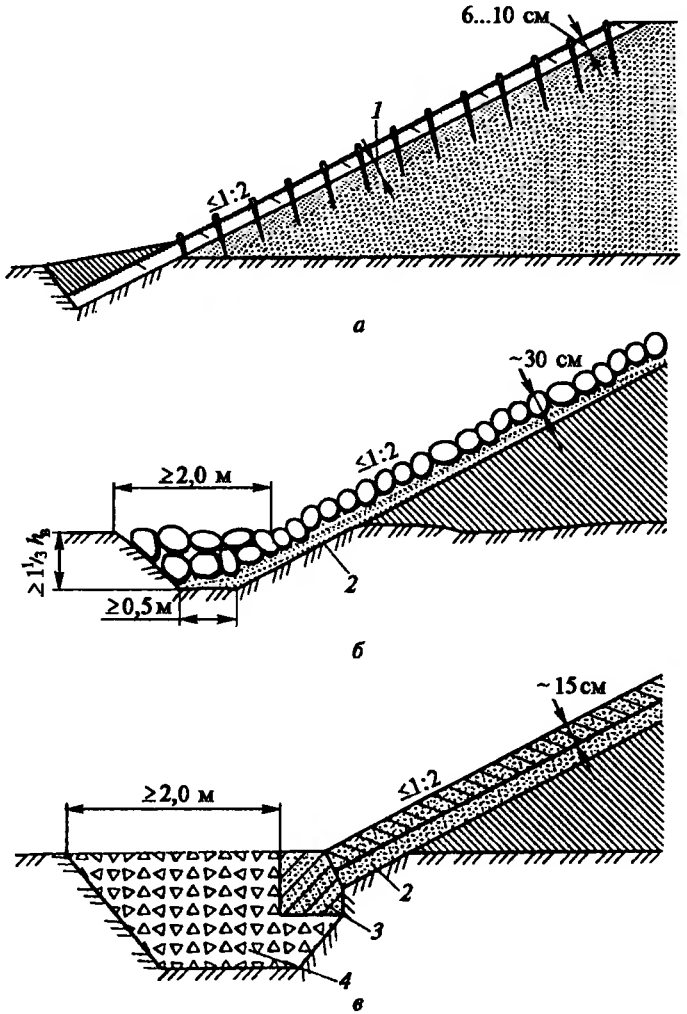
Каменные наброски, поддающиеся частичной механизации строительных работ, нередко используют для укрепления откосов насыпей подходов, струенаправляющих дамб, траверсов и подтопляемых строительных площадок и их нередко используют для укрепления подошв откосов в виде каменных рисберм, рассыпающихся и защищающих откосы в ходе размывов.

В качестве привозных материалов используют: камень (при отсутствии местного), цементобетон, асфальтобетон, сборные железобетонные плиты и другие железобетонные элементы, изготовляемые на заводах индустриальным способом, геотекстиль, арматуру и т.д. На крупных мостовых переходах и больших объемах строительных работ часто создают собственные асфальтобетонные (АБЗ), цементобетонные (ЦБЗ) заводы и заводы железобетонных конструкций (ЖБК).

Откосы пойменных подходов и струенаправляющих дамб наиболее подвержены опасным воздействиям водного потока, особенно с верховой стороны или со стороны русла: волнобой, продольные течения с верховой стороны насыпей, ледовые воздействия, особенно опасные для речных откосов струенаправляющих дамб.

Откосы пойменных насыпей наиболее часто укрепляют одерновкой (рис. 31.13, *а*) (при незначительной волне, ледоходе и продольных течениях), каменной наброской (рис. 31.13, *б*) и капитальными бетонными или железобетонными плитными конструкциями из монолитного бетона или из сборного железобетона (рис. 31.13, *в*).

В настоящее время чаще всего используют конструкции укреплений, обеспечивающие высокую степень механизации и индустриализации работ: монолитные или сборные железобетонные плиты, укладываемые по слою щебеночной или гравийной подготовки или каменные наброски. Для предотвращения заиления подготовки под

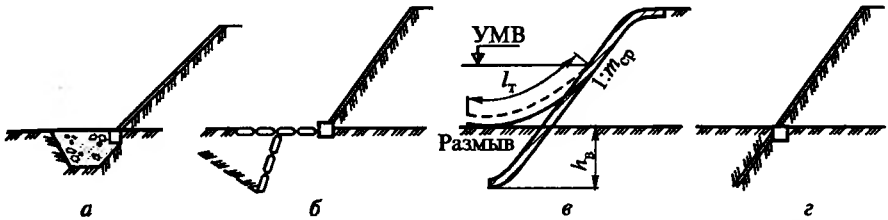


Р и с. 31.13. Конструкции укреплений откосов пойменных насыпей:

а — одерновкой; *б* — каменной наброской; *в* — плитными конструкциями; $h_в$ — глубина местного размыва; *1* — обсыпка поверхности откоса песчаных насыпей землей слоем 6—10 см; *2* — слой щебня (гравия) толщиной 15 см или мха толщиной 5 см; *3* — бетонный упор; *4* — рисберма

плитной конструкцией, выполняющей роль фильтра, в последнее время ее устраивают по слою геотекстиля, обладающего высоким коэффициентом фильтрации, но не пропускающими мелкие частицы грунта насыпи.

Капитальные плитные конструкции укрепления подтопляемых откосов обязательно рассчитывают на местную их устойчивость при



Р и с. 31.14. Конструкции укрепления подошв откосов насыпей от размыва:
а — каменная рисберма; *б* — тюфячная конструкция; *в* — габионный ковер; *г* — укрепление по типу «погребенного откоса»

работе совместно с грунтовым основанием под воздействием волнобоя (см. § 31.1).

Подошвы насыпей подходов могут быть подвержены опасным воздействиям потока с верховой стороны насыпи. Один из наиболее распространенных способов укрепления подошв откосов пойменных насыпей — это устройство каменных рисберм (рис. 31.14, *а*). Потребные объемы рисберм устанавливают исходя из ожидаемых размывов у подошвы откосов, а минимальную крупность камня — исходя из расчетных скоростей течения вдоль подошвы. Минимальную крупность камня ориентировочно определяют:

$$d = \frac{v^2}{25},$$

где d — минимальная крупность камня рисбермы, м; v — средняя скорость течения вдоль откоса насыпи, м/с.

Следует учитывать, что каменная рисберма способна эффективно защищать подошвы откосов лишь при ожидаемой глубине местного размыва (считая от поверхности земли) не более 3 м. В противном случае необходимо предусматривать иные конструкции укрепления подошв.

Наиболее подвержены размывам верховые части струенаправляющих дамб и траверсов. Местные размывы у голов струенаправляющих дамб нередко приводят к их разрушению. Подошвы голов струенаправляющих дамб и траверсов можно укреплять каменными рисбермами (рис. 31.14, *а*), тюфячными бетонными или железобетонными конструкциями (рис. 31.14, *б*), габионными коврами или конструкциями (рис. 31.14, *в*) и, наконец, капитальными укреплениями типа «погребенного откоса» (рис. 31.14, *г*).

Каменная рисберма (см. рис. 31.14, *а*) является весьма распространенным и достаточно эффективным способом защиты подошв откосов от размывов. Однако сфера ее применения ограничена весьма небольшими ожидаемыми глубинами размывов у откосов (до 3 м).

Так называемые гибкие железобетонные тюфяки (см. рис. 31.14, *б*) на самом деле вовсе не являются гибкими и их опускание в ходе размывов сопровождается вывалами больших массивов грунта из-под укрепления, которые, увлекая за собой тюфяк, приводят к его разрывам в продольном и поперечном направлениях и даже к отрывам от анкерного бруса. Поэтому железобетонные тюфяки целесообразно укладывать в продольном направлении отдельными коврами длиной по 10—15 м «вперехлест», но лучше с погружением сразу же в рабочее положение. Значительно лучше работают специально сконструированные гибкие бетонные покрытия, так называемые шоколадки ЦНИИСа, промышленное производство которых уже налажено.

Простыми и по-настоящему гибкими являются габионные тюфяки, изготовляемые из камня, заключенного в металлическую сетку из оцинкованной проволоки (см. рис. 31.14, *в*). Габионные тюфяки для укрепления подошв откосов подтопляемых насыпей и регуляционных сооружений в настоящее время используют сравнительно редко в связи с большими объемами затрат ручного труда на их изготовление.

Укрепления по типу «погребенного откоса» (см. рис. 31.14, *г*), устраиваемые на всю глубину ожидаемого местного размыва из сборных железобетонных плит, монолитного бетона или асфальтобетона, являются наиболее эффективными. Однако при их устройстве ниже уровня меженных вод возникают определенные технологические трудности, к счастью преодолимые (укладка железобетонных тюфяков по льду замерзшей реки, укладка по спланированному откосу вымораживанием, раскатка гибких защитных покрытий по спланированному подводному откосу и т.д.).

Потребные объемы защитных каменных рисберм, длины габионных тюфяков и глубины заложения укреплений по типу «погребенных откосов» определяют исходя из возможных местных размывов у голов струенаправляющих дамб и траверсов.

Глубины местного размыва определяют одним из следующих способов.

По формуле И.А. Ярославцева:

для связных грунтов

$$h_{в} = \frac{23\, v_0^2\ \mathrm{tg}\, 0{,}5\alpha}{g\sqrt{1+m_o^2}} - 6\frac{v_{нер}^2}{g};$$

для несвязных грунтов

$$h_{в} = \frac{23\, v_0^2\ \mathrm{tg}\, 0{,}5\alpha}{g\sqrt{1+m_o^2}} - 30\, d,$$

где v_0 — скорость набегания потока, для криволинейных струенаправляющих дамб практически равная скорости потока на пойме под мостом, м/с; α — угол набегания потока на откос; m_0 — крутизна откоса; g — ускорение силы тяжести, м/с^2; $v_{нер}$ — неразмывающая средняя скорость для связных грунтов, в которых развивается местный размыв, м/с; d — крупность несвязного грунта, принимаемая по наиболее крупным фракциям, содержащимся в размываемом грунте в количестве 15—20%, м.

При использовании расчетных формул И.А. Ярославцева делается допущение о сохранении той же природы местного размыва у голов струенаправляющих дамб (которые представляют собой относительно мелкие, но широкие препятствия), что и для глубоких, но относительно узких мостовых опор.

Исследования последних лет, выполненные М. Гхоламом, показали, что природа местного размыва у голов струенаправляющих дамб связана не столько с набеганием потока на голову дамбы, сколько с обтеканием ее пойменным потоком с большими скоростями. При этом у голов дамб всегда имеет место сосредоточенный перепад уровней, определяющий соответствующее резкое увеличение скоростей потока (рис. 31.15).

Учитывая это, величину местного размыва у голов струенаправляющих дамб можно определять по теоретико-эмпирической формуле М. Гхолама:

$$h_в = 0{,}24\frac{Z^{2.5}}{d^{1.5}} - h_п,$$

где $Z = 0{,}01\beta^{3.6}v_{пб}^{1.2}$ — перепад уровней у головы дамбы, м; β — степень стеснения потока; $v_{пб}$ — бытовая скорость течения на пойме, м/с; $h_п$ — глубина потока на пойме перед струенаправляющей дамбой, м; d — крупность размываемого несвязного грунта (для связных грунтов вводят эквивалентную крупность по сопротивляемости размыву несвязного грунта), м.

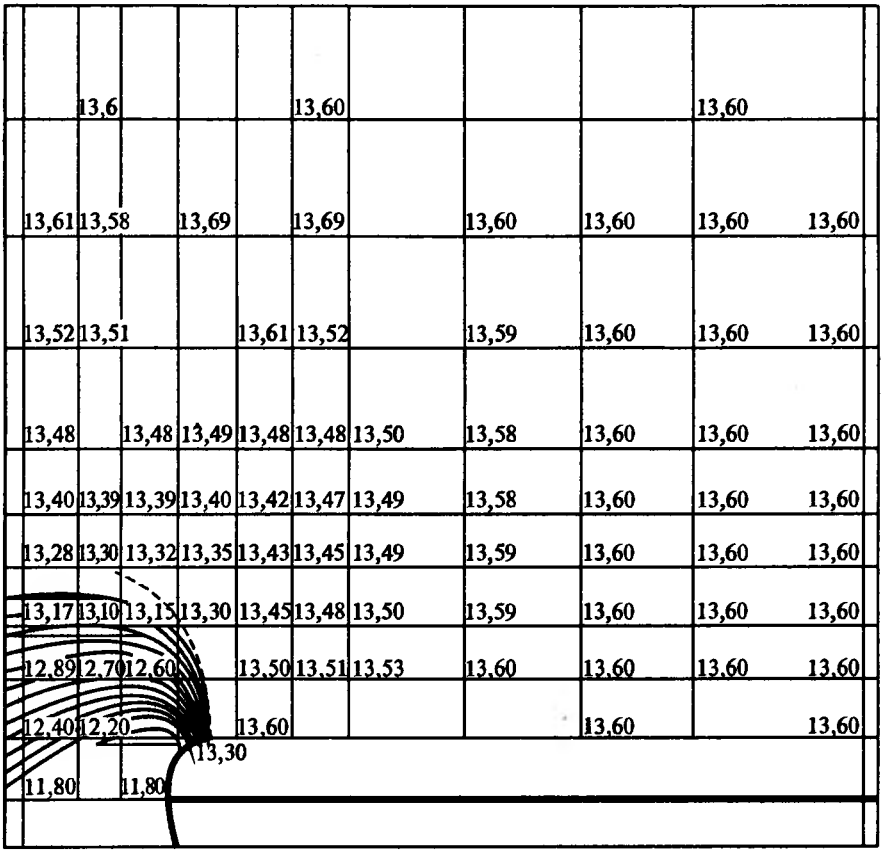
Длину гибкого тюфяка определяют по формуле

$$l_т = h_в\sqrt{1+m_т^2},$$

где $h_в$ — глубина воронки местного размыва; $m_т$ — крутизна откоса размыва, прикрываемая гибким тюфяком.

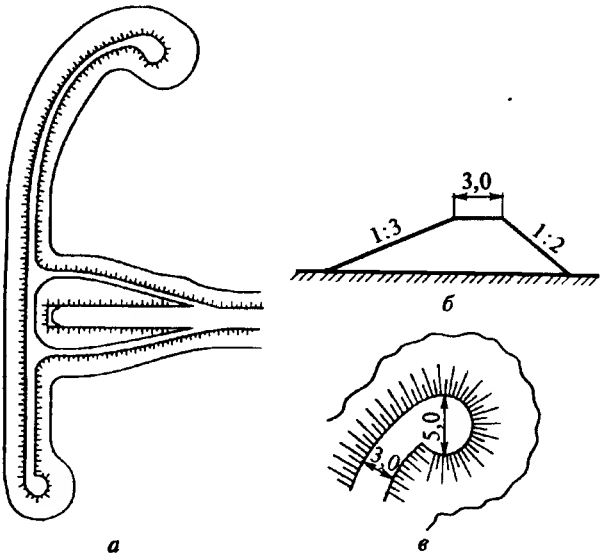
Обычно углы наклона тюфяков составляют 60—70°. При расчетах можно принимать $m_т = 1$, откуда $l_т \approx 1{,}5\ h_в$.

Наиболее эффективно работают гибкие тюфяки из габионных ковров. Они сразу же прикрывают образующиеся размывы.



Р и с. 31.15. План свободной поверхности и сосредоточенный перепад уровней у головы дамбы по данным лабораторных экспериментов (по М. Гхоламу)

Достоинством укреплений тюфяками из сочлененных бетонных блоков является высокая степень индустриализации и механизации работ. Однако между бетонными плитами имеются довольно большие зазоры, поэтому последние укладывают либо на достаточно крупные грунты — гальку, гравий, либо по слою геотекстиля. Кроме того, следует иметь в виду, что в ходе размыва грунт, обрушающийся из-под укрепления, увлекает за собой тюфяк, в результате чего в сочленениях и анкерах возникают значительные разрывающие усилия. Поэтому последние рассчитывают не только на собственный вес тюфяка, а и на разрывающие усилия, возникающие за счет сил трения при обрушении грунта из-под тюфяка. При этом усилие в анкере $P_р$ можно определить по формуле И.А. Ярославцева:



Р и с 31.16. Конструкция струенаправляющей дамбы:

а — план дамбы и подходов к мосту на участке сопряжения пойменной насыпи с проездом на мосту; *б* — поперечный профиль дамбы; *в* — план головного участка дамбы

$$P_{\text{р}} = G_{\text{т}} \sqrt{1 + f^2},$$

где $G_{\text{т}}$ — вес тюфяка с учетом сил взвешивания; $f \approx 0{,}5$ — коэффициент трения тюфяка по грунту.

Так как любые конструкции укреплений могут быть подвержены повреждениям, особенно при проходе высоких паводков, то для обеспечения безаварийной работы всех сооружений мостового перехода необходимы постоянные эксплуатационные мероприятия по содержанию и ремонту укреплений.

Для обеспечения выезда на струенаправляющие дамбы машин и механизмов, а также для доставки строительных материалов и конструкций при производстве ремонтно-восстановительных работ ширину струенаправляющих дамб поверху обычно принимают не менее 3,0 м (рис. 31.16).

Для складирования материалов и обеспечения разворота автотранспорта головы дамбы уширяют, а для обеспечения въезда с дороги на дамбу земляное полотно на участке высокой насыпи устраивают с бермами шириной не менее 3,0 м.

Раздел восьмой
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

Глава 32
ОЦЕНКА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

32.1. Система показателей для оценки проектных решений

При сравнении вариантов проектных решений в процессе проектирования автомобильных дорог и для оценки рекомендуемого к строительству варианта применяют показатели, которые могут быть разделены на следующие группы:

1. Технические показатели:

план и продольный профиль — протяжение трассы, коэффициент ее развития, наименьшие значения примененных при проектировании радиусов кривых в плане, выпуклых и вогнутых вертикальных кривых;

число углов поворота и среднее значение угла поворота;

среднее значение радиусов кривых в плане;

максимальный продольный уклон;

протяженность участков с максимальным и близкими к максимальному значениями уклонов;

протяженность участков, проходящих в пределах населенных пунктов;

земляное полотно — ширина земляного полотна;

рабочие отметки, протяженность участков в сложных инженерно-геологических условиях, в том числе на болотах, в скальных грунтах и т.д.;

профильные и оплачиваемые объемы земляных работ, в том числе по видам применяемых для разработки машин;

объем оплачиваемых земляных работ на 1 км дороги;

объемы укрепительных работ;

дорожная одежда — ширина проезжей части;

характеристики прочности дорожной одежды;

конструкции дорожной одежды основной проезжей части, краевых полос и укрепления обочин;

площади проезжей части, краевых полос и укрепления обочин;

водопропускные трубы — количество водопропускных труб и их суммарная длина, в том числе для различных отверстий;

количество и размеры мостов (малых, средних и больших), путепроводов, тоннелей, пешеходных переходов в разных уровнях, подпорных стен;

пересечения и примыкания — количество пересечений и примыканий к автомобильным дорогам в одном и разных уровнях;

количество съездов с дороги;

количество пересечений с железными дорогами в одном и разных уровнях;

обстановка дороги — количество дорожных знаков, сигнальных столбиков, длина ограждений различного типа, количество автобусных остановок, площадок отдыха, протяженность линий связи, освещения, снегозащитного и декоративного озеленения;

подготовка территории и организация строительства — общие площади постоянного и временного отвода, в том числе по видам земельных угодий;

площадь рекультивируемых земель;

объемы работ по сносу зданий и сооружений, переустройству подземных и воздушных коммуникаций;

сроки строительства, потребность в основных дорожно-строительных материалах, машинах и механизмах.

2. Экономические показатели:

сметная стоимость строительства, в том числе по отдельным главам;

стоимость 1 км дороги, 1 $м^3$ земляных работ, 1 $м^2$ дорожной одежды и т.д.;

сопоставление единичных стоимостей с нормативными показателями и проектами-аналогами.

3. Показатели транспортно-эксплуатационных качеств дороги: объем перевозок; грузооборот; интенсивность и состав транспортного потока; пропускная способность; коэффициенты загрузки дороги движением; скорости движения одиночных автомобилей и транспортного потока; зрительная плавность и ясность трассы; протяженность участков с ограниченной видимостью; расчетные нагрузки на дорожную одежду и водопропускные сооружения.

4. Показатели безопасности движения:

коэффициенты безопасности и коэффициенты относительной аварийности для различных участков дороги;

ожидаемые экономические потери от дорожно-транспортных происшествий.

5. Показатели, учитывающие неблагоприятное воздействие дороги на окружающую среду:

уровни транспортного шума и загрязнения атмосферы на участках дорог, проходящих через населенные пункты или в непосредственной близости от них, их сопоставление с допустимыми значениями;

площадь примыкающих к дороге земель, где концентрация соединений свинца в почве превышает допустимые значения;

протяженность участков, в пределах которых дорога может оказать неблагоприятное воздействие на существующий ландшафт, животный и растительный мир, исторические и культурные памятники, в том числе участков, проходящих по территории заповедников, санитарных и защитных зон.

6. Показатели экономической эффективности: чистый дисконтированный доход за расчетный период; индекс доходности; внутренняя норма доходности и срок окупаемости.

При обосновании проектных решений в настоящее время показатели экономической эффективности капитальных вложений используют в качестве основного критерия, определяющего экономическую целесообразность строительства дороги. При этом учитывают в стоимостной форме значительную часть показателей практически всех перечисленных выше групп, оказывающих существенное влияние на сметную стоимость строительства, автотранспортные и эксплуатационные расходы, экономические потери от дорожно-транспортных происшествий. Необходимо иметь в виду, что последствия некоторых видов отрицательных воздействий дороги и движущихся по ней транспортных потоков на окружающую среду в настоящее время не могут быть оценены количественно в стоимостной форме и, следовательно, отражены в показателях экономической эффективности. Поэтому следует учитывать, что в определенных условиях необходимость соблюдения требований защиты окружающей среды может оказать решающее влияние при выборе окончательного проектного решения.

Приведенные показатели относятся в первую очередь к оценке проектных решений по автомобильной дороге в целом. При сравнении вариантов отдельных сооружений или элементов дороги количе-

ство учитываемых показателей может быть существенно сокращено за счет отказа от показателей, не относящихся к решению данной задачи или одинаковых для всех сравниваемых вариантов.

32.2. Определение предельной пропускной способности дороги и коэффициента загрузки движением

Практическая пропускная способность — максимальное количество автомобилей, которое может пропустить участок с конкретными дорожными условиями в единицу времени:

$$P = \frac{P_{max}\beta_{итог}}{\sum_{1}^{n} K_{прi} h_i}, \qquad (32.1)$$

где P_{max} — максимальная практическая пропускная способность эталонного участка: горизонтального, прямолинейного в плане, с проезжей частью, имеющей не менее двух полос движения шириной по 3,75 м, с сухим шероховатым покрытием, с расстоянием видимости не менее 800 м, для транспортного потока, состоящего только из легковых автомобилей; n — количество типов автомобилей в составе транспортного потока; $K_{прi}$ — коэффициент приведения автомобиля i-го типа к легковому автомобилю (значения $K_{прi}$ принимают в соответствии с рекомендациями СНиП 2.05.02—85 в зависимости от типа транспортных средств и их грузоподъемности); h_i — доля автомобилей i-го типа в составе транспортного потока; $\beta_{итог}$ — итоговый коэффициент снижения пропускной способности, равный произведению частных коэффициентов, определяемых по табл. 32.1—32.15 в зависимости от характеристик дорожных условий и состава транспортного потока, определяется по формуле

$$\beta_{итог} = \prod_{i=1}^{15} \beta_i .$$

Таблица 32.1. **Коэффициенты β_1**

Ширина полосы движения, м	Значения β_1 проезжей части	
	многополосной	двухполосной
< 3	0,9	0,85
3,5	0,96	0,9
≥ 3,75	1,0	1,0

Таблица 32.2. **Коэффициенты β_2**

Ширина обочины, м	Значение β_2	Ширина обочины, м	Значение β_2
3,75	1,0	2,0	0,8
3,00	0,97	1,5	0,7
2,50	0,92		

Таблица 32.3. **Коэффициенты β_3**

Расстояние от кромки проезжей части до бокового препятствия, м	Боковые помехи с одной стороны			Боковые помехи с обеих сторон		
	Значение β_3 при ширине полосы движения, м					
	3,75	3,5	3,0	3,75	3,5	3,0
2,5	1,0	1,0	0,98	1,0	0,98	0,96
2,0	0,99	0,99	0,95	0,98	0,97	0,93
1,5	0,97	0,95	0,94	0,96	0,93	0,91
1,0	0,95	0,90	0,87	0,91	0,88	0,85
0,5	0,92	0,83	0,80	0,88	0,78	0,75
0	0,85	0,78	0,75	0,82	0,73	0,7

Таблица 32.4. **Коэффициенты β_4**

Количество автопоездов в потоке, %	Значение β_4 при доле легких и средних грузовых автомобилей,%				
	10	20	50	60	70
1	0,99	0,98	0,94	0,90	0,86
5	0,97	0,96	0,91	0,88	0,84
10	0,95	0,93	0,88	0,85	0,81
15	0,92	0,90	0,85	0,82	0,78
20	0,90	0,87	0,82	0,79	0,76
25	0,87	0,84	0,79	0,76	0,73
30	0,84	0,81	0,76	0,72	0,70

Таблица 32.5. **Коэффициенты β_5**

Продольный уклон, %	Длина подъема, м	Значение β_5 при доле автопоездов, %			
		2	5	10	15
2	200	0,98	0,97	0,94	0,89
	500	0,97	0,94	0,92	0,87
	800	0,96	0,92	0,90	0,84

Окончание табл. 32.5

Продольный уклон, %	Длина подъема, м	Значение β_5 при доле автопоездов, %			
		2	5	10	15
3	200	0,96	0,95	0,93	0,86
	500	0,95	0,93	0,91	0,83
	800	0,93	0,90	0,88	0,80
4	200	0,93	0,90	0,86	0,80
	500	0,91	0,88	0,83	0,76
	800	0,88	0,85	0,80	0,72
5	200	0,90	0,85	0,80	0,74
	500	0,86	0,80	0,75	0,70
	800	0,82	0,76	0,71	0,64
6	200	0,83	0,77	0,70	0,63
	500	0,77	0,71	0,64	0,55
	800	0,70	0,63	0,53	0,47
7	200	0,75	0,68	0,60	0,55
	300	0,63	0,55	0,48	0,41

Таблица 32.6. **Коэффициенты β_6**

Расстояние видимости, м	Значение β_6	Расстояние видимости, м	Значение β_6
< 50	0,69	150—250	0,90
50—100	0,73	250—350	0,98
100—150	0,74	> 350	1,0

Таблица 32.7. **Коэффициенты β_7**

Радиус кривой в плане, м	Значение β_7	Радиус кривой в плане, м	Значение β_7
< 100	0,85	450—600	0,99
100—250	0,90	> 600	1,0
250—450	0,96		

Таблица 32.8. **Коэффициенты β_8**

Ограничение скорости движения, км/ч	Значение β_8	Ограничение скорости движения, км/ч	Значение β_8
10	0,44	40	0,96
20	0,76	50	0,98
30	0,88	60	1,0

Таблица 32.9. **Коэффициенты β_9**

Доля левоповоротного движения, %	Примыкания	Пересечения				
	Значения β_9 при ширине проезжей части основной дороги, м					
	7,0	7,5	10,5	7,0	7,5	10,5
Необорудованные						
0	0,97	0,98	1,0	0,94	0,95	0,98
20	0,85	0,87	0,92	0,82	0,83	0,91
40	0,73	0,75	0,83	0,70	0,71	0,82
60	0,60	0,62	0,75	0,57	0,58	0,73
80	0,45	0,47	0,72	0,41	0,41	0,70
Частично канализированные с островками безопасности без переходно-скоростных полос						
0	1,0	1,0	1,0	0,98	0,99	1,0
20	0,97	0,98	1,0	0,97	0,98	0,99
40	0,93	0,94	0,97	0,91	0,92	0,97
60	0,87	0,88	0,93	0,84	0,85	0,93
80	0,87	0,88	0,92	0,84	0,85	0,92
Полностью канализированные						
0—60	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	0,90	0,98	0,99	0,95	0,97	0,98

Таблица 32.10. **Коэффициенты β_{10}**

Тип укрепления и состояние обочин	Значения β_{10}
Усовершенствованное покрытие	1,0
Укрепление щебнем	0,99
Дерновый газон	0,95
Сухие неукрепленные	0,90
Мокрые грязные	0,45

Таблица 32.11. **Коэффициенты β_{11}**

Тип покрытия	Значения β_{11}
Шероховатое асфальтобетонное, черное щебеночное	1,0
Гладкое асфальтобетонное	0,9—1
Сборное бетонное	0,86
Булыжная мостовая	0,42
Грунтовая дорога в хорошем состоянии	0,90
Грунтовая дорога размокшая	0,1—0,3

Таблица 32.12. **Коэффициенты β_{12}**

Способ отделения от основной проезжей части площадок отдыха, стоянок автомобилей, автозаправочных станций	Значения β_{12}
Полное отделение, специальные полосы для въезда	1,0
Полное отделение, имеется отгон ширины	0,98
Полное отделение, без полос и отгона	0,80
Без отделения	0,64

Таблица 32.13. **Коэффициенты β_{13}**

Средства организации движения	Значения β_{13}
Осевая разметка	1,02
Осевая и краевая разметка	1,05
Двойная осевая разметка	1,12

Таблица 32.14. **Коэффициенты β_{14}**

Средства организации движения	Значения β_{14}
Указатели полос движения	1,10
Знак ограничения максимальной скорости движения	Учтены коэффициентом $\beta_{\text{х}}$

Таблица 32.15. **Коэффициенты β_{15}**

Доля автобусов в потоке, %	Значения β_{15} при доле легковых автомобилей в потоке, %					
	70	50	40	30	20	10
1	0,82	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68
5	0,80	0,75	0,72	0,71	0,69	0,68
10	0,77	0,73	0,71	0,69	0,65	0,65
15	0,75	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64
20	0,73	0,69	0,68	066	0,64	0,62
30	0,70	0,66	0,64	0,63	0,61	0,60

Максимальную пропускную способность P_{max} принимают: для двухполосных дорог 2000 авт/ч, для трехполосных дорог — 4000 авт/ч. Для многополосных автомобильных дорог, у которых движение по полосам распределяется неравномерно, P_{max} определяют как сумму пропускных способностей отдельных полос:

$$P_{max} = 2\sum_{j=1}^{n} P_j, \qquad (32.2)$$

где n — количество полос движения в каждом направлении; P_j — пропускная способность j-й полосы движения:

$$P_j = \frac{\beta_к \beta_п \left(1700 + 66{,}6b - 9{,}54\varphi_{тj} - 6{,}84I\right)}{\sum_{i=1}^{n} K_{прi}\varphi_{ij}},$$

$\beta_к$ — коэффициент, учитывающий влияние радиусов кривых в плане, принимаемый равным 0,85 при радиусах менее 1000 м и 1,0 — при больших значениях радиусов (учитывается только при определении пропускной способности левой полосы движения на кривой); $\beta_п$ — коэффициент, учитывающий влияние пересечений в разных уровнях и определяемый по табл. 32.16; b — ширина полосы движения, м; $\varphi_{тi}$ — доля тяжелых грузовых автомобилей и автобусов, %; I — продольный уклон, ‰; φ_{ij} — доля автомобилей i-го типа в составе потока по j-й полосе движения, доли ед.

Таблица 32.16. **Коэффициенты $\beta_п$**

Тип переходно-скоростных полос	Интенсивность движения на съезде, % от интенсивности движения по автомагистрали	Значения $\beta_п$ для полосы	
		левой	правой
Отделенные разделительной полосой от основной проезжей части	10—25 25—40	0,95 0,90	1,0 0,95
Обычного типа	10—25 25—40	0,88 0,83	0,95 0,90
Без переходно-скоростных полос	10—25 25—40	0,80 0,75	0,90 0,80

Данные о распределении интенсивностей и состава движения по отдельным полосам могут быть в первом приближении взяты по табл. 32.17.

Таблица 32.17. **Состав транспортного потока по отдельным полосам**

Доля легковых автомобилей в потоке, %	Доля автомобилей на правой полосе, %		Доля автомобилей на левой полосе, %	
	легковых	грузовых	легковых	грузовых
20	7—10	90—93	30—35	65—70
40	24—30	70—76	50—55	45—50

Окончание табл. 32.17

Доля легковых автомобилей в потоке, %	Доля автомобилей на правой полосе, %		Доля автомобилей на левой полосе, %	
	легковых	грузовых	легковых	грузовых
60	38—45	55—62	65—70	30—35
80	74—84	16—26	80—85	15—20

Коэффициент загрузки дороги движением рассчитывают по формуле

$$z = N_ч/P, \tag{32.3}$$

где $N_ч$ — расчетная часовая интенсивность движения, авт/ч;

$$N_ч = 0{,}076N, \tag{32.4}$$

N — среднегодовая суточная интенсивность движения.

При разработке проектов новых автомобильных дорог стремятся, чтобы значения коэффициента загрузки движением находились в пределах 0,2—0,65 и 0,5—0,75 при реконструкции.

В Рекомендациях по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах предлагается определять пропускную способность дорог по формуле

$$P = P_п n k_{пер} k_п, \tag{32.5}$$

где P — пропускная способность многополосной проезжей части дороги; $P_п$ — пропускная способность одной полосы движения; n — количество полос движения; $k_{пер}$ — коэффициент, учитывающий долю перестраивающихся автомобилей в транспортном потоке, определяемый по табл. 32.18; $k_п$ — коэффициент многополосности, определяемый по табл. 32.19.

Таблица 32.18. **Коэффициенты $k_{пер}$**

Доля перестраивающихся автомобилей в транспортном потоке, %	До 10	20	30	40
$k_{пер}$	1	0,88	0,80	0,70

Таблица 32.19. **Коэффициенты многополосности $k_п$**

Количество полос движения в одном направлении	Расстояния между соседними точками входа на дорогу и выхода с дороги, м					
	до 500	1000	2000	3000	4000	5000
Коэффициенты многополосности $k_п$						
2	0,95	0,98	1	1	1	1
3	0,83	0,85	0,88	0,95	1	1

Окончание табл. 32.19

Количество полос движения в одном направлении	Расстояния между соседними точками входа на дорогу и выхода с дороги, м					
	до 500	1000	2000	3000	4000	5000
4	0,80	0,82	0,85	0,91	0,98	1
5	0,76	0,78	0,82	0,87	0,97	1
6	0,72	0,75	0,79	0,85	0,95	0,99
7	0,68	0,72	0,76	0,84	0,93	0,98
8	0,63	0,68	0,72	0,81	0,92	0,97

Пропускную способность одной полосы движения можно рассчитать по формуле

$$P_{\text{п}} = (1 - \Psi)P_0, \qquad (32.6)$$

где Ψ — итоговый коэффициент снижения пропускной способности полосы движения:

$$\Psi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + ... + \varphi_j,$$

P_0 — максимальная пропускная способность одной полосы движения, в приведенных авт/ч; φ_j — частный коэффициент снижения пропускной способности, учитывающий влияние конкретного фактора, определяемый по табл. 32.20—32.25.

Таблица 32.20. **Значения частного коэффициента φ_1**

Ширина полосы движения двухполосной дороги	2,5	3,0	3,5 и более
φ_1	0,15	0,05	0

Таблица 32.21. **Значения частного коэффициента φ_2**

Ровность покрытия по толчкомеру (см/км)	800	700	500
φ_2	0,10	0,05	0

Таблица 32.22. **Значения частного коэффициента φ_3**

Продольный уклон, ‰ (при длине подъема более 100 м)	30 и менее	40	50	60 и более
φ_3	0	0,05	0,8	0,15

Таблица 32.23. **Значения частного коэффициента φ_4**

Запрещение обгонов	φ_4
Двухполосные дороги	0,20
Трехполосные дороги	0,25
Четырехполосные дороги	0,40

Таблица 32.24. **Значения частного коэффициента φ_5**

Ограничение скорости движения, км/ч	20	40	60 и более
φ_5	0,15	0,10	0

Таблица 32.25. **Значения частного коэффициента φ_6**

Фазовый коэффициент (отношение продолжительности зеленого сигнала к длительности цикла)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Коэффициент снижения пропускной способности дороги при светофорном регулировании φ_6	0,8	0,60	0,40	0,2	0

Максимальную пропускную способность одной полосы движения автомобильных дорог принимают:

для двухполосных — 1200 приведенных авт/ч;

для трехполосных — 1800 приведенных авт/ч;

для четырехполосных без разделительной полосы — 2000 приведенных авт/ч;

то же, с разделительной полосой — 2200 приведенных авт/ч;

для шестиполосных с разделительной полосой — 2300 приведенных авт/ч.

Значения частных коэффициентов снижения пропускной способности принимают в зависимости от количественной характеристики влияющего фактора. Для промежуточных значений влияющего фактора значения коэффициентов принимают по интерполяции.

При одновременном действии сразу нескольких факторов, снижающих пропускную способность дороги, некоторые из них имеют настолько сильное влияние, что при их действии другие факторы (или часть факторов) становятся малозначимыми и их в расчете не учитывают. Формула (32.5) должна содержать только те слагаемые, которые соответствуют значимым для пропускной способности конкретного участка факторам.

Светофорное регулирование движения на пересечениях с другими дорогами или на пешеходных переходах делает малозначимыми все другие факторы.

Пропускная способность пересечений в одном уровне зависит от соотношения интенсивностей движения на пересекающихся дорогах. Если на пересечении нет светофорного регулирования, пропускную способность по главной дороге определяют по формуле (32.5).

Пропускная способность второстепенной дороги на нерегулируемом пересечении двухполосных дорог в одном уровне зависит от интенсивности движения по главной дороге (табл. 32.26).

Таблица 32.26. **Пропускная способность второстепенной дороги на нерегулируемом пересечении в одном уровне**

Суммарная интенсивность движения по главной дороге, авт/ч	100	200	300	400	600	800	1000	2000
Направление движения по второстепенной дороге	Максимальная пропускная способность одного направления второстепенной дороги, авт/ч*							
Правый поворот**	900	800	700	600	500	400	250	50
Левый поворот на примыкании	850	600	500	370	200	120	60	10
Прямое пересечение и левый поворот в сумме на пересечении***	400	280	260	280	150	100	50	10
Пропускная способность одного направления второстепенной дороги необорудованного пересечения***	900	750	600	400	200	50	10	10
Коэффициенты снижения пропускной способности второстепенной дороги	0,25	0,37	0,50	0,70	0,85	0,95	0,98	0,99

*Максимальная пропускная способность второстепенной дороги на подходе к пересечению определяется по формуле (32.5). В таблице приведены пропускные способности направлений движения на пересечении при наличии дополнительных полос для поворачивающих потоков.

**С отдельной полосы второстепенной дороги.

***При доле левоповоротного движения с второстепенной дороги до 20%.

Вследствие изменения дорожных условий по длине дороги происходит также изменение пропускной способности дороги. Для ее характеристики целесообразно строить линейный график изменения пропускной способности дороги и коэффициента загрузки движением (рис. 32.1).

Р и с. 32.1. Линейный график пропускной способности дороги и коэффициента загрузки движением

График строят в такой последовательности:

выделяют отдельные элементы дороги с учетом зоны их влияния, протяжение которых принимают по табл. 32.27;

Таблица 32.27. **Влияние элементов дороги и окружающей обстановки на пропускную способность**

Элементы, оказывающие влияние	Протяженность зоны влияния, м
Населенные пункты	300
Участки подъемов длиной до 200 м	350
Участки подъемов длиной более 200 м	650
Кривые в плане радиусом более 600 м	100
Кривые в плане радиусом менее 600 м	250
Участки с видимостью меньше 100 м	150
Участки с видимостью 100—350 м	100
Участки с видимостью 350—600 м	50
Пересечения в одном уровне	600

выписывают значения частных коэффициентов снижения пропускной способности;

разбивают дорогу на всем исследуемом протяжении на однородные участки, в пределах каждого из которых сохраняют постоянными значения всех частных коэффициентов снижения пропускной способности;

для каждого из однородных участков по формуле (32.1) или (32.5) вычисляют пропускную способность, а по формуле (32.3) — коэффициент загрузки движением;

строят график изменения пропускной способности и коэффициента загрузки вдоль дороги;

на графике выделяют участки, где коэффициент загрузки превышает допустимые значения;

для решения вопросов о целесообразных способах корректировки проектного решения на участках с недостаточной пропускной способностью следует анализировать график изменения пропускной способности совместно с графиками коэффициентов аварийности и безопасности.

32.3. Расчет средней скорости транспортного потока

Средняя скорость потока автомобилей является одним из важнейших показателей, используемых при определении транспортных расходов и капиталовложений в автомобильный транспорт при обос-

новании инвестиций в дорожное строительство. Скорость транспортного потока изменяется по длине дороги и во времени в зависимости от интенсивности движения и состава транспортного потока, особенностей дорожных условий и применяемых средств регулирования движения, воздействия погодно-климатических факторов.

Среднюю скорость потока автомобилей по однородному участку дороги, в пределах которого не происходит изменения каких-либо характеристик дорожных условий, рассчитывают по формуле

$$v = G\Theta v_0 - \alpha K_\alpha N_ч, \qquad (32.7)$$

где G — коэффициент, учитывающий влияние состояния покрытия на среднюю скорость транспортного потока; Θ — коэффициент, учитывающий влияние дорожных условий и состава транспортного потока на скорости движения; v_0 — средняя скорость свободного движения однородного потока, состоящего из легковых автомобилей, на прямолинейном горизонтальном участке дороги с проезжей частью шириной 7,5 м, краевыми полосами шириной по 0,75 м, укрепленными обочинами шириной по 3,5 м (принимают $v_0 = 80$ км/ч); α — коэффициент, зависящий от доли легковых автомобилей в составе транспортного потока (табл. 32.28); K_α — поправочный коэффициент к значению α; $N_ч$ — интенсивность движения, авт/ч, определяемая по формуле (32.4);

$$G = \frac{t_с g_с + t_в g_в + t_з g_з + t_г g_г}{365}, \qquad (32.8)$$

$t_с$, $t_в$, $t_з$, $t_г$ — количество дней в году соответственно с сухим, влажным, заснеженным покрытием и с гололедом; $g_с$, $g_в$, $g_з$, $g_г$ — коэффициенты снижения скорости: для сухого покрытия $g_с = 1{,}0$, влажного $g_в = 0{,}85$, заснеженного $g_з = 0{,}8$, при гололеде $g_г = 0{,}45$;

$$q = \prod_{i=1}^{9} \tau_i, \qquad (32.9)$$

$\tau_1, \tau_2, ..., \tau_9$ — коэффициенты, определяемые по табл. 32.28—32.37.

Таблица 32.28. **Коэффициенты τ_i и α**

Доля легковых автомобилей в потоке, %	Значения τ_i	Значения α
100	1,0	0,007
70	0,9	0,01
50	0,8	0,012
40	0,78	0,013

Окончание табл. 32.28

Доля легковых автомобилей в потоке, %	Значения τ_1	Значения α
20	0,75	0,016
10	0,67	0,018
0	0,62	0,02

Таблица 32.29. **Коэффициенты τ_2**

Уклон, %	Значения τ_2	Уклон, %	Значения τ_2
0	1,0	5	0,68
2	0,92	6	0,56
3	0,84	7	0,45
4	0,76	8	0,34

Таблица 32.30. **Коэффициенты τ_3**

Тип разметки	Значения τ_3 при ширине проезжей части, м					K_α
	6,0	7,0	7,5	9,0	10,5	
Без разметки	0,70	0,90	1,0	1,05	1,10	1,00
Краевая разметка	0,64	0,87	0,98	1,08	1,15	0,82
Осевая прерывистая разметка	0,68	0,89	1,0	1,05	1,10	0,76
То же, в сочетании с краевой	0,55	0,74	0,92	1,08	1,15	0,70
Сплошная разделительная линия	0,59	0,75	0,78	1,04	1,00	0,62

Таблица 32.31. **Коэффициенты τ_4**

Ширина обочины, м	Значения τ_4	Ширина обочины, м	Значения τ_4
3,75 и более	1,0	1,0	0,75
2,5	0,9	0	0,6
1,5	0,85		

Таблица 32.32. **Коэффициенты τ_5**

Радиус кривой в плане, м	Значения τ_5	Радиус кривой в плане, м	Значения τ_5
600 и более	1,0	200	0,80
500	0,96	100	0,75
400	0,92	50	0,70
300	0,87	Менее 50	0,60

Таблица 32.33. **Коэффициенты τ_6**

Расстояние видимости, м	Значение τ_6	Расстояние видимости, м	Значение τ_6
В плане		В продольном профиле	
600—700	1,0		
300—400	0,95	Более 150	1,0
200—250	0,90	100	0,95
100—150	0,80—0,85	50	0,75
Менее 100	0,75	Менее 50	0,60

Таблица 32.34. **Коэффициенты τ_7**

Число полос движения	Значения τ_7	Число полос движения	Значения τ_7
1	0,5	4	1,13
2	1,0	5 и более	1,20
3	1,05		

Таблица 32.35. **Коэффициенты τ_8**

Характеристика населенного пункта	Значения τ_8
Населенный пункт отсутствует	1,0
Имеются тротуары и полосы для местного движения	0,9
Имеются тротуары	0,8
Тротуары отсутствуют	0,6

Таблица 32.36. **Коэффициенты τ_9**

Дорожные условия перед подъемом с уклоном более 30‰	Значения τ_9
Подъем	1,0
Горизонтальный участок	0,9
Спуск	1,2
Малый мост	0,9
Сужение проезжей части	0,8

Таблица 32.37. **Коэффициенты K_α**

Длина подъема, м	Поправочный коэффициент K_α к значению α при уклоне, ‰			
	3	4	5	6
Менее 200	1,10	1,15	1,21	1,30
350	1,11	1,20	1,25	1,32
500	1,19	1,25	1,30	1,36
Более 800	1,22	1,32	1,38	1,45

При определении Θ по формуле (32.9) учитывают, что на участках со значительными уклонами влияние уклона на скорость движения будет преобладающим по сравнению с другими характеристиками дорожных условий. Поэтому при уклонах более 45‰ и длине подъема более 250 м, при уклонах более 55 ‰ и длине подъема более 200 м и уклонах более 65‰ и длине подъема более 100 м из значений $\tau_1, \tau_2, ..., \tau_9$ принимают в качестве расчетного наименьшее, а все другие коэффициенты считают равными 1,0.

Коэффициент K_α принимают по табл. 32.30 для кривых в плане и по табл. 32.37 для участков с продольными уклонами более 30‰ (при совпадении кривой в плане с подъемом в формулу подставляют большее из найденных значений K_α).

Среднюю скорость потока автомобилей для дороги или участка протяжением L рассчитывают по формуле

$$v_{ср} = \frac{L}{\sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{v_i}}, \qquad (32.10)$$

где n — количество участков, однородных по дорожным условиям; l_i — протяженность i-го участка, км; v_i — скорость потока автомобилей для i-го участка, км/ч, рассчитанная по формуле (32.7).

В Рекомендациях по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах предлагается рассчитывать среднюю скорость транспортного потока по разным зависимостям отдельно для автомобильных дорог и автомагистралей, запроектированных и построенных с выполнением всех требований, предъявляемых к дорогам I категории.

Средняя скорость движения (км/ч) транспортного потока в каждом направлении ($v_{1,2}$) на автомобильных магистралях с четырьмя полосами проезжей части определяется из выражения:

$$v_{1,2} = (v_0' \cdot k_1 \cdot q_1 + v_0'' \cdot k_2 \cdot q_2)A - \psi N, \qquad (32.11)$$

где v_0' — свободная скорость движения по правой полосе (105 км/ч); v_0'' — свободная скорость движения по левой полосе (117 км/ч); k_1, k_2 — коэффициенты, зависящие от числа легковых автомобилей на данной полосе проезжей части, определяют по табл. 32.38;

Таблица 32.38. **Коэффициенты k_1, k_2**

Число легковых автомобилей в потоке на данной полосе движения, %	100	80	60	40	20 и менее
k_1, k_2	1,0	0,96	0,91	0,86	0,83

q_1 — относительное количество автомобилей, движущихся по правой полосе при разной интенсивности движения в данном направлении, доли единицы (табл. 32.40). Распределение автомобилей по полосам движения может быть принято по табл. 32.39;

Таблица 32.39. **Распределение автомобилей по полосам движения**

Число легковых автомобилей, % от общей интенсивности движения	Число легковых автомобилей на отдельных полосах, % от интенсивности движения на данной полосе	
	правая полоса	левая полоса
20	10	30
40	30	55
60	45	70
80	75	85
100	100	100

Таблица 32.40. **Относительное количество автомобилей, движущихся по правой полосе**

Интенсивность движения в данном направлении	500	1000	1500	2000	2500	3000
Q_1	1,0	0,96	0,91	0,86	0,84	0,83

q_2 — относительное количество автомобилей, движущихся по левой полосе, доли единиц:

$$q_2 = 1 - q_1; \qquad (32.12)$$

A — обобщающий коэффициент, учитывающий влияние на скорость движения элементов дороги:

$$A = k_3 \cdot k_4 \cdot k_5, \qquad (32.13)$$

k_3 — коэффициент, учитывающий влияние продольного уклона при движении на подъем (табл. 32.41);

Таблица 32.41. **Коэффициенты k_3**

Уклон, ‰	0	15	20	25	30	35	40
k_3	1,0	0,96	0,94	0,90	0,86	0,82	0,77

k_4 — коэффициент, учитывающий влияние развязок в разных уровнях (табл. 32.42);

Таблица 32.42. **Коэффициенты k_4**

Интенсивность движения по съездам развязки, % от интенсивности движения по магистрали	Значения k_4 при интенсивности движения по магистрали в обоих направлениях, авт/ч			
	менее 2000	2000 и более	менее 2000*	2000 и более*
10	0,97	0,90	1,0	1,0
20	0,90	0,85	1,0	0,95
30	0,75	0,70	0,95	0,90
40	0,65	0,60	0,80	0,70

* — с переходно-скоростными полосами.

k_5 — коэффициент, учитывающий влияние больших мостов, равен 0,85; ψ — коэффициент, зависящий от числа грузовых автомобилей в транспортном потоке заданного направления движения:

Число грузовых автомобилей, %	80	60	40	20
ψ	0,018	0,016	0,014	0,012

N — интенсивность движения в одном направлении, авт/ч.

Для оценки изменения скорости потока автомобилей по длине дорог с изменяющимися условиями движения строят эпюры скорости. При этом учитывают, что постепенное снижение и последующее увеличение скорости на сложных участках происходят в зонах их влияния. В среднем длина этих зон составляет 200 м на подъездах к сложному участку и 300 м на выезде.

Скорости движения автомобилей разных типов, входящих в транспортный поток, определяют по формулам:

$$v_г = v_{1,2} - \Delta v \cdot a_{1,2}; \quad v_л = v_г + \Delta v; \quad v_а = 0{,}6 v_г,$$

где $v_г$ — скорость движения грузовых автомобилей; $v_л$ — скорость движения легковых автомобилей; $v_а$ — скорость движения пригород-

ных маршрутных автобусов; $a_{1,2}$ — число легковых автомобилей в транспортном потоке заданного направления движения; Δv — разность скоростей движения легковых и грузовых автомобилей, зависящая от интенсивности движения (табл. 32.43).

Таблица 32.43. **Разности скоростей Δv**

Интенсивность движения в одном направлении, авт/ч	500	1000	1500	2000	2500	3000
Разность скоростей, км/ч	23	18	15	10	8	6

32.4. Расчет максимальной скорости движения одиночного автомобиля

При оценке проектных решений эпюра изменения максимальной скорости движения автомобиля может быть использована для выявления участков, на которых элементы плана и продольного профиля не обеспечивают расчетную скорость движения, а также для оценки безопасности движении по методу коэффициентов безопасности.

Скорость движении в любой точке запроектированной дороги как на вертикальных кривых, так и на прямолинейных участках может быть рассчитана по формуле, предложенной К.А. Хавкиным на основе решения дифференциального уравнения тягового баланса автомобиля с учетом инерционных сил:

$$v_s = \sqrt{(v_0^2 - k_1)e^{-\mu s} + k_1 + k_2 S}, \qquad (32.14)$$

где v_s — скорость движения автомобиля в точке, удаленной на расстояние S от начала элемента продольного профиля, для которого ведут расчет, м/с; v_0 — скорость движения автомобиля в начальной точке элемента, для которого ведут расчет, м/с;

$$k_1 = \frac{1}{b}(a - f - i_1) + \frac{k_2}{\mu},$$

где a, b — коэффициенты уравнения, характеризующие зависимость динамического фактора от скорости автомобиля на определенной передаче при заданной степени открытия дроссельной заслонки (для полностью открытой дроссельной заслонки значения a, b приведены в табл. 32.44); f — коэффициент сопротивления качению;

Таблица 32.44. **Коэффициенты *a* и *b***

Коэффициенты	Значения коэффициентов *a* и *b* для автомобилей		
	ГАЗ-53	ЗИЛ-130	МАЗ-500
V передача			
a	—	0,059	0,048
b	—	0,00055	0,000036
IV передача (прямая)			
a	0,06	0,087	0,061
b	0,000058	0,000105	0,000056
III передача			
a	0,103	0,135	0,109
b	0,000167	0,000327	0,000208
II передача			
a	0,187	0,243	0,207
b	0,00083	0,0016	0,00127

Примечание. Для расчетного легкового автомобиля на прямой передаче принимают: $a = 0{,}1$; $b = 0{,}00076$.

i_1 — продольный уклон в начальной точке элемента (для подъема уклон берут со знаком плюс, для спусков — минус);

$$\mu = \frac{2gb}{\delta};\ g = 9{,}81\ \text{м/с}^2;\ k_2 = 1/R;$$

R — радиус вертикальной кривой (знак плюс берется для выпуклых кривых, знак минус — для вогнутых); δ — коэффициент влияния вращающихся масс автомобиля, который может быть определен по эмпирической формуле

$$\delta = 1{,}04 + ni_к^2,$$

n — коэффициент, принимаемый равным 0,03—0,05 для легковых автомобилей и 0,05—0,07 — для грузовых; $i_к$ — передаточное число коробки передач.

При использовании уравнения (32.14) для расчета скоростей движении на прямолинейных участках в нее подставляют:

$$k_2 = 0; \qquad k_1 = (a - f - i)/b.$$

При расчетах скоростей движения по уравнению (32.14) на участках со значительными продольными уклонами проверяют возможность движения автомобиля с полученной скоростью на соответст-

вующей передаче. Если полученная расчетом скорость движения не соответствует допускаемой для данной передачи, следует повторить расчет для другой передачи.

На сложных участках, где скорость ограничивают исходя из требований безопасности движения, также сравнивают скорость, определенную по уравнению (32.14), с допустимой скоростью движения на данном участке.

Допустимая скорость движения на кривых в плане:

$$v_{доп} = \sqrt{127R(\mu \pm i_0)},$$

где R — радиус кривой, м; μ — коэффициент поперечной силы, принимаемый равным из условия обеспечения устойчивости против заноса автомобиля 0,15—0,20; i_0 — поперечный уклон проезжей части, принимаемый со знаком минус при двухскатном поперечном профиле на кривой, при устройстве виража — со знаком плюс.

Допустимая скорость движения по переходной кривой:

$$v_{доп} = \sqrt[3]{47RLJ},$$

где L — длина переходной кривой, м; J — допустимая величина нарастания центробежного ускорения, принимаемая равной 0,5—0,8 м/с^3.

На участках кривых в плане с ограниченной видимостью допустимая скорость движения:

$$v_{доп} = \sqrt{\frac{127(\varphi_l^2 - i^2)}{K_э \varphi_l}(S - l_0)},$$

где φ_l — коэффициент продольного сцепления; i — продольный уклон; S — расстояние видимости, м; $K_э$ — коэффициент эксплуатационных условий торможения ($K_э = 1{,}2 \div 1{,}8$); l_0 — запас пути, $l_0 = 5 \div 10$ м.

При ограничении видимости на выпуклых переломах продольного профиля вследствие вписывания вертикальных кривых недостаточно большого радиуса допустимая скорость:

$$v_{доп} = \sqrt{\frac{127(\varphi_l + i_1)(\varphi_l + i_2)}{K_э \varphi_l}(\sqrt{9{,}6R} - l_0)},$$

где i_1, i_2 — уклоны сопрягающихся участков продольного профиля; R — радиус выпуклой вертикальной кривой, м.

Допустимая скорость движения по вогнутым вертикальным кривым:

$$v_{доп} = \sqrt{13aR_{вог}},$$

где a — допустимое центробежное ускорение ($a = 0{,}5 \div 0{,}7$ м/с^2); $R_{вог}$ — радиус вогнутой вертикальной кривой, м.

Длина участка, в пределах которого происходит уменьшение скорости движения от значения, рассчитанного по уравнению (32.14), до допустимого значения, рассчитывают по формуле

$$S_{доп} = \frac{(v_1^2 - v_2^2)K_э}{254(\gamma_1\varphi_1 + f \pm i)},$$

где v_1 — скорость на подходе к участку с ограниченной скоростью, км/ч; γ_1 — коэффициент использования тормозов (произведение $\gamma_1\varphi_1$ принимают равным 0,2 при неблагоприятном состоянии покрытия и 0,5 при нормальном состоянии); f — коэффициент сопротивления качению; i — продольный уклон; $K_э$ — коэффициент увеличения тормозного пути ($K_э = 2 \div 2{,}5$).

Скорости движения в пределах участка разгона после окончания участка с ограниченной скоростью рассчитывают по уравнению (32.14).

Среднюю скорость движения на рассматриваемом участке в целом определяют по формуле (32.10).

32.5. Определение степени загрязнения придорожной полосы соединениями свинца

Одним из компонентов, загрязняющих придорожную полосу в результате действия выхлопных газов автомобильных двигателей, работающих на этилированном бензине, являются соединения свинца, относящиеся к веществам повышенной токсичности. Санитарные нормы, действующие в России, допускают увеличение концентрации свинца в почве по сравнению с естественным фоновым содержанием не более чем на 20 мг/кг.

К основным факторам, определяющим степень загрязнения придорожной полосы свинцом, относят: количество автомобилей, проехавших по дороге за период ее эксплуатации, состав транспортного потока, режимы движения автомобилей, удельный расход топлива автомобилями, рабочие отметки земляного полотна, наличие придорожной растительности, климатические особенности, прежде всего направление и скорость господствующих ветров по отношению к направлению трассы дороги на рассматриваемом участке.

Для определения ширины расположенной рядом с дорогой полосы (зоны), в пределах которой за период T лет эксплуатации дороги концентрация свинца в почве становится выше допустимого значения, может быть использована формула, предложенная Р.Х. Измайловым:

$$B = B_0 K_а K_т K_н K_в, \qquad (32.15)$$

где B_0 — ширина зоны загрязнения в эталонных условиях, характеризующихся следующими параметрами: количество автомобилей, проехавших по дороге, 41 млн единиц; скорость ветра равна 0; высота насыпи 1 м; средний расход бензина одним автомобилем 25—27 кг/100 км (B_0 = 6,72 м); $K_а$ — коэффициент, учитывающий количество автомобилей с карбюраторными двигателями, проехавших по дороге за расчетный период T лет, определяемый согласно табл. 32.45 в зависимости от отношения проехавших автомобилей к эталонному количеству (41 млн автомобилей);

Таблица 32.45. **Коэффициенты $K_а$**

$N/N_{эт}$	$K_а$	$N/N_{эт}$	$K_а$	$N/N_{эт}$	$K_а$
0,25	0,12	1,0	1,0	1,75	2,36
0,5	0,34	1,25	1,41	2,0	2,9
0,75	0,64	1,5	1,86	3,0	5,42

$K_т$ — коэффициент, назначаемый по табл. 32.46 в зависимости от отношения удельного расхода бензина в расчетных q и эталонных $q_{эт}$ условиях;

Таблица 32.46. **Коэффициенты $K_т$**

$q/q_{эт}$	$K_т$	$q/q_{эт}$	$K_т$	$q/q_{эт}$	$K_т$
0,25	0,12	1,0	1,0	1,75	2,36
0,5	0,34	1,25	1,41	2,0	2,9
0,75	0,64	1,5	1,86	3,0	5,42

$K_н$ — коэффициент, учитывающий влияние высоты земляного полотна на распределение свинца в почвах придорожной полосы (табл. 32.47);

Таблица 32.47. **Коэффициенты $K_н$**

Высота насыпи, м	$K_н$	Высота насыпи, м	$K_н$	Высота насыпи, м	$K_н$
1	1,0	4	1,30	7	1,37
2	1,16	5	1,33	8—10	1,38
3	1,24	6	1,35		

$K_в$ — коэффициент, учитывающий влияние скорости и направления ветра на степень загрязнения придорожной полосы, определяемый по табл. 32.48 в зависимости от показателя W, учитывающего скорости и повторяемость ветров различных направлений, а также направление трассы дороги.

Таблица 32.48. **Коэффициенты $K_в$**

W	$K_в$	W	$K_в$	W	$K_в$
800	1,38	1400	2,16	2000	3.36
1000	1,59	1600	2,51	2200	3,78
1200	1,85	1800	2.91		

Значения показателя W следует определять отдельно для ветров, дующих слева и справа от дороги:

$$W = \sum_{i=1}^{4} v_i p_i \sin \varphi_i,$$

где v_i — средняя скорость ветров для i-го румба, м/с; p_i — повторяемость ветров i-го румба, %; φ_i — угол между i-м румбом и направлением трассы дороги.

Для расчета загрязнения с каждой стороны дороги выбирают по 4 румба. Например, если трасса имеет направление ЮВ 30°, то при расчете загрязнения слева от дороги необходимо учесть скорость и повторяемость ветров, дующих с юга, юго-запада, запада и северо-запада, при расчете загрязнения справа от дороги — ветров противоположных направлений.

Концентрация свинца (мг/кг) в почве придорожной полосы:

$$p = 10 + al^{-0,65},$$

где l — расстояние от бровки земляного полотна, м; a — коэффициент, учитывающий ширину зоны загрязнения; $a = 20B^{0,65}$; B — ширина зоны загрязнения, рассчитываемая по формуле (32.15).

Следует учитывать, что приведенные выше зависимости относятся к участкам дорог, вдоль которых отсутствуют густые придорожные насаждения, оказывающие влияние на скорость ветра и изменяющие распределение свинца на придорожной полосе. Исследования показывают, что при наличии таких насаждений основная часть соединений свинца задерживается в зоне между дорогой и зеленой полосой, а также в пределах полосы. В связи с этим, если вдоль дороги существуют или будут устроены зеленые полосы с числом рядов деревьев не

менее трех, удаленные от бровки земляного полотна на расстояние до 25 м, ширину зоны загрязнения можно принимать равной расстоянию от бровки земляного полотна до границы зеленой полосы.

32.6. Расчет загрязнения атмосферы выбросами автомобильного транспорта

Для оценки уровня загрязнения воздушной среды вредными веществами, содержащимися в отработавших газах двигателей автомобилей, используют методику и расчетные формулы, приведенные в Рекомендациях по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов Федерального дорожного департамента Министерства транспорта РФ. Расчет может быть произведен для следующих веществ: оксида углерода — CO, оксидов азота — NO_x, углеводородов — C_nH_m.

Мощность эмиссии отдельно каждого газообразного вредного вещества определяют по формуле

$$q = 0{,}0000206m\left[\left(\sum_i G_{ik} N_{ik} K_k\right) + \left(\sum_i G_{id} N_{id} K_d\right)\right],$$

где q — мощность эмиссии данного вида вещества на участке с конкретными дорожными условиями, г/(м · с); m — коэффициент, учитывающий среднюю скорость транспортного потока, принимают по табл. 32.49; G_{ik} — средний расход топлива для данного типа автомобилей с карбюраторными двигателями, л/км; G_{id} — средний расход топлива для данного типа автомобилей с дизельными двигателями, л/км; N_{ik} — интенсивность движения автомобилей с карбюраторными двигателями, авт/ч; N_{id} — интенсивность движения автомобилей с дизельными двигателями, авт/ч; K_k, K_d — коэффициенты, принимаемые для рассматриваемого вещества по табл. 32.50.

Таблица 32.49. **Значения коэффициента m**

Средняя скорость, км/ч	Значения m	Средняя скорость, км/ч	Значения m
20—30	0,65	60—70	0,10
30—40	0,55	70—80	0,13
40—50	0,34	80—90	0,18
50—60	0,15		

Таблица 32.50. **Значения коэффициентов K_k и K_d**

Вид вредных веществ	Тип двигателя	
	карбюраторный K_k	дизельный K_d
Оксид углерода	0,6	0,14
Углеводороды	0,12	0,037
Оксиды азота	0,06	0,015

Для расчета концентрации в воздухе вредных веществ используют формулу, в основу которой положена модель гауссового распределения примесей в атмосфере на небольших высотах:

$$C = \frac{2q}{(\sqrt{2\pi})\delta v \sin\varphi}, \qquad (32.16)$$

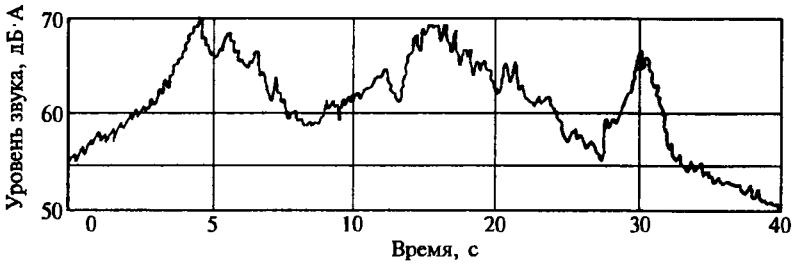
где C — концентрация данного вида вредного вещества в воздухе, г/м^3; q — мощность эмиссии данного вида вещества на участке с конкретными дорожными условиями, г/м · с; δ — стандартное отклонение гауссового рассеивания, принимаемое по табл. 32.51 в зависимости от удаления от кромки проезжей части; v — скорость ветра, м/с; φ — угол между направлениями ветра и дороги, град (при угле менее 30° в формулу (32.16) вместо синуса угла подставляют коэффициент, равный 0,5).

Таблица 32.51. **Значения стандартного гауссового отклонения при удалении от кромки проезжей части**

Уровень солнечной радиации (погодные условия)	Значения стандартного гауссового отклонения при удалении от кромки проезжей части, м								
	10	20	40	60	80	100	150	200	250
Сильная (солнечная погода)	2	4	6	8	10	13	19	24	30
Слабая (пасмурная погода)	1	2	4	6	8	10	14	18	22

32.7. Оценка загрязнения придорожной полосы транспортным шумом

Строительство автомобильных дорог оказывает весьма существенное влияние на загрязнение прилегающих территорий транспортным шумом. Установлено, что повышенный уровень шума является причиной серьезных заболеваний человека, повышенной утомляемости, снижения производительности труда. В настоящее время во



Р и с. 32.2. Изменение уровня транспортного шума на автомобильной дороге с течением времени

многих странах уделяется большое внимание защите жилых массивов от транспортного шума, включая строительство весьма дорогих шумозащитных сооружений.

Учитывая, что автомобильные дороги с идущими по ним транспортными потоками высокой плотности и интенсивности являются источниками повышенного уровня шума, при сравнении варианты проектных решений оценивают также и по этому важному критерию. Конкурирующие варианты трассы проектируемой автомобильной дороги могут занимать различное положение относительно существующей и перспективной жилой застройки, поэтому каждый из них может создавать разную степень звукового дискомфорта человека.

Санитарными нормами допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территориях жилой застройки, а также другими действующими нормативными документами нормируются допустимые уровни шума, измеряемые в децибелах (дБ · А).

Транспортные потоки на автомагистралях являются источниками переменного во времени уровня шума, достигающего наибольших значений при проезде тяжелых автомобилей (рис. 32.2).

Изменение уровней шума во времени прямо связано с составом, интенсивностью и скоростями движения, а также с дорожными условиями. Для оценки непостоянного во времени уровня шума используют величину эквивалентного уровня звука:

$$L_{\text{экв}} = 10 \lg \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{n} t_i 10^{0,1 L_i}, \qquad (32.17)$$

где T — период времени изменения уровней шума, с; t_i — интервал времени, в течение которого уровень шума находился в заданных пределах, с; L_i — средний уровень шума диапазона I, дБ · А; i — номер диапазона.

Достоверные результаты о распределении уровней транспортного шума во времени можно получить при продолжительности изменения 30 мин (1800 с) при снятии отсчетов с шумомера каждую секунду и с разбивкой уровней звука по 5 дБ · А в интервале от 18 до 102 дБ · А.

При проектировании автомобильных дорог показатели транспортного шума оценивают одним из следующих способов:

выявлением основных закономерностей изменения эквивалентного уровня транспортного шума на основе натурных измерений в условиях, аналогичных проектным;

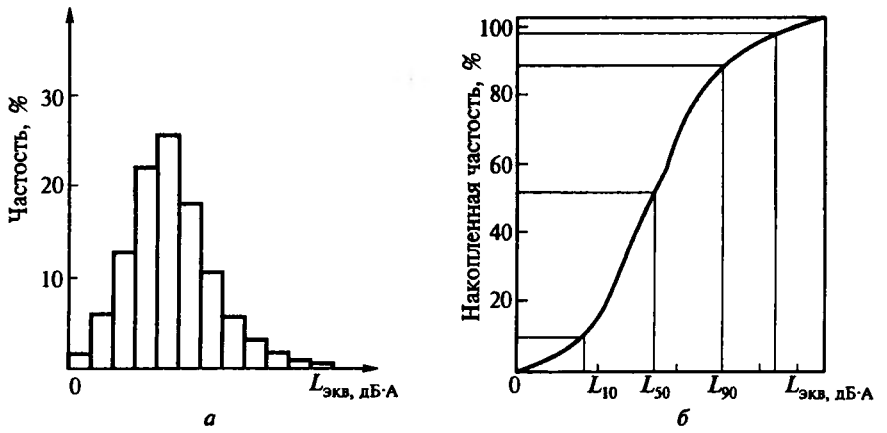
методом компьютерного имитационного моделирования транспортных потоков с использованием данных о максимальных уровнях звука, создаваемых автомобилями различных марок.

При проектировании автомобильных дорог наиболее перспективным является второй способ прогнозирования транспортного шума. Алгоритм модели формирования транспортного шума на автомобильных дорогах разработан проф. П.И. Поспеловым и реализован в виде практической компьютерной программы «NOISE».

Алгоритм имитационной модели формирования транспортного шума основан на использовании агрегативного математического моделирования случайного процесса. Программа «NOISE» дает возможность решения следующих задач:

расчет эквивалентного уровня транспортного шума в заданной точке придорожной полосы;

оценка изменения эквивалентного уровня транспортного шума по мере роста интенсивности движения;



Р и с. 32.3. Кривая распределения (*а*) и кумулятивная кривая (*б*) уровней транспортного шума

оценка шумового фона L_{10}, среднего уровня L_{50} и максимальных значений L_{90} и L_{99} (рис. 32.3);

оценка эффективности мероприятий по организации движения, направленных на снижение транспортного шума;

оценка эффективности и оптимизации средств защиты от шума.

Исходными данными для имитационного компьютерного моделирования процесса формирования транспортного шума являются:

состав транспортного потока;

интенсивность движения по каждой полосе;

средняя скорость движения каждой модели автомобиля в транспортном потоке;

характеристики внешнего шума автомобилей;

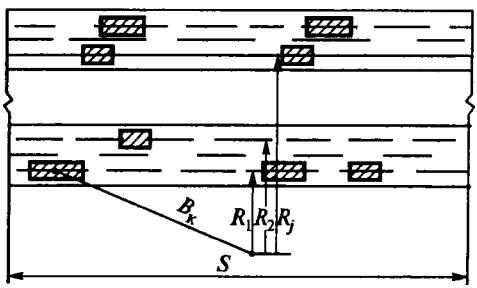
функции распределения интервалов между автомобилями в транспортном потоке;

параметры геометрических элементов исследуемого участка автомагистрали. Распределение уровня шума от одиночного автомобиля (рис. 32.4) описывается формулой

$$L_к = L_{ок} - 20K_п \lg \frac{B_к}{7{,}5},$$

где $L_к$ — уровень звука от $к$-го автомобиля в точке S, находящейся на расстоянии $B_к$, дБ · А; $L_{ок}$ — расчетное значение уровня звука автомобиля данной марки на расстоянии 7,5 м от оси движения, дБ · А; $K_п$ — коэффициент, учитывающий поглощение звука поверхностным покровом.

Учитывая, что в каждый момент времени на расчетном участке автомагистрали находится n автомобилей, суммарный уровень транспортного шума L от n источников определяют по формуле энергетического сложения:



Р и с. 32.4. Схема к расчету уровня шума от одиночного автомобиля

$$L = 10 \lg (10^{L_1} + 10^{L_2} + ... + 10^{L_k} + ... + 10^{L_n}),$$

где L — расчетный уровень звука в расчетной точке пространства S, дБ · А.

Чтобы математическая модель имитировала процесс измерения шума в натуре в течение 30 мин с интервалами замеров 1 с, необходимо выполнить 1800 расчетов уровней шума, каждый раз для этого фиксируя состояние транспортного потока. При этом расчет уровней транспортного шума начинают по истечении на модели времени «разогрева» TR, принимаемое равным времени достижения самым медленным автомобилем конца расчетного участка автомагистрали.

В ходе проектирования для каждого варианта в расчетных точках прилегающего пространства определяют с использованием имитационной модели уровни эквивалентного шума с учетом и без учета средств защиты, отдавая предпочтение решению наиболее экономичному, с одной стороны, и обеспечивающему уровни транспортного шума не выше допустимых санитарных норм, с другой.

32.8. Влияние дорожных условий на безопасность движения

Безопасность движения по дорогам может быть достигнута только при условии одновременного проведения комплекса мероприятий:

совершенствования конструкции автомобилей и других транспортных средств;

содержания транспортных средств в надлежащем техническом состоянии;

строгого соблюдения водителями и пешеходами правил дорожного движения;

обеспечения планом и продольным профилем дорог возможности движения автомобилей с высокими скоростями;

поддержания дорожно-эксплуатационной службой транспортных качеств дорог путем обеспечения необходимой прочности, ровности, коэффициента сцепления покрытий, необходимых расстояний видимости и т.д.;

надлежащей информации водителей о дорожных условиях и правильном режиме движения путем установки дорожных знаков, издания маршрутных дорожных схем и карт, использования сети местного телевидения и радиовещания.

В статистике дорожно-транспортных происшествий обычно учитывают количество происшествий за определенный период времени. Для сравнения относительной опасности маршрутов или отдельных

участков дороги используют *коэффициент относительной аварийности* — число дорожно-транспортных происшествий на 1 млн авт/км пробега для длинных участков дороги или на 1 млн прошедших автомобилей для коротких участков дороги (мост, пересечение, кривая малого радиуса и т.д.).

Официальная статистика относит к числу дорожно-транспортных происшествий, вызванных неудовлетворительными дорожными условиями, сравнительно небольшой процент, полагая, что подавляющее число происшествий возникает в результате неправильных действий водителей. Более глубокий анализ обстоятельств возникновения дорожно-транспортных происшествий показывает, что во многих из них проявлялось сопутствующее влияние дороги, осложнившей управление автомобилем или предопределившей ошибки водителей.

Дорожно-транспортные происшествия чаще всего возникают в местах, где водители сталкиваются с внезапным осложнением дорожных условий, вызывающим необходимость резкого изменения сложившегося режима движения (снижения скорости). В этих местах в связи с неблагоприятными сочетаниями элементов плана и профиля, скользким дорожным покрытием, ухудшением его ровности, возможностью внезапного появления пешеходов и т.д. допустима лишь ограниченная скорость. В то же время если на предшествующих участках дороги причины для резкого ограничения скорости движения отсутствуют, то утомленные водители, имеющие повышенную продолжительность реакции на опасность, а также неопытные или недисциплинированные водители продолжают ехать с повышенной скоростью, не считаясь с особенностями расположенных впереди участков дороги, неожиданно сталкиваясь с необходимостью резкого снижения скорости, могут попасть в аварийную ситуацию.

Основными показателями безопасности дорожного движения является отсутствие на дороге мест, на которых происходит резкое изменение скорости движения транспортного потока на относительно коротком участке пути, а также малый перепад скоростей на таких участках.

Исследования психофизиологических процессов, возникающих в организме водителей, показали, что проезд трудных участков дороги всегда сопровождается резким повышением их эмоциональной напряженности. Устранение опасных и неудобных для движения участков дороги обеспечивает одновременно и существенное улучшение условий труда водителей.

Несмотря на то, что на опасных участках в аварии попадают только единичные автомобили, весь транспортный поток снижает ско-

рость движения, что уменьшает эффективность использования автомобильного транспорта. Поэтому мероприятия по повышению безопасности движения обеспечивают одновременно снижение стоимости автомобильных перевозок, улучшение условий труда водителей и повышение комфортабельности пассажирских сообщений.

Наиболее опасными на дорогах являются:

участки резкого уменьшения на относительно коротких отрезках дороги допускаемых скоростей, обеспечиваемых элементами плана и продольного профиля, преимущественно в связи с недостаточной видимостью и малыми радиусами кривых или отсутствием виражей;

участки резкого несоответствия одного из элементов дороги скоростям движения, обеспечиваемым другими ее элементами (скользкое покрытие на кривой большого радиуса, узкий малый мост на длинном горизонтальном прямом участке, кривая малого радиуса в конце затяжного спуска и т.д.);

участки, где план и продольный профиль дороги создают возможность значительного увеличения скоростей, которые могут превысить безопасные при данной ровности и шероховатости покрытия (затяжные спуски на прямых участках);

участки, где у водителей может возникнуть неправильное представление о дальнейшем направлении дороги за пределами фактической видимости;

места слияния или пересечения транспортных потоков на перекрестках, съездах и примыканиях, переходно-скоростных полосах;

места, где возможно неожиданное появление на дороге пешеходов или въезд транспортных средств с придорожной полосы;

участки, где однообразие придорожного ландшафта, плана и профиля дороги способствует потере водителями легковых автомобилей контроля за скоростью или где такое однообразие приводит к утомлению и сонливости водителей грузовых автомобилей.

Для выявления участков дороги, характеризующихся неудачными сочетаниями элементов, создающими опасность дорожно-транспортных происшествий, а также для оценки относительной опасности маршрута применяют методы коэффициентов относительной аварийности и коэффициентов безопасности.

32.9. Оценка потенциальной опасности участков дороги методом коэффициентов относительной аварийности

Метод коэффициентов относительной аварийности, разработанный проф. В.Ф. Бабковым, основан на обобщении данных статистики дорожно-транспортных происшествий. Он особенно удобен для

анализа участков дорог, находящихся в эксплуатации и подлежащих реконструкции.

Степень опасности участков дороги характеризуют *итоговым коэффициентом аварийности,* который представляет собой произведение частных коэффициентов, учитывающих влияние отдельных элементов плана и профиля:

$$K_{\text{авар}} = \prod_{i=1}^{18} K_i,$$

где K_1, K_2, K_3, ..., K_{18} — частные коэффициенты аварийности, представляющие собой отношения количества происшествий при том или ином значении элемента плана и профиля к количеству происшествий на эталонном горизонтальном прямом участке дороги, имеющем проезжую часть шириной 7,5 м и укрепленные широкие обочины.

Частные коэффициенты аварийности определяют по табл. 32.52.

Таблица 32.52. **Частные коэффициенты аварийности**

Наименования показателей	Величина показателей									
Интенсивность движения, тыс. авт./сут	0,5	1	3	5	7	9	11	13	15	20
K_1 (дороги с двумя полосами движения)	1,4	1,1	0,75	1,0	1,3	1,7	1,8	1,5	1,0	0,6
K_1 (дороги с тремя полосами движения, с разметкой на три полосы)	—	—	0,65	0,75	0,9	0,96	1,25	1,5	1,3	1,0
K_1 (то же, с разметкой на две полосы движения)	—	—	0,94	1,18	1,28	1,37	1,51	1,63	1,45	1,25
Интенсивность движения, тыс. авт./сут	11—14	14—17	17—20	20—23	23—26	26—29	29—30			
K_1 (дороги с четырьмя полосами движения и более)	1,0	1,1	1,3	1,7	2,2	2,8	3,4			
Ширина проезжей части, м	4,5	5,5	6	7	7,5	9	14—15	14—15*		
K_2 при укрепленных обочинах	2,2	1,5	1,35	1,05	1,0	0,8	0,6	0,5		
K_2 при неукрепленных обочинах	4,0	2,75	2,5	1,75	1,5	1,0	0,8	0,7		

Продолжение табл. 32.52

Ширина обочин, м	0,5	1,5	2,0	3,0	4,0
K_3 (дороги с двумя полосами движения)	2,2	1,4	1,2	1,0	0,8
K_3 (дороги с тремя и четырьмя полосами движения)	1,37	0,73	0,65	0,49	0,35

Продольный уклон, ‰	20	30	50	80	90	100	120
K_4	1,0	1,25	2,5	3,0	2,1	2,9	2,5

Радиус кривых в плане, м	20	40	50	100	150	200—300	400—600	1000—2000	> 2000
K_5 (равнинные и предгорные участки)	—	—	10	5,4	4,0	2,25	1,6	1,25	1,0
K_5 (горно-долинные участки)	2,7	2,2	1,9	1,3	1,0	—	—	—	—
K_5 (перевальные участки)	3,0	2,5	2,1	1,6	1,0	—	—	—	—

Видимость проезжей части, м	30	50	100	150	200	250	350	400	500
K_6 (в плане): равнинные и предгорные участки	—	3,6	3,0	2,7	2,25	2,0	1,45	1,2	1,0
горно-долинные участки	2,0	1,5	1,2	1,0	—	—	—	—	—
перевальные участки	2,0	1,5	1,2	1,0	—	—	—	—	—
K_6 (в продольном профиле): равнинные и предгорные участки	—	5,0	4,0	3,4	2,5	2,4	2,0	1,4	1,0
горно-долинные участки	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	—	—	—	—
перевальные участки	2,2	1,8	1,5	1,3	1,0	—	—	—	—

Ширина проезжей части моста по отношению к проезжей части дороги	Меньше на 1 м	Равна	Больше на 1 м	Больше на 2 м	Равна ширине земляного полотна
K_7	6,0	3,0	2,0	1,5	1,0

Продолжение табл. 32.52

Протяженность прямого участка, км	≤ 3	5	10	15	20	≥ 25
K_8	1,0	1,1	1,4	1,6	1,9	2,0

Число полос движения	2	3 (без разметки	3 (с разметкой)	4 (без разделительной полосы)	4 (с разделительной полосой)
K_9	1,0	1,5	0,9	0,8	0,65

Ширина разделительной полосы, м	1	2	3	5	10	15
K_{10}	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,4

Тип пересечения	В разных уровнях	Кольцевые	В одном уровне при интенсивности двнжения по пересекаемой дороге, % от суммарной на двух дорогах		
			≤ 10	10—20	≥ 20
K_{11}	0,35	0,70	1,5	3,0	4,0

Пересечение в одном уровне при интенсивности движения по основной дороге, тыс. авт./сут	< 1,6	1,6—3,5	3,5—5	≥ 5
K_{12}	1,5	2,0	3,0	4,0

Видимость пересечения в одном уровне с основной дорогой, м	≥ 60	60—40	40—30	30—20	≤ 20
K_{13}	1,0	1,1	1,65	2,5	5,0

Расстояние от кромкн проезжей части до застройки или земельных насаждений, м	≥ 50 (застройка с одной стороны дороги)	50—20 (застройка с одной стороны, есть тротуар)	50—20 (застройка с двух сторон, есть тротуар и полоса местного движения)	20—10	≤ 10 (есть тротуар)	≤ 10 (есть полоса местного движения)
K_{14}	1,0	1,25	2,5	5,0	7,5	10

Протяженность малого населенного пункта, через который проходит дорога, км	0,5	1	2	3	5	6
K_{15}	1,0	1,2	1,7	2,2	2,7	3,0

Протяженность участков подходов к населенным пунктам, км	≤ 0,2	0,2—0,6	0,6—1,0	> 1
K_{16}	2,0	1,5	1,2	1

Окончание табл. 32.52

Расстояние от кромки проезжей части до сооружения, столба или дерева вблизи дороги, м	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	≥ 5
K_{17}	2,0	1,75	1,4	1,2	1,1	1,0
То же, до оврага глубиной более 5 м, м	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	≥ 5
K_{17} (без ограждения)	4,3	3,7	3,2	2,75	2,0	1,0
K_{17} (при наличии ограждения)	2,2	2,0	1,85	1,75	1,4	1,0

Состояние покрытия	Скользкое, грязное	Скользкое	Сухое, чистое	Шероховатое	Очень шероховатое
Коэффициент сцепления	0,2—0,3	0,4	0,6	0,7	0,75
K_{18}	2,5	2,0	1,3	1,0	0,75

*При наличии разделительной полосы.

Приведенные значения частных коэффициентов получены путем обобщения литературных данных и материалов статистики дорожно-транспортных происшествий в России и за рубежом. По мере накопления новых опытных данных значения коэффициентов периодически подвергаются уточнению. Для характерных природно-географических районов были предложены дополнительные коэффициенты, учитывающие, например, наличие проложенных параллельно дороге каналов ирригационной сети, расположенных на земляном полотне аллейных насаждений, извилистых горных трасс и т.д.

В проектах новых дорог не допускают участки, для которых итоговый коэффициент аварийности превышает 10—15. В проектах реконструкции дорог в условиях пересеченного рельефа местности предусматривают перестройку участков дорог с коэффициентами аварийности более 25—40 в зависимости от местных условий. Организации дорожно-эксплуатационной службы предусматривают:

нанесение разметки проезжей части, запрещающей обгон с выездом на полосу встречного движения, при коэффициенте аварийности более 10—20;

запрещение обгона и ограничение скорости движения при коэффициентах аварийности, превышающих 20—40.

Поскольку влияние уклона проезжей части на кривых и наличие виражей на значение коэффициента аварийности не учитывают, при оценке безопасности движения исходят из эквивалентных радиусов кривых, имеющих то же покрытие, что и рассматриваемые кривые, но с уклоном виража, равным уклону проезжей части на прямых участках.

Эквивалентные радиусы:

$$R_{экв} = \frac{R(\varphi_{кр} \pm i_{кр})}{(\varphi_{пр} + i_{пр})},$$

где R — радиус кривой, м; φ — коэффициент поперечной силы при расчетах на устойчивость, который принимают равным коэффициенту поперечного сцепления; i — поперечный уклон. Индекс «кр» относится к рассматриваемой кривой, а индекс «пр» — к характеристике проезжей части на прилегающем участке.

Частные коэффициенты аварийности устанавливают согласно табл. 32.52 на основании параметров плана и профиля проектируемой дороги или линейного графика эксплуатируемого участка дороги.

При построении графика итоговых коэффициентов аварийности строят план и продольный профиль дороги с выделением на них всех элементов, для которых должны быть определены частные коэффициенты аварийности (продольные уклоны, вертикальные кривые, кривые в плане, мосты, населенные пункты, пересекающиеся дороги и пешеходные переходы). В специальной графе отмечают места с недостаточной видимостью и ее фактические значения. Масштабы плана и продольного профиля принимают в зависимости от сложности ситуации.

Под планом и профилем выделяют графы для учитываемых показателей. В отдельную графу выписывают интенсивности движения на разных участках. Значения интенсивности берут из проектов новых дорог или по данным учетов, проводимых дорожными организациями или изыскательскими подразделениями, выполняющими обследование дороги для составления проектов реконструкции.

План и профиль дороги анализируют по каждому из показателей, выделяя однородные участки, для каждого из которых определяют коэффициент аварийности. Значения коэффициентов записывают в выделенные для каждого из них графы. Границы каждого из выделенных участков сносят в специальную графу итоговых коэффициентов

аварийности, выделяя, таким образом, границы участков, однородных по степени безопасности. Влияние каждого опасного места распространяется и на прилегающие к нему участки, для которых принимают те же значения коэффициентов. Размеры зон влияния приведены в табл. 32.53. Если на каком-либо участке проявляется влияние нескольких факторов, принимают значение только наибольшего из коэффициентов.

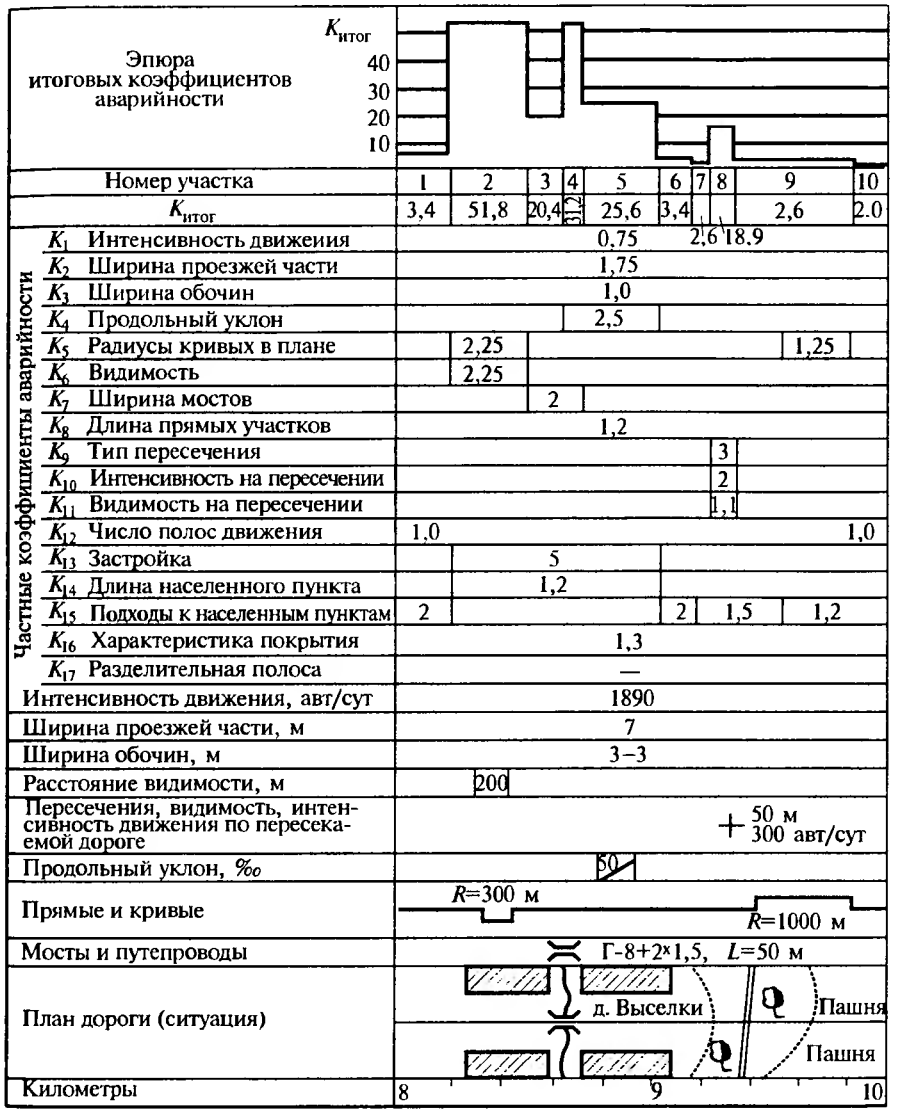
Таблица 32.53. **Зоны влияния опасных участков**

Элементы дороги	Зона влияния, м
Подъемы и спуски	100 м от вершины подъема, 150 м от подошвы спуска
Пересечения в одном уровне	50
Кривые в плане с обеспеченной видимостью при радиусах более 50 м	50
Кривые в плане с необеспеченной видимостью при радиусах менее 400 м	100
Мосты и путепроводы	75
Подходы к тоннелям	150
Препятствия и глубокие обрывы вблизи от дороги	75

Итоговый коэффициент аварийности определяют, последовательно перемножая частные коэффициенты. Для наглядности в специальной графе линейного графика строят эпюру итоговых коэффициентов, пики которой характеризуют участки, наиболее опасные в отношении возможности дорожно-транспортных происшествий (рис. 32.5). На графике отмечают по материалам учета органами ГИБДД места дорожно-транспортных происшествий за несколько лет.

Значения частных коэффициентов аварийности, приведенные выше, относятся к расчетному состоянию дорожных покрытий при расчетах элементов трассы — чистому шероховатому, слегка увлажненному покрытию.

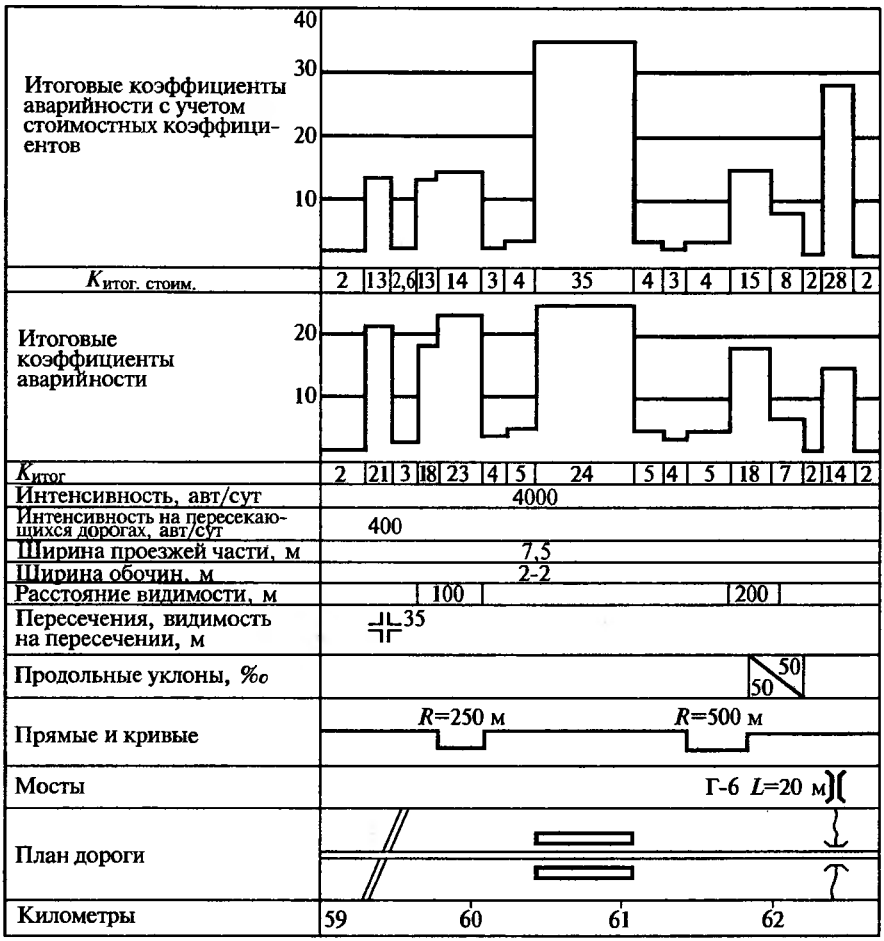
В периоды весеннего и осеннего переувлажнения и зимой транспортно-эксплуатационные характеристики дорог существенно изменяются. В этих случаях для оценки изменения условий обеспечения безопасности движения в разное время года используют *сезонные коэффициенты аварийности*. Для оценки влияния износа покрытия и потери ровности в процессе эксплуатации вводят *коэффициенты влияния ровности*. Значения всех указанных выше коэффициентов



Р и с. 32.5. Пример графика итоговых коэффициентов относительной аварийности

приведены в справочной энциклопедии «Ремонт и содержание автомобильных дорог».

При проведении мероприятий по повышению безопасности движения важно провести в первую очередь реконструкцию наиболее



Р и с. 32.6. Уточненный график итоговых коэффициентов относительной аварийности с введением поправочных коэффициентов тяжести дорожно-транспортных происшествий

опасных участков дороги. При этом для участков с равными значениями итогового коэффициента аварийности необходимо дополнительно учитывать тяжесть дорожно-транспортных происшествий на них.

Для этого строят график коэффициентов аварийности с введением дополнительных *коэффициентов тяжести происшествий* (рис. 32.6), значения которых представлены в табл. 32.54. Это дает возможность выявить наиболее опасные участки.

Таблица 32.54. **Коэффициенты тяжести ДТП**

Учитываемые факторы	Значения m_i для дорог	
	в равнинной местности	горных
Ширина проезжей части, м:		
4,5	0,7	0,7
6	1,2	1,2
7—7,5	1,0	1,0
9	1,4	1,4
10,5	1,2	1,2
14	1,0	—
без разделительной полосы		
15 и более	0,9	—
с разделительной полосой		
Ширина обочины, м:		
< 2,5		
> 2,5		
Продольный уклон, ‰:		
< 30	1,0	1,0
>30	1,25	1,4
Радиусы кривых в плане, м:		
< 350	0,9	0,8
> 350	1,0	1,0
Совпадение кривых малого радиуса в плане и профиле	—	1,05
Видимость в плане и профиле, м:		
< 250	0,7	0,7
> 250	1,0	1,0
Мосты и путепроводы	2,1	1,3
Нерегулируемые пересечения в одном уровне	0,8	0,6
Пересечения в разных уровнях	0,95	—
Населенные пункты	1,6	1,0
Число полос движения:		
1	0,9	0,9
2	1,0	1,0
3	1,3	1,3
4 и более	1,0	1,0
Наличие деревьев, опор путепроводов, столбов на обочинах и разделительной полосе	1,5	0,9
Отсутствие ограждений в необходимых местах	1,4	1,8
Железнодорожные переезды в одном уровне	0,6	0,6

Для однородного по дорожным условиям участка

$$K_{\text{итог. стоим.}} = K_{\text{итог}} M_{\text{т}},$$

где $M_{\text{т}} = m_1 m_2 m_3 \ldots$ — коэффициент относительной тяжести дорожно-транспортных происшествий, равный произведению дополнительных стоимостных коэффициентов происшествий, определяемых как отношение потерь при осложненных дорожных условиях по сравнению со средними потерями народного хозяйства от одного происшествия на горизонтальном прямом участке с ровным сухим покрытием шириной 7,5 м и с укрепленными обочинами.

32.10. Выявление опасных мест методом коэффициентов безопасности

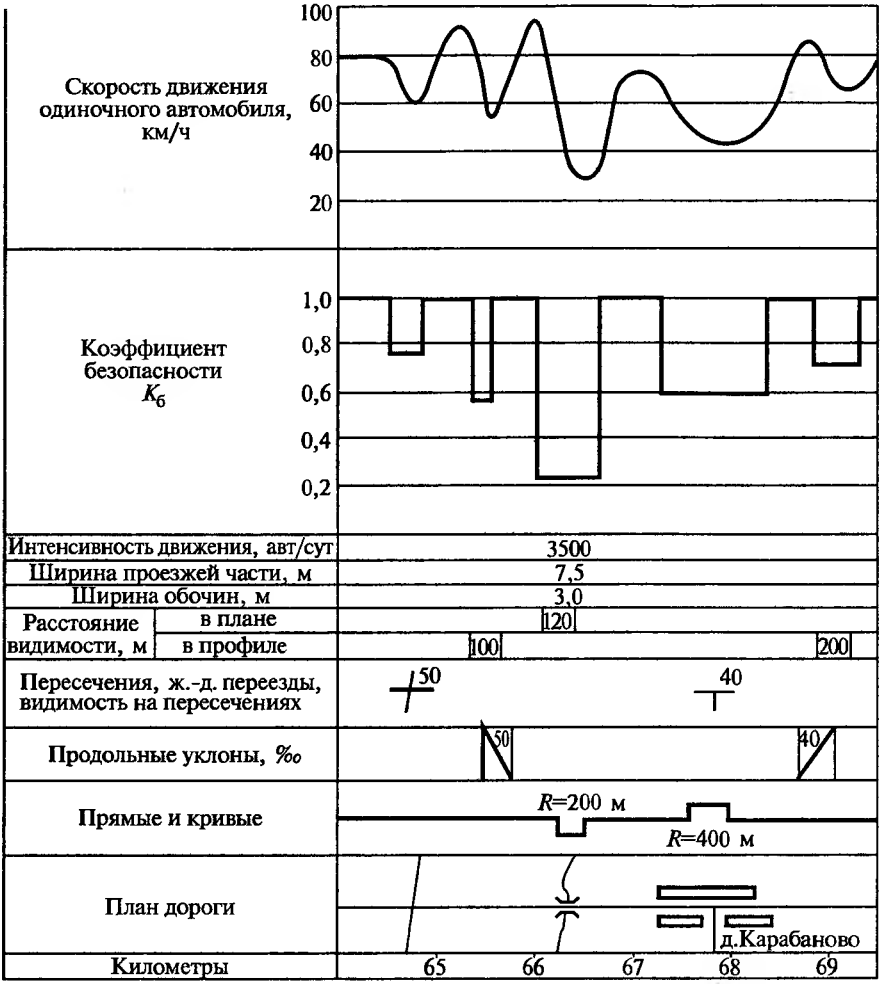
Коэффициентом безопасности называют отношение скорости движения, обеспечиваемой тем или иным участком дороги, к максимальной скорости, которая может быть развита на предшествующем ему участке. Чем меньше значение коэффициента безопасности, тем более вероятны дорожно-транспортные происшествия.

Скорости, обеспечиваемые тем или иным участком дороги в продольном профиле, определяют компьютерным расчетом для легкового автомобиля, принятого в качестве расчетного (обычно ГАЗ-31), с использованием дифференциального уравнения тягового баланса автомобиля. В методику расчета скоростей вводят поправки, учитывающие влияние возможной недисциплинированности и недостаточной опытности отдельных водителей.

Для каждого участка дороги строят графики для обоих направлений движения. Если условия движения по дороге на разных направлениях резко различны, график можно строить только для того направления, на котором может быть развита наибольшая скорость.

На спусках скорость рассчитывают по динамической характеристике из условия движения автомобиля под уклон с работающим двигателем. Место, на котором развивается конструктивная скорость — предельная допустимая по условиям управляемости автомобиля на дороге с данным типом покрытия, принимают как участок перепада скорости. Условно считают, что здесь скорость должна быть снижена до средней скорости транспортного потока (60 км/ч).

При расчетах скорости не принимают во внимание местные ее ограничения, накладываемые требованиями правил дорожного движения (ограничения скорости в населенных пунктах, на железнодорожных переездах, на пересечениях с другими автомобильными дорогами, на кривых малых радиусов, в зонах действия дорожных знаков



Р и с. 32.7. Линейный график скоростей движения одиночных автомобилей и коэффициентов безопасности

и т.д.). Не учитывают участки торможения для плавного изменения скорости при въезде на кривые малых радиусов, узкие мосты и т.д. В конце каждого участка определяют максимальную скорость, которая на нем может быть развита, без учета возможности движения с ней на последующих участках.

На основе полученных данных строят график изменения коэффициента безопасности по длине дороги (рис. 32.7).

По степени опасности участки дороги оценивают исходя из значения коэффициентов безопасности:

Коэффициенты безопасности	≤ 0,4	0,4—0,6	0,6—0,8	≥ 0,8
Характеристика условий движения на участке.	Очень опасные	Опасные	Малоопасные	Практически неопасные

В проектах новых дорог недопустимы участки со значениями коэффициента безопасности менее 0,8. При реконструкции и капитальном ремонте перепроектируют участки автомобильных дорог со значениями коэффициентов безопасности менее 0,6.

При разработке проектов реконструкции отдельных участков дорог графики скоростей движения могут быть построены по данным непосредственных наблюдений за скоростями автомобилей. При этом возможны две схемы сбора необходимых данных.

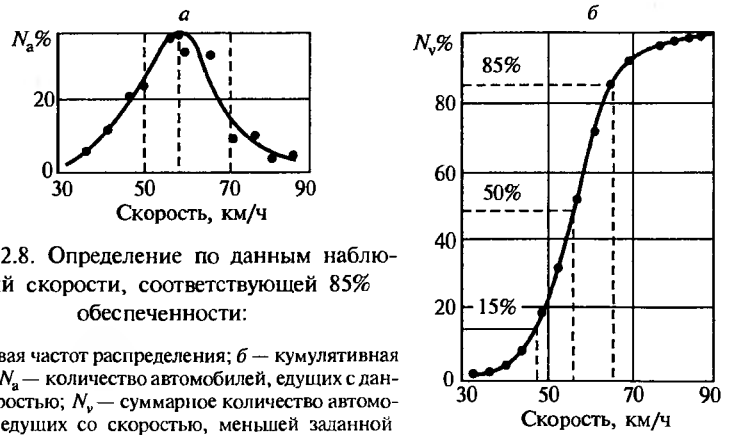
В первом случае скорости движения измеряют на характерных участках, выделенных путем анализа дорожных условий. Скорости определяют либо непосредственно радиолокационными измерителями, выпускаемыми промышленностью по заказу ГИБДД, либо секундомерами по продолжительности проезда автомобилями участка известной длины. Необходимое число замеров зависит от интенсивности движения и не должно быть менее указанного в табл. 32.55.

Таблица 32.55. **Необходимое количество замеров скоростей движения**

Интенсивность движения, авт/ч	Количество замеров	Интенсивность движения, авт/ч	Количество замеров
50	150	300	60
100	100	500	50
200	80	600	30—40

За характерную для участка принимают скорость, соответствующую 85% обеспеченности (скорость автомобиля, медленнее которого движется 85% общего количества автомобилей). Эту скорость определяют с использованием кумулятивной кривой (рис. 32.8).

При второй схеме натурных измерений организуют контрольные проезды по маршруту ходовой лаборатории, фиксируя скорости движения режимомерами или регулярно записывая показания спидометра.



Р и с. 32.8. Определение по данным наблюдений скорости, соответствующей 85% обеспеченности:

а — кривая частот распределения; *б* — кумулятивная кривая; N_a — количество автомобилей, едущих с данной скоростью; N_v — суммарное количество автомобилей, едущих со скоростью, меньшей заданной

При проезде маршрута одним водителем, несмотря на предписываемый ему режим свободного движения, на характеристики разных участков дороги в той или иной степени оказывают влияние опытность и индивидуальные особенности вождения конкретного водителя. Для большей объективности организуют проезды ходовой лаборатории с несколькими водителями и определяют коэффициенты безопасности с учетом скоростей 85% обеспеченности.

Вопросы оценки безопасности движения в наиболее опасных местах автомобильных дорог — на пересечениях в одном и разных уровнях — рассмотрены в гл. 20 (см. кн. 1).

Глава 33

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

33.1. Особенности современной технологии производства проектно-изыскательских работ

Проектирование инженерных сооружений регламентируется соответствующими нормативными документами: общими — для инженерного строительства; частными — для транспортного строительства.

Основным документом, регулирующим правовые и финансовые отношения, взаимные обязательства и ответственность сторон, является договор (контракт), заключаемый заказчиком с привлекаемыми им для разработки проектной документации проектно-изыскательскими, строительными и другими организациями. Заказчик на договорной основе может делегировать соответствующие права юридиче-

ским или физическим лицам (имеющим право на такого рода деятельность), возложив на них ответственность за разработку и реализацию проекта. Неотъемлемой частью договора (контракта) на проектирование нового строительства, реконструкции или капитального ремонта является задание, включающее в себя следующее:

1. Основание для проектирования.
2. Исходные данные для проектирования.
3. Необходимость выделения пусковых комплексов.
4. Необходимость выполнения изысканий.
5. Технико-экономические показатели проектируемого объекта:
   5.1. Категория дороги.
   5.2. Протяженность участка дороги (уточняется проектом).
   5.3. Начальный пункт.
   5.4. Конечный пункт.
   5.5. Расчетная скорость движения.
   5.6. Ширина земляного полотна.
   5.7. Ширина проезжей части.
   5.8. Тип конструкции дорожной одежды, вид покрытия, расчетная нагрузка.
   5.9. Укрепление обочин.
   5.10. Габариты мостов и путепроводов. Расчетные нагрузки.
   5.11. Ориентировочный объем инвестиций (уточняется проектом).
6. Здания и сооружения дорожной и автотранспортной служб.
7. Год начала строительства.
8. Метод определения стоимости строительства.
9. Особые условия проектирования и строительства.
10. Источники финансирования.
11. Вид договора подряда.
12. Вид надзора за производством работ.
13. Срок окончания разработки проекта.
14. Количество экземпляров, предоставляемых заказчику.

Задание подписывается представителем заказчика и согласовывается генеральным проектировщиком. Задание утверждается представителем Минтранса РФ или Федерального дорожного агентства (Росавтодор).

Порядок разработки, согласования, утверждения и состав проектной документации на строительство инженерных сооружений изложены в СНиП 11—0195[1].

---

[1] Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. СНиП 11.01—95. М.: Минстрой России, 1995.

Проекты на строительство инженерных объектов независимо от источников финансирования, форм собственности и принадлежности подлежат государственной экспертизе в соответствии с порядком, установленным в Российской Федерации.

В связи с произошедшим в стране закономерным переходом на технологию и методы системного автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР-АД) основными принципами современной технологии производства проектно-изыскательских работ являются:

комплексность выполнения проектно-изыскательских работ с широким использованием современной компьютерной техники и средств автоматизации изысканий и проектирования в трехмерном пространстве на обоснованной полосе варьирования трассы, с применением аэрокосмических методов, лазерных, электронных приборов с автоматической регистрацией результатов измерений и геофизических методов инженерно-геологической разведки с получением исходной информации для проектирования в виде крупномасштабных топографических планов, цифровых (ЦММ) и математических (МММ) моделей местности;

автоматизированная подготовка основной исходной информации для проектирования с использованием ЦММ и МММ (получение продольных и поперечных профилей земли по всем многочисленным вариантам и подвариантам трассы, инженерно-геологических продольных и поперечных разрезов, гидрометеорологической и экономической информации);

автоматизация всех основных этапов проектирования автомобильных дорог (план, продольный профиль, земляное полотно, дорожные одежды, водопропускные и искусственные сооружения, система поверхностного и подземного дорожного водоотвода, транспортные развязки, оценка проектных решений);

системное использование широкого парка вычислительной техники и средств автоматизации как единого технического комплекса автоматизированного проектирования;

четкая этапность выполнения всех основных проектных процедур (продольный профиль может быть запроектирован лишь после подготовки ЦММ и МММ и решения плана трассы по данному варианту, оценку проектного решения выполняют в полном объеме после разработки проекта варианта, корректировка варианта — после оценки проектного решения и т.д.);

взаимодействие проектировщиков с компьютером в ходе выработки проектных решений в режиме диалога;

использование методов математического моделирования (моделирования рельефа и геологического строения местности, моделирование полотна автомобильной дороги в трехмерном пространстве, моделирование транспортных потоков, моделирование работы малых водопропускных сооружений, мостовых переходов и т.д.);

использование математических методов оптимизации проектных решений (проектирование оптимальной линии продольного профиля, дорожных одежд, водопропускных сооружений и т.д.);

многовариантная проработка тех элементов автомобильных дорог, для которых пока не созданы целевые функционалы и методы аналитического поиска их экстремумов. Это прежде всего касается плана трассы автомобильных дорог;

всесторонняя, глубокая оценка полученных проектных решений по многим критериям (объемы строительных работ, строительная стоимость, транспортно-эксплуатационные расходы, приведенные затраты, стоимость отчуждения земель, затраты на зимнее содержание дороги, обеспечение видимости, обеспечение зрительной плавности и ясности трассы и гармоничного вписывания ее в окружающий ландшафт, время сообщения, уровни удобства и безопасность движения, пропускная способность, степень загрязнения окружающей среды и т.д.);

полная автоматизация процесса подготовки чертежей, оформления и размножения проектно-сметной документации.

33.2. Стадии проектирования

Проектирование автомобильных дорог и сооружений на них осуществляют в несколько этапов:

разработка предпроектной документации: технико-экономического обоснования строительства (ТЭО) или обоснования инвестиций (ОИ);

разработка инженерного проекта (ИП);

разработка рабочей документации (РД).

Принятая в РФ двухстадийная схема создания проектов (ИП и РД) является основной. Однако для объектов массового и повторного применения и для относительно несложных объектов на основе утвержденных ТЭО или ОИ иногда ограничиваются одной стадией — рабочим проектом (РП).

Предпроектное проектирование предполагает на основе анализа многих вариантов осуществить выбор наиболее рационального варианта трассы дороги (или направления) на основе учета природ-

но-климатических и инженерно-геологических факторов, экономических расчетов и технологических возможностей.

Разработку предпроектной документации на строительство осуществляют в три этапа:

определение цели инвестирования;

разработка ходатайства о намерениях;

разработка технико-экономического обоснования (ТЭО) или обоснования инвестиций (ОИ) в строительство объекта.

Основными целями и задачами *инженерного проекта* (ИП) являются:

обоснование рациональных технических решений для выделенных в ТЭО или ОИ участков строительства дороги (дорог), подлежащих строительству, реконструкции или капитальному ремонту;

определение технических решений и объемов строительных работ;

подготовка тендерной документации для проведения конкурса подряда;

разработка материалов и подготовка документов для отвода земель и компенсации по сносу существующих сооружений и насаждений.

Основными целями и задачами разработки *рабочей документации* (РД) являются:

обоснование наилучших технических решений для наиболее сложных участков трассы;

разработка дополнительной документации на индивидуальные инженерные решения;

подготовка тендерной документации на проведение конкурса подряда (при необходимости в дополнение к стадии разработки ИП).

Таким образом, основным проектным документом на строительство объектов транспортного назначения является технико-экономическое обоснование (ТЭО) строительства или обоснование инвестиций (ОИ), на основании которого разрабатывают проектную документацию.

Для технически сложных объектов и в случае сложных природных условий проектирования по решению заказчика (инвестора) или заключению государственной экспертизы одновременно с разработкой проектной документации и осуществлением строительства могут выполняться дополнительные проработки проектных решений по отдельным вопросам.

33.3. Предпроектное проектирование

Предпроектное проектирование выполняют при составлении схем развития и размещения сетей автомобильных дорог, при разработке технико-экономического обоснования (ТЭО) или обоснова-

ния инвестиций (ОИ), в том числе и для конкретного дорожного объекта.

На этом этапе в качестве исходного используют имеющиеся фондовые материалы инженерных изысканий, имеющиеся в наличии аэрокосмические, наземные фотоматериалы, материалы лазерного сканирования местности, а также материалы старогодних инженерно-геологических и экономических изысканий. При необходимости производят рекогносцировочные обследования. Обязательным и чрезвычайно эффективным является использование имеющихся на район изысканий геоинформационных систем (ГИС). При строительстве на слабых грунтах вопрос об их сохранении в основании сооружений решают на основе инженерно-геологических изысканий, выполняемых в сокращенном объеме и с минимальным объемом лабораторных исследований грунтов.

Исходные данные для разработки ТЭО или ОИ включают ранее оформленные решения администрации (правительства республики, края или области) о предварительном согласовании земельных участков для строительства дороги и акты выбора земельных участков.

Перечень материалов, включаемых в состав ТЭО или ОИ, следующий:

1. Карта-схема транспортной сети района тяготения.
2. Сводная ведомость грузонапряженности, грузооборота, интенсивности движения.
3. Таблица основных технико-экономических показателей.
4. План трассы автомобильной дороги.
5. Сокращенный продольный профиль (при необходимости).
6. Типовые поперечные профили, используемые при проектировании земляного полотна.
7. Чертеж вариантов конструкции дорожной одежды.
8. Ведомость проектируемой дорожной одежды.
9. Покилометровая ведомость оплачиваемых земляных работ.
10. Ведомость мостов и путепроводов.
11. Ведомость основных пересечений, примыканий в одном и транспортных развязок движения в разных уровнях.
12. Ведомость автобусных остановок.
13. Ведомость площадок отдыха (при необходимости).
14. Ведомость грунтовых резервов и месторождений дорожно-строительных материалов (при необходимости).
15. Перечень документов согласований.
16. Копии документов согласований.
17. Ведомость переустройства коммуникаций.
18. Ведомость сноса, переноса зданий и сооружений.

19. Схема сравнения вариантов трассы.

20. Схема временно занимаемых земель (при необходимости).

Состав ТЭО или ОИ в зависимости от конкретных условий может быть изменен по договоренности заказчика (инвестора) и проектной организации.

33.4. Разработка проектной документации

Разработку проектной документации на строительство дорожного объекта (объектов) осуществляют на основе утвержденного (одобренного) технико-экономического обоснования (ТЭО) или обоснования инвестиций (ОИ). Проектной документацией детализируют принятые в ТЭО или ОИ принципиальные инженерные решения и уточняют основные технико-экономические показатели.

Проектную документацию разрабатывают преимущественно на конкурсной основе, в том числе и через торги подряда (тендер).

Инженерный проект состоит из трех частей:

обосновывающие материалы, предназначенные для заказчика и экспертизы инженерного проекта (ИП);

контрактные материалы, предназначенные для включения в тендерную документацию для конкурса подряда и исполнения ИП;

материалы для оформления отвода земель.

Обосновывающие материалы состоят из следующих разделов:

пояснительная записка;

обосновывающие материалы и документы;

расчет стоимости работ.

Контрактные материалы состоят из следующих разделов:

технические спецификации (привязка к отраслевым стандартам, СНиПам, ГОСТам и т.д.);

основные чертежи;

ведомости проектируемых сооружений и видов работ;

ведомости объемов работ и потребных материалов.

Перечень материалов и документов, включаемых в состав обосновывающих материалов ИП, следующий:

1. Копия задания.
2. Карта-схема транспортной сети района тяготения.
3. Сводная ведомость грузонапряженности.
4. Таблица основных технико-экономических показателей
5. План трассы.
6. Продольный профиль.
7. Типовые поперечные профили.
8. Индивидуальные поперечные профили (при необходимости).

9. Варианты конструкций дорожной одежды.
10. Ведомость проектируемой дорожной одежды.
11. Покилометровая ведомость оплачиваемых земляных работ.
12. Ведомость искусственных сооружений.
13. Варианты схем мостов, путепроводов длиной более 100 м.
14. Варианты схем опор для мостов (при необходимости).
15. Ведомость пересечений и примыканий.
16. Варианты схем развязок в разных уровнях.
17. Ведомость автобусных остановок.
18. Ведомость площадок отдыха.
19. Ведомость рубки леса и корчевки пней.
20. Ведомость переустройства коммуникаций.
21. Чертежи конструкций и сооружений.
22. Технические спецификации.
23. Спецификации оборудования, представляемого заказчиком.
24. Ведомость грунтовых резервов, представляемых заказчиком.
25. Инвесторский расчет.
26. График обстановки дороги.
27. График коэффициентов аварийности.
28. Ведомость сноса, переноса зданий и сооружений.
29. Перечень документов согласований.
30. Копия документов согласований.
31. Схема сравнения вариантов трассы.
32. Схема занимаемых земель.
33. Технические условия на рекультивацию.

Для разработки ИП выполняют следующие виды изысканий: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрологические, инженерно-экологические, изыскания грунтовых и других дорожно-строительных материалов.

Дополнительная информация для проектирования объекта на данной стадии может быть взята из «Рекомендаций по разработке инженерного проекта на строительство федеральной автомобильной дороги» (Министерство транспорта. Федеральный дорожный департамент). М., 1996.

33.5. Разработка рабочей документации

Разработку рабочей документации (РД) по согласованию с заказчиком производят для окончательного выбора технических решений для сложных участков трассы, в том числе для разработки индивидуальных инженерных решений с подготовкой тендерной документа-

ции на проведение конкурса подряда (при необходимости) в дополнение к этапу разработки инженерного проекта.

При проектировании особо сложных и уникальных сооружений заказчик совместно с научно-исследовательскими и специализированными организациями разрабатывает специальные технические условия, отражающие специфику их проектирования, строительства и эксплуатации.

На этой стадии проектирования могут быть назначены дополнительные инженерно-геологические изыскания, проведение лабораторных испытаний грунтов для индивидуального проектирования конструкции насыпи (на основе специально разработанного технического задания). Особенности проектирования автомобильных дорог в сложных инженерно-геологических условиях изложены в соответствующих главах учебника.

33.6. Состав проектной документации

Состав проектной документации на строительство (реконструкцию) федеральных автомобильных дорог включает следующие разделы и необходимое их содержание.

Раздел 1. ОБЩАЯ ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.

1. Общие сведения.

2. Характеристика действующей дороги (фотоматериалы), данные паспорта дороги, данные диагностики, данные об уровнях удобства и безопасности движения, скоростном режиме, пропускной способности на отдельных участках, данные о ДТП.

3. Природно-климатические факторы, влияющие на выбор проектных решений.

4. Перспективная интенсивность и состав движения в соответствии с утвержденным ТЭО или ОИ, сводная ведомость грузонапряженности, грузооборота, интенсивности движения за отчетный год и на перспективу в случае разработки проекта более чем через пять лет после утверждения обоснования инвестиций или в случае существенных изменений в интенсивности движения — сравнение данных, утвержденных в обосновании инвестиций, с данными экономических изысканий.

5. Обоснование проектных решений:

5.1. Категория дороги, основные технические нормативы, предложения по стадийности развития, согласно ТЭО или ОИ.

5.2. Схема вариантов трассы в М:100 000 — М:50 000. Варианты трассы проектируемой дороги:

принятые в соответствии с утвержденным ТЭО или ОИ;

дополнительно разработанные варианты трассы, учитывающие изменение условий после утверждения ОИ или детализирующие его.

Продольный профиль, руководящая рабочая отметка, варианты проектной линии на отдельных участках в виде чертежей.

Геодезическое обоснование по направлению принятого варианта. Инженерно-геологические и гидрологические условия проложения трассы, учет природоохранных и других местных особенностей.

5.3. Подготовка территории строительства. Необходимость разборки существующих искусственных сооружений, сноса или переноса зданий, сооружений и насаждений. Мероприятия по переустройству или защите коммуникаций.

5.4. Земляное полотно. Пространственное положение трассы и его оценка с учетом особенностей рельефа местности на прилегающей полосе, ландшафта, обеспечения видимости и зрительной плавности и ясности дороги. Типы земляного полотна. Грунты земляного полотна. Укрепление земляного полотна (откосов, кюветов и т.д.).

5.5. Дорожная одежда. Варианты конструкции дорожной одежды.

Укрепление обочин. Обоснование выбора конструкций для различных условий с учетом наличия местных дорожно-строительных материалов. Чертеж вариантов конструкции дорожной одежды с таблицей сравнения вариантов.

5.6. Водоотвод с проезжей части, полотна дороги и прилегающей территории. Обоснование. Сводная ведомость искусственных сооружений.

5.7. Искусственные сооружения. Обоснование. Сводная ведомость искусственных сооружений.

5.7.1. Инженерно-геологические и гидрогеологические условия.

5.7.2. Технические условия проектирования. Габариты и расчетные нагрузки на сооружения. Габариты мостов и путепроводов.

5.7.3. Вариантные проработки и обоснование конструктивных решений. Технико-экономическое сравнение вариантов (с использованием аналогов или укрупненных расценок).

5.7.4. Ссылка на типовые и повторно применяемые проекты. Мероприятия по защите конструкций от агрессивных вод, обеспечение долговечности сооружения.

5.7.5. Обеспечение смотровыми приспособлениями. Освещение.

5.7.6. Водоотводные сооружения, лестничные сходы, укрепительные работы. Выбор и обоснование типа барьерного ограждения.

5.8. Принятые методы строительства (реконструкции). Сложные вспомогательные сооружения и устройства.

5.9. Специальные инженерные сооружения, обоснование их необходимости.

5.10. Пересечения и примыкания. Схема размещения пересечений и примыканий. Обоснование. Варианты.

5.11. Обстановка, обустройство, безопасность движения.

5.12. Природоохранные мероприятия. Проектные решения, направленные на сокращение площади занимаемых земель, на охрану рыбных запасов, на предотвращение отрицательного воздействия дороги на растительный и животный мир. Водоочистные сооружения. Рекультивация земель.

5.13. Новые технологии, конструкции, материалы.

5.14. Организация строительства. Основные положения по организации строительства. Организация движения на время производства работ. Предложения по разбивке на пусковые комплексы. Решения по охране труда и безопасности в соответствии со СП 12-136—2002.

5.15. Стоимость строительства объекта в целом и по пусковым комплексам.

5.16. Организация работ по содержанию и эксплуатации автомобильной дороги.

5.17. Экономическая и социальная эффективность инвестиций.

5.18. Основные технико-экономические показатели. Таблица сравнения основных технико-экономических показателей объекта, удельных показателей, основных объемов работ и стоимости на единицу протяжения дороги, на единицу площади искусственного сооружения с нормативами удельных затрат, утвержденными в установленном порядке.

Раздел 2. ДОКУМЕНТЫ СОГЛАСОВАНИЙ.

1. Перечень технических условий и документов согласований.

2. Копии технических условий и документов согласований.

Раздел 3. ОТВОД ЗЕМЕЛЬ.

1. Пояснительная записка. Обоснование ширины полосы отвода, придорожной полосы.

2. Акты выбора земельных участков с приложением проекта их границ, каталога координат поворотных точек полос отвода и высот нивелирных пунктов, а также решения о предварительном согласовании места размещения объекта.

3. Ведомость площадей земель, подлежащих отводу в бессрочное и срочное пользование с распределением по землепользователям и угодьям.

4. Ведомость строящихся и переустраиваемых объектов, не относящихся к имуществу федеральных дорог и подлежащих передаче на баланс сторонних балансодержателей.

5. Ведомость имущества строящихся и переустраиваемых объектов, относящихся к имуществу федеральных дорог.

6. Расчет убытков и учет их из фонда, объемов затрат по переносу сооружений и инженерных коммуникаций.

7. Отчет об оценке рыночной стоимости земельных участков и объектов недвижимого имущества, подлежащего выкупу для целей строительства (реконструкции) автомобильной дороги.

8. Соглашения с собственниками земельных участков и недвижимого имущества, изымаемых для государственных нужд с установлением выкупной цены, сроков и других условий выкупа.

Раздел 4. РАЗДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННОСТИ И СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА (РЕКОНСТРУКЦИИ) ПО БАЛАНСОДЕРЖАТЕЛЯМ.

Раздел 5. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.

1. Пояснительная записка (при необходимости).

2. Обоснование природоохранных мероприятий.

3. Ведомость строительства запроектированных сооружений.

4. Рекультивация земель.

5. Объемы работ, распределение по пусковым комплексам.

6. Перечень чертежей. Чертежи природоохранных сооружений.

7. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны и предупреждения чрезвычайных ситуаций (при наличии специальных требований).

Раздел 6. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГЕ.

1. Подготовительные работы:

1.1. Пояснительная записка (при необходимости).

1.2. Сводный план переустройства коммуникаций.

1.3. Спецификация оборудования (при необходимости).

1.4. Ведомости пересечений и сближений с инженерными коммуникациями, сноса, переноса зданий и сооружений, переустройства коммуникаций, рубки леса, корчевки и т.д.

1.5. Объемы работ и распределение по пусковым комплексам.

1.6. Перечень чертежей. Чертежи (при необходимости).

2. План дороги, земляное полотно и дорожная одежда:

2.1. Пояснительная записка (при необходимости).

2.2. Генеральный план дороги в М 1:1000 (при необходимости) — 1:2000. Водоотводные сооружения.

2.3. Продольный профиль (по ГОСТ Р 21.1707—97).

2.4. Земляное полотно и водоотвод. Поперечные профили типовых конструкций земляного полотна с учетом местных условий. Пикетные поперечные профили по ГОСТ Р 21.1701—97 (при наличии в задании). Покилометровые ведомости объемов земляных работ, укрепительных работ с распределением по пусковым комплексам.

2.5. Дорожная одежда. Ведомость проектируемой дорожной одежды. Ведомость укрепления обочин. Поперечные профили конструкций дорожных одежд с укреплениями обочин и разделительной полосы. Ведомость водоотводных сооружений с поверхности дороги. Ведомости работ с подразделением по пусковым комплексам.

2.6. Малые искусственные сооружения. Ведомости и объемы работ с распределением на пусковые комплексы. Конструкции искусственных сооружений. Чертеж.

3. Транспортные развязки:

3.1. Пояснительная записка (при необходимости).

3.2. Схема интенсивности и состава движения. Типы пересечений. Варианты транспортных развязок. Принятый вариант, очередность строительства. Ведомость пересечений и примыканий.

3.3. Ведомости объемов работ с распределением по объектам и пусковым комплексам.

3.4. Перечень чертежей. Чертежи плана с таблицей объемов работ, поперечные и продольные профили. Конструкции земляного полотна, дорожной одежды.

4. Обстановка дороги, организация и безопасность движения:

4.1. Пояснительная записка (при необходимости).

4.2. Схема размещения дорожных знаков, ограждений и разметки.

4.3. Ведомости автобусных остановок и площадок отдыха.

4.4. Ведомость устройства технологической связи.

4.5. Ведомость устройства освещения дороги.

4.6. Графики оценки проектируемой дороги по скорости движения, пропускной способности.

4.7. Ведомости работ по пусковым комплексам.

4.8. Перечень чертежей. Чертежи.

5. Подъезды:

5.1. Пояснительная записка (при необходимости).

5.2. Планы, поперечные и продольные профили трассы подъезда. Конструкции земляного полотна и дорожной одежды. Другие чертежи (при необходимости).

5.3. Ведомость искусственных сооружений.

5.4. Ведомости работ по пусковым комплексам.

5.5. Перечень чертежей.

6. Здания и сооружения дорожной службы:

6.1. Пояснительная записка (при необходимости).

6.2. Схема размещения комплексов существующей дорожно-эксплуатационной службы (ДЭС). Предложения по развитию.

6.3. Генеральные планы проектируемых комплексов ДЭС с планами внешних сетей.

6.4. Схема размещения пунктов весового контроля, учета движения, метеорологических наблюдений и другие чертежи.

6.5. Ведомости работ.

6.6. Перечень чертежей. Чертежи.

Раздел 7. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ИСКУССТВЕННЫМ СООРУЖЕНИЯМ.

1. Пояснительная записка (при необходимости).

2. Ведомости работ.

3. Чертежи и результаты расчетов.

3.1. План мостового перехода в М 1:500.

3.2. Общий вид моста. Общие и местные размывы. Регуляционные сооружения. Укрепления.

3.3. Общие виды опор с размерами, указанием нагрузок на грунт или на свайное основание, несущей способности грунтов, армирования. Данные о материалах. Тип опорных частей.

3.4. Общий вид пролетных строений с размерами, поперечным сечением, с данными о материалах, армировании. В случае индивидуального проекта — результаты расчетов.

3.5. Водоотвод с искусственного сооружения. Водоотвод по откосам насыпи.

Раздел 8. ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА.

1. Пусковые комплексы. Последовательность и сроки ввода пусковых комплексов.

2. Строительный генеральный план дороги.

3. Календарные графики строительства автомобильной дороги, мостов и путепроводов.

4. Ведомость потребности в основных ресурсах, строительных конструкциях, изделиях, материалах, оборудовании.

5. Ведомость источников получения основных строительных материалов.

6. Технические условия на временное подключение к источникам водо- и энергоснабжения. График выполнения работ и очередность строительства.

7. Генеральные планы площадок для строительных материалов, места утилизации отходов.

8. Инженерные коммуникации, энергоснабжение строительства.

9. Перечень чертежей. Чертежи.

10. Схема организации движения на время строительства.

11. Сводка объемов работ.

Раздел 9. СВОДНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ (УРОВЕНЬ ЦЕН ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ ЗАДАНИЕМ).

1. Пояснительная записка.

2. Сводка затрат с учетом иных балансодержателей.

3. Сводные сметные расчеты по пусковым комплексам.

4. Сводный сметный расчет на полное развитие.

5. Единичные расценки по видам работ в текущем уровне цен, разработанные в соответствии с утвержденными техническими спецификациями.

Обосновывающие материалы.

Раздел 10. ЛОКАЛЬНЫЕ И ОБЪЕКТНЫЕ СМЕТНЫЕ РАСЧЕТЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ РЕСУРСНЫЕ (РАЗДЕЛЬНО ПО КАЖДОМУ ПУСКОВОМУ КОМПЛЕКСУ ПРИ ИХ НАЛИЧИИ).

Раздел 11. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДОРОГИ.

Раздел 12. ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ТЕХНИКИ, КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ.

Раздел 13. ТЕНДЕРНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ.

1. Пояснительная записка.

2. Документы конкурсных торгов.

3. Проектная документация, чертежи.

4. Технические спецификации.

5. Ведомость объемов работ по объектам.

33.7. Оформление проектной документации

Оформление проектной документации регламентируется стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и системы проектной документации для строительства (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации представлены в ГОСТ 21.101—97.

Основной текст ГОСТ 21.101—97 включает:

требования к составу документации;

требования к комплектации документации;

правила выполнения документации;

правила выполнения спецификаций на чертежи;

правила внесения изменений в рабочую документацию, выданную заказчику;

правила привязки рабочей документации;

правила оформления сброшюрованной документации.

Приложения (обязательны):

марки основных комплектов рабочих чертежей;

ведомости общих данных по рабочим чертежам;

перечень стандартов ЕСКД;

перечень допускаемых сокращений слов;

основные надписи и графы.

В состав рабочих чертежей автомобильных дорог (основной комплект рабочих чертежей марки АД) входят:

общие данные по рабочим чертежам;

план автомобильных дорог;

продольный профиль;

поперечные профили земляного полотна;

поперечные профили конструкции земляного полотна, продольные профили водоотводных и нагорных канав.

На плане автомобильных дорог наносят и указывают (рис. 33.1):

ситуацию местности, рельеф местности (при необходимости), «красные» линии;

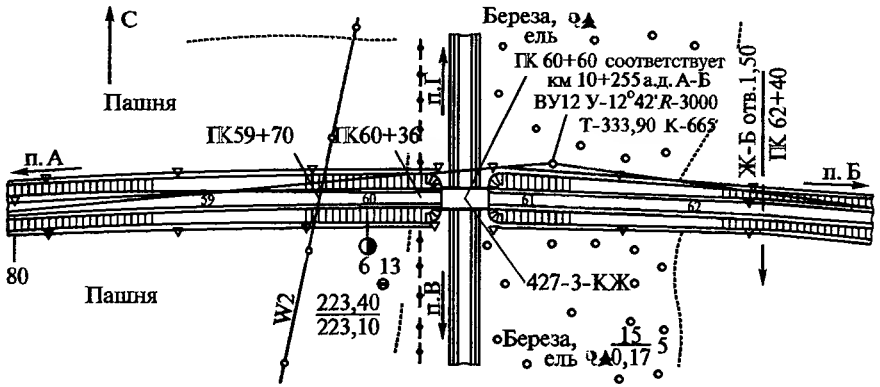
вершины углов поворота автомобильных дорог или станции геодезического хода, пикеты, знаки и линии тангенсов, указатели километров;

числовые значения элементов кривых, углов поворота, радиусов, тангенсов, суммарных длин круговых и переходных кривых;

откосы насыпей и выемок (при необходимости);

здания и сооружения (без координационных осей), инженерные сети;

переезды через железнодорожные пути, транспортные развязки;



Р и с. 33.1. Пример плана трассы

привязки к указателям километров или пикетам существующих автомобильных дорог, железнодорожных путей и инженерных сетей в местах их пересечений с проектируемой автомобильной дорогой;

указатель направления на север стрелкой с буквой «С» у острия (в левом верхнем углу листа).

На продольном профиле автомобильных дорог наносят и указывают:

линию фактической поверхности земли по оси автомобильной дороги, линии ординат от точек ее переломов и линию проектируемой бровки земляного полотна. На продольных профилях городских и реконструируемых автомобильных дорог вместо линии проектируемой бровки земляного полотна наносят линию проектируемой поверхности дорожного покрытия по оси проезжей части;

разведочные геологические выработки, влажность и консистенцию слоев грунта (условным обозначением), отметки уровня грунтовых вод с датой замера;

наименования слоев грунта и номера их групп (например, суглинок 33*а*, песок 27*б*) в соответствии с классификацией грунта по трудности разработки.

Выше проектной линии наносят и указывают: реперы; надземные и наземные инженерные сети;

наименования проектируемых искусственных сооружений;

транспортные развязки;

съезды;

переезды через железнодорожные пути;

нагорные и водоотводные канавы, сбросы воды;

водораздельные дамбы;

рабочие отметки насыпи.

Ниже проектной линии наносят и указывают:

линии ординат от точек переломов проектной линии;

рабочие отметки выемок;

обозначения искусственных сооружений и наименования существующих искусственных сооружений;

подземные инженерные сети.

Под продольным профилем помещают таблицу (сетку):

для вновь проектируемых автомобильных дорог (рис. 33.2), для реконструируемых (рис. 33.3), для проектируемых на базе САПР (рис. 33.4). При большом количестве плюсовых точек на отдельных пикетах на листе, где помещен продольный профиль, помещают таблицу выноски отметок и расстояний (см. рис. 32.2).

На поперечном профиле земляного полотна автомобильных дорог (рис. 33.5) наносят и указывают:

линию фактической поверхности земли, линии ординат от точек перелома линии фактической поверхности земли. При реконструкции, кроме того, — контур существующего земляного полотна;

ось проектируемой автомобильной дороги, а при реконструкции, кроме того, — существующей дороги (при необходимости);

инженерные сети и их наименование;

подошвы слоев грунта, разведочные геологические выработки, влажность и консистенцию слоев грунта, отметки уровня грунтовых вод с датой замера (при необходимости);

наименования слоев грунта и номера их групп (например, суглинок 33*а*, песок 27*б*) в соответствии с классификацией грунта по трудности разработки;

контур проектируемого земляного полотна, линии ординат от точки перелома указанного контура, крутизну откосов;

контур срезки плодородного слоя грунта, удаления торфа и замены непригодного грунта;

привязку поперечного профиля к пикетам.

Над каждым поперечным профилем земляного полотна, изображенным на листе, слева помещают числовые значения площадей поперечных сечений, например насыпей ($A_н$); выемок ($A_в$); кюветов ($A_к$); банкетов ($A_б$) с указанием номера групп слоев грунта в соответствии с классификацией грунта по трудности разработки.

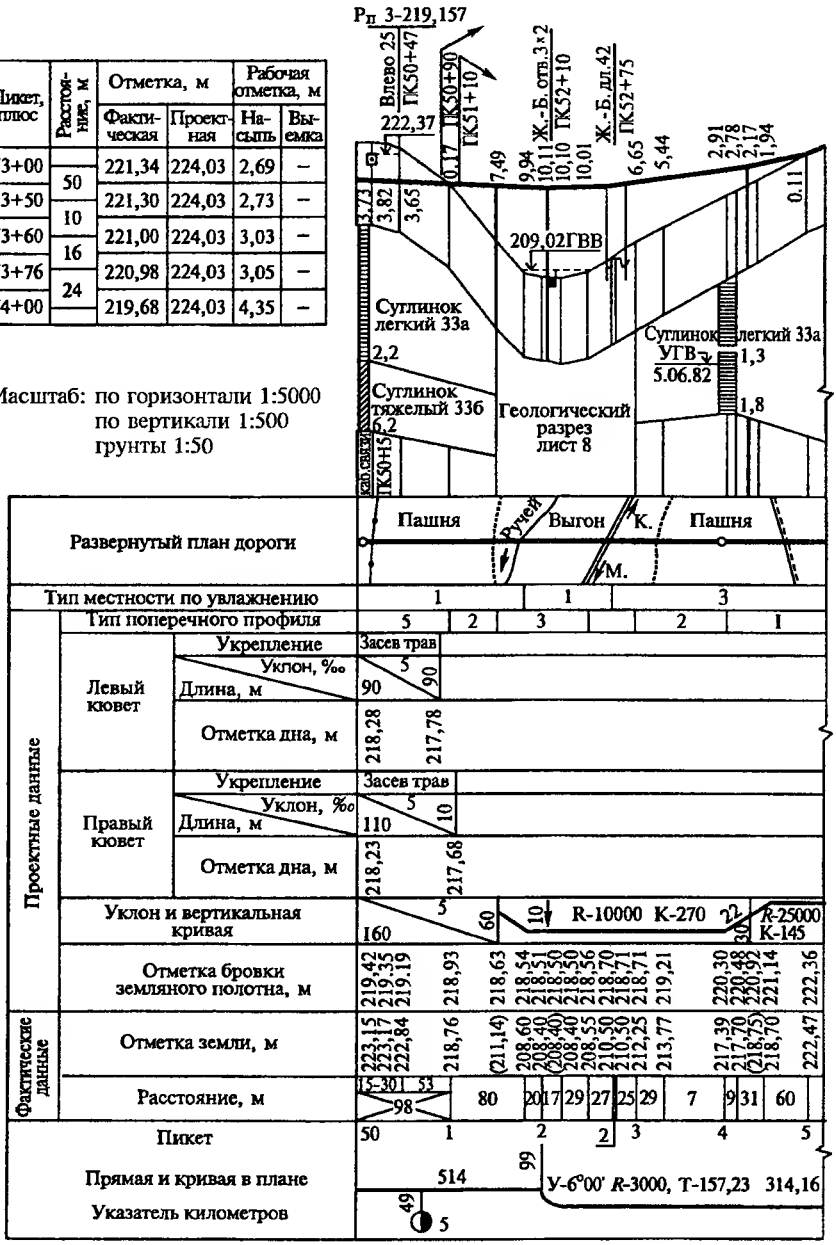
На типовом поперечном профиле конструкции земляного полотна (рис. 33.6) автомобильных дорог наносят и указывают:

ось проектируемой автомобильной дороги;

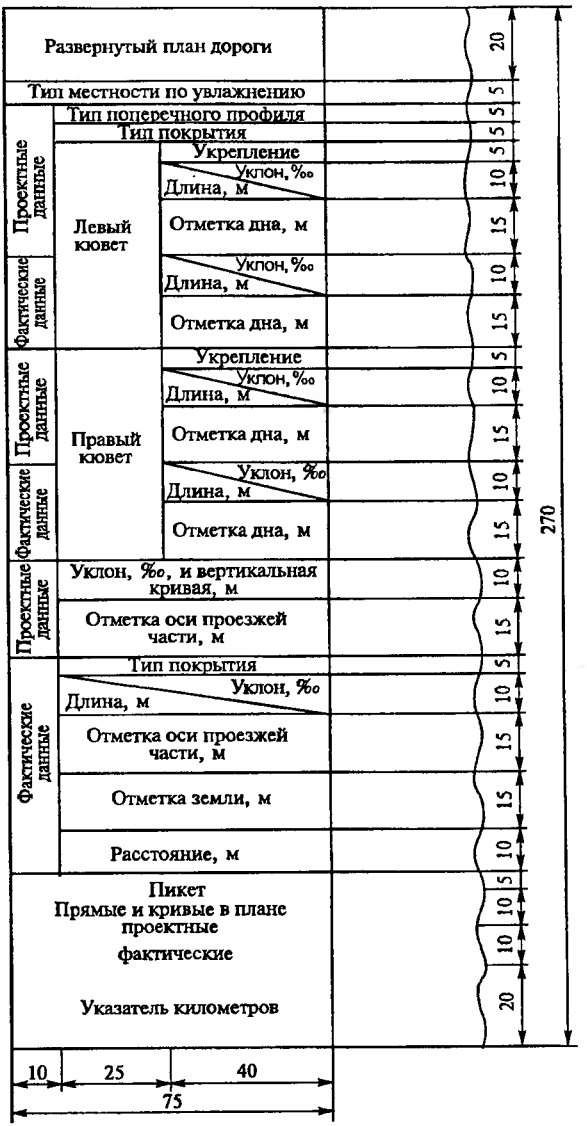
линию фактической поверхности земли (условно);

Пикет, плюс	Расстояние, м	Отметка, м		Рабочая отметка, м	
		Фактическая	Проектная	Насыпь	Выемка
73+00		221,34	224,03	2,69	–
	50				
73+50		221,30	224,03	2,73	–
	10				
73+60		221,00	224,03	3,03	–
	16				
73+76		220,98	224,03	3,05	–
	24				
74+00		219,68	224,03	4,35	–

Масштаб: по горизонтали 1:5000
по вертикали 1:500
грунты 1:50

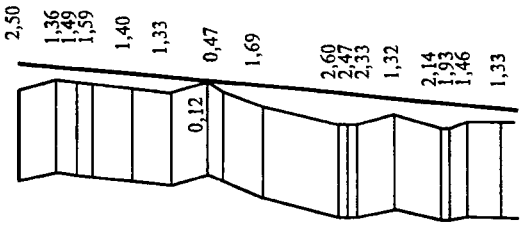


Р и с. 33.2. Пример продольного профиля вновь проектируемой автомобильной дороги

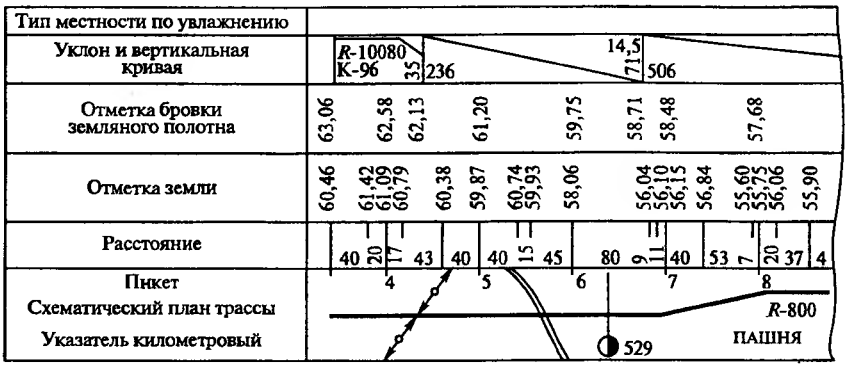


Р и с. 33.3. Размеры граф сетки продольного профиля реконструируемой автомобильной дороги

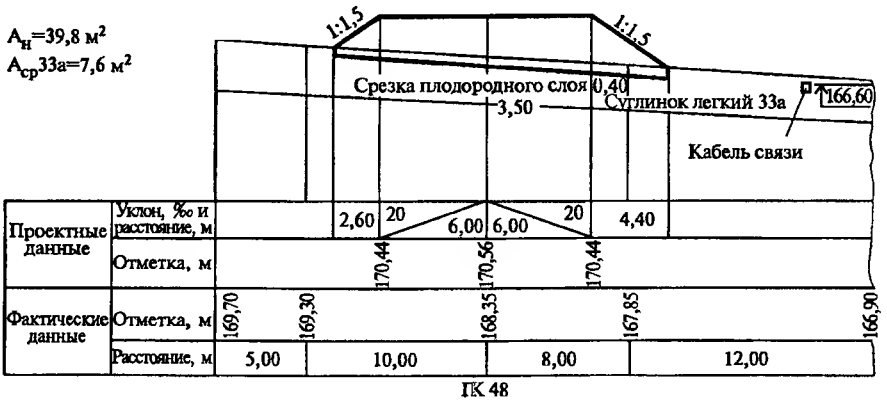
контур проектируемого земляного полотна с указанием крутизны откосов. При реконструкции, кроме того, — контур существующего земляного полотна;



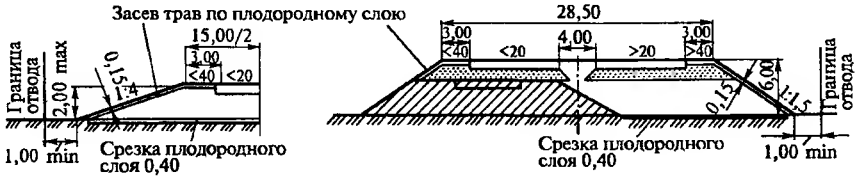
Масштаб:
по горизонтали 1:5000
по вертикали 1:500
грунты 1:50



Р и с. 33.4. Пример продольного профиля, запроектированного с использованием САПР-АД



Р и с. 33.5. Пример поперечного профиля земляного полотна



Р и с. 33.6. Пример типового поперечного профиля конструкции земляного полотна

укрепление обочин и откосов (схематично);

ширину земляного полотна и его элементов;

направление и значение уклонов верха земляного полотна;

контур и размер срезки плодородного слоя, удаления торфа и замены непригодного грунта;

границы отвода земли;

конструкцию дорожной одежды, направление и значение уклона по ее поверхности, ширину проезжей части и краевых полос.

Конструкцию дорожной одежды на изображении поперечного профиля конструкции земляного полотна указывают схематично.

На детальном изображении конструкции дорожной одежды наносят и указывают:

материал и толщину слоев, входящих в ее состав, а также дренажные устройства. Материал слоев, входящих в состав дорожной одежды, указывают условным графическим обозначением;

обозначения дорожных одежд, различающихся материалами слоев или другими характеристиками. В обозначение включают слово «Тип» и порядковый номер арабскими цифрами, например «Тип 1»; «Тип 2» и т.д.;

границы участков автомобильной дороги, на которых применяется конструкция дорожной одежды (тип дорожной одежды).

На продольном профиле водоотводных и нагорных канав автомобильных дорог наносят и указывают:

линию фактической поверхности земли по оси канав, линии ординат от точек перелома этой линии;

проектную линию дна канавы, линии ординат от точек перелома этой линии;

водопропускные сооружения с отметками входных лотков;

дамбы;

инженерные сети, места выпусков канав, рабочие отметки канав.

В связи с переходом на технологию и методы системного автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них (САПР-АД) полностью автоматизирован процесс изготовле-

ния проектной документации (пояснительные записки, ведомости, сметы, чертежи), что позволяет в несколько раз сокращать затраты труда при выполнении машинописных и графических работ, повышать качество чертежей, сокращать сроки их выполнения.

Глава 34

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

34.1. Структура экономического обоснования дорожного строительства

Кардинальные изменения социально-экономических условий, произошедшие в нашей стране, требуют корректировки методов, ранее применявшихся при разработке экономического обоснования дорожного строительства. Следует использовать методики расчета экономической эффективности инвестиционных проектов дорожного строительства в соответствии с общепринятыми в мировой практике подходами. В связи с произошедшим в экономике страны переходом на механизмы рыночных отношений существенно усложнилось проведение сбора исходных данных. Все еще имеющая место некоторая нестабильность российской экономики порождает ощутимую неопределенность долгосрочных прогнозов экономического развития.

Имеющий место интенсивный рост парка легковых автомобилей на фоне недостаточных объемов инвестиций в дорожное строительство приводит к ухудшению качества обслуживания автотранспортных потоков, увеличению экономических потерь от задержек в заторах, особенно в больших городах и на подходах к ним. Недостаточное финансирование дорожной отрасли влечет за собой огромные экономические и социальные потери и является одним из наиболее существенных факторов, сдерживающих рост экономики страны.

Традиционные методы сбора исходных данных уже не могут быть применены в современных условиях, и необходимо использовать адекватные экономические модели, основанные на современном математическом аппарате и методах компьютерного математического моделирования.

Для повышения качества экономических обоснований в настоящее время принимают такую последовательность экономических исследований:

составляют предпроектные предложения, включающие предварительные расчеты стоимости и экономической эффективности проекта;

составляют сметы на выполнение экономических изысканий, соответствующие масштабу проекта;

проводят комплексные обследования района проектирования с широким привлечением ГИС-технологий;

разрабатывают обоснование инвестиций (ОИ), которое рассматривает компетентная экспертиза, принимающая решение о целесообразности реализации проекта.

Для повышения качества принимаемых решений в нормативных документах должны найти отражение более жесткие требования к проведению обследований транспортных потоков в зоне тяготения нового дорожного объекта или реконструкции, без соблюдения которых проект не может пройти экспертизу.

Исследования по обоснованию инвестиционных проектов оформляют в виде документации, в которой находят отражение все аспекты проекта, включая мероприятия по охране окружающей среды. Рекомендуемый состав экономической части обоснования инвестиций в дорожное строительство следующий:

участники инвестиционного проекта;

аннотация;

история вопроса;

краткая социально-экономическая характеристика региона;

обследование существующих транспортных связей и условий автомобильного движения;

анализ принципиальных вариантов направления трассы;

расчет двадцатилетней перспективной интенсивности и состава движения на рассматриваемой транспортной сети;

определение эффективности инвестиций (общественной, экономической);

выводы.

Участники инвестиционного проекта.

Раздел содержит краткие характеристики заказчика проекта и перечень исполнителей с указанием направлений их деятельности.

Аннотация.

Содержит краткую характеристику проекта с выводами и рекомендациями о целесообразности осуществления проекта. Содержит описание принятых проектных решений (начало строительства, продолжительность, строительная стоимость, основные показатели эффективности проекта). Аннотация сдержит сведения о заказчике

проекта, предполагаемые источники финансирования, задание и основание для проектирования.

История вопроса.

Проектированию крупного транспортного объекта обычно предшествует разработка генплана, комплексной транспортной схемы и других проблемных работ. В разделе приводят мотивацию принятых проектных решений. Формулируют цели проекта. Освещают недостатки существующих условий и организации движения транспортных потоков на отдельных участках. Приводят описание ранее реализованных проектов дорожного строительства.

Краткая социально-экономическая характеристика региона.

В разделе анализируют динамику и осуществляют прогноз основных показателей социально-экономического развития региона строительства: валовой региональный продукт, численность населения, объемы пассажирских и грузовых перевозок, пассажиро- и грузооборот, объемы инвестиций, объемы жилищного строительства, характеристика существующего парка автомобилей.

В раздел включают описание существующих планов перспективного развития транспортных магистралей областей, районов, городов и пригородных зон.

Обследование существующих транспортных связей и условий автомобильного движения.

Сбор исходных данных по существующим транспортным связям и их характеристикам является наиболее серьезной и трудно решаемой проблемой. Неполное освещение этого вопроса в конечном итоге определяет невысокое качество экономических и транспортных расчетов, а следовательно, и принимаемых принципиальных проектных решений.

Изучение транспортных потоков обычно начинают с определения объемов зарождения и поглощения грузовых и пассажирских потоков. Для определения объемов и направлений грузопотоков осуществляют прогноз объемов производства промышленной продукции, товаров и услуг для грузообразующих и грузопоглощающих пунктов, а также состава и численности парка грузовых автомобилей. Для оценки объемов пассажирских перевозок используют следующие данные: численность населения; количество отдельных семей; численность населения и условия его проживания; число работающих жителей; уровень автомобилизации населения. Оценивают объемы поглощений пассажиропотоков на основе данных о численности работников, занятых в различных отраслях производства, количестве учащихся, характере использования обслуживаемых территорий.

Производят уточнение собранной информации обследованием сложившихся транспортных связей и транспортных потоков на основе:

контрольных учетов движения с опросом его участников;

обследования пассажиропотоков;

анкетирования;

сбора данных о выручке, направлениях, объемах и видах перевозок транспортных предприятий общего пользования.

Проведение контрольных учетов движения автомобилей — важнейший этап разработки инвестиционного проекта нового строительства и реконструкции автомобильных дорог.

При проведении учета в транспортных узлах составляют схемы размещения каждого учетного пункта, с указанием дислокации каждого учетчика. Учетчик фиксирует движение по трем направлениям: автомобили, идущие в прямом направлении, поворачивающие направо и поворачивающие налево. Транспортные потоки по всем направлениям суммируют и определяют интенсивность движения на дороге в целом.

Учет с опросом водителей дает возможность получить данные о направлениях и маршрутах поездок. Анализ государственных номерных знаков автомобилей позволяет оценить доли местных и транзитных транспортных связей.

В настоящее время стали все чаще использовать видеокамеры для автоматической круглосуточной регистрации проходящего автотранспорта, с последующей компьютерной обработкой видеоматериалов, с определением типов транспортных средств и характеристик их движения.

Хронометраж транспортных потоков проводят для расчета скоростей движения на отдельных участках дороги, на подходах к транспортным пересечениям, на мостовых переходах.

Визуальные наблюдения позволяют выполнить оценку задержек движения транспорта на мостах и паромных переправах, устанавливать количество светофоров, пересечений дорог в одном или разных уровнях, спусков, подъемов, участков с ограниченной видимостью, количество съездов и подъездов, выявлять участки с наиболее загруженным движением, состояние дорожного покрытия, качество содержания дороги, дорожные знаки, ширины проезжей части и обочин, количество ДТП и другие факторы, влияющие на пропускную способность дороги. Визуально также оценивают среднее количество пассажиров в одном легковом автомобиле. Визуальные наблюдения помогают также определять характер движения или состояние транспортных потоков (свободный, устойчивый, неустойчивый, плот-

ный). Исключительно эффективным при визуальных обследованиях транспортных потоков — использование наземной и воздушной фотограмметрии (с мотодельтапланов и вертолетов).

При оценке качественного состояния транспортных потоков также эффективным оказывается использование ходовых дорожных лабораторий.

Данные хронометража и специальные исследования с помощью ходовых лабораторий и фотограмметрии помогают устанавливать фактическую пропускную способность дороги и определять качественные и количественные характеристики транспортных потоков.

Цель обследования пассажиропотоков транспорта общего пользования — это прежде всего сбор данных о количестве входящих и выходящих пассажиров на остановках и загруженности общественного транспорта. Распределение пассажиров по связям между начальными и конечными пунктами можно оценивать талонным методом учета пассажиропотоков.

Спектр вопросов, исследуемых с помощью анкетирования, очень широк:

виды и частота поездок анкетируемого пассажира (культурно-бытовые поездки, трудовые, деловые, учебные и т.д.);

режим пользования собственным автомобилем, если таковой имеется;

пункты отправления и пункты назначения;

маршруты поездок;

используемые виды пассажирского транспорта и количество пересадок;

часы и длительность поездок;

денежные суммы, выплачиваемые пассажиром за поездку различными видами транспорта.

Недостаток метода анкетирования — относительно небольшая статистическая выборка из-за трудоемкости проведения такого рода исследований.

Дополнительная информация о неравномерности распределения пассажиро- и грузопотоков по дням, неделям, месяцам может быть получена на основе анализа колебаний объемов выручки транспортных предприятий от пассажирских и грузовых перевозок.

Выбор рационального местоположения нового дорожного объекта.

Выбор направления дороги или мостового перехода является одним из основных факторов, определяющих технико-экономические характеристики будущего сооружения. Предварительно выбор места

нового строительства назначают на основании имеющихся архивных, картографических, инженерно-геологических, гидрологических и иных материалов. При этом руководствуются следующими показателями: протяженностью новой трассы, наличием транспортной сети и удобных подходов к предполагаемому месту строительства, объемами работ и стоимостью строительства.

Определение рационального местоположения трасс объектов дорожного строительства — задача достаточно сложная, и для решения ее используют одну из моделей оптимизации развития сетей автомобильных дорог.

Расчет перспективной интенсивности и состава движения на рассматриваемой транспортной сети.

На основании расчетов перспективной интенсивности и состава движения должен быть решен вопрос о категории проектируемой дороги, определяющей основные технические параметры дороги (ширину полосы движений, количество полос движения, ширину обочин, ширину земляного полотна, допустимые геометрические параметры плана и продольного профиля и т.д.).

Определение эффективности инвестиций.

В разделе рассматривают варианты, отобранные на основе уже проведенного анализа транспортных характеристик проектов (см. ранее). Рассчитывают показатели общественной эффективности, производят учет рисков и неопределенности.

34.2. Перспективный парк автомобилей

Структурные сдвиги, произошедшие в экономике страны, и прежде всего изменение форм собственности повлияли на развитие автомобильного парка как в количественном, так и в качественном отношении. Разгосударствление, приватизация и появление рынка транспортных услуг лицензируемых малых частных и акционерных перевозчиков с использованием договорных тарифов привели к формированию новых требований к автомобильному парку. Эти требования сводятся прежде всего к тому, что выпускаемые и используемые транспортные средства отличаются от старого автомобильного парка более широкой номенклатурой транспортных средств, при одновременном снижении их грузоподъемности и пассажировместимости.

Парк грузовых автомобилей.

В перспективе следует ожидать увеличения объемов транспортной работы грузового автотранспорта, особенно в междугородных и международных перевозках. На ближайшую перспективу ежегодный прирост рынка транспортных услуг прогнозируется в размере 3%.

Ежегодный прирост парка грузовых автомобилей на обозримую перспективу прогнозируется в размере 2% и который к 2020 г. достигнет 6000 тыс. автомобилей. Особенно интенсивно развивается и будет развиваться парк грузовых автомобилей грузоподъемностью до 3 т, которые в ближайшей перспективе составят до 80% общей численности грузового автопарка.

Основными разновидностями парка автомобилей будут следующие классы транспортных средств по грузоподъемности: до 2 т (ВАЗ-2233, ИжМЗ-2717, Москвич-2335, УАЗ-3303, ГАЗ-2310 и др.); от 2,1 до 5,0 т (ГАЗ-3310, ЗИЛ-5301 и др.); от 5,1 до 8,0 т (ЗИЛ-4331, КамАЗ-4311, Урал-4320 и др.); от 8,1 до 15,0 т (ЗИЛ-133, КамАЗ-53212, УралАЗ-5423 и др.); более 15 т (КамАЗ-6520, Ивеко — УралАЗ и др.) и карьерные БелАЗы грузоподъемностью до 200 т.

Парк полуприцепов должен составить 260—290 тыс.ед., а прицепов не менее 1,7 млн ед. Основными направлениями научно-технического прогресса в области грузового автомобилестроения является выпуск конкурентоспособных автомобилей малой и большой грузоподъемности с весьма широкой номенклатурой специализированных кузовов.

Автобусный парк.

Основным видом муниципального транспорта являются автобусы особо большие, большие и частично средние. Так как автобусы обслуживают в основном малообеспеченные слои населения, то определить парк автобусов исходя из платежеспособного спроса пассажиров не представляется возможным. Автобусы используют для внегородских и туристических поездок, а также в виде специальных и школьных транспортных средств.

На основании выполненных расчетов установлено, что ежегодный рост рынка автобусных пассажирских услуг (в основном общего пользования) прогнозируется до 2,5%. Установлен общий прогнозируемый парк автобусов, который к 2020 г. достигнет 800—820 тыс. ед.

Основными разновидностями автобусов в прогнозируемом парке будут: особо малого класса (длиной до 6 м и вместимостью до

16 чел. — УАЗ, ГАЗ, ЗИЛ, иномарки); малого класса (длиной 6—8 м и вместимостью до 30 чел. — ПАЗ, КАЗ); среднего класса (длиной 8—10 м и вместимостью до 90 чел. — ПАЗ, иномарки); большого класса (длиной 10—12 м и вместимостью до 120 чел. — ЛиАЗ, Тушино-Авто, ГолАЗ) и особо большого класса (длиной до 18 м и вместимостью до 180—200 чел. — ГолАЗ, Тушино-Авто).

В общем автобусном парке будут превалировать автобусы особо малого и малого классов, доля которых составит 65—70%.

Доля автобусов особо большого класса не будет превышать 2—2,3%. Остальную часть парка составят автобусы среднего и большого классов.

Парк легковых автомобилей.

Развитие парка легковых автомобилей — личных, служебных, такси и специальных легковых автомобилей — происходит под воздействием различных факторов. Для Российской Федерации характерно применение легковых автомобилей главным образом не для индивидуального, а для семейного пользования.

Основными разновидностями в парке легковых автомобилей будут следующие классы: «А» (с габаритной длиной до 3,5 м — «Ока»); «В» (с габаритной длиной 3,5—3,9 м — ВАЗ-1119); «С» (с габаритной длиной 3,9—4,3 м — ВАЗ-2105, 2110 и др.); «D» (с габаритной длиной 4,3—4,6 м — Москвич 2141, 2142, Донинвест и др.); «Е» (с габаритной длиной 4,6—4,9 м — ГАЗ-3110, 3111 и др.); «F+S» (высший класс — ЗИЛ-4110 и т.д.); «SUV» — автомобили повышенной проходимости (ВАЗ-2123, УАЗ-3160 и др.) и «MPV» — автомобили повышенной вместимости типа «Минивэн» (ВАЗ-2120 и т.д.) и иномарки. В легковом парке будут преобладать автомобили классов «А», «В», «С» и «D». Технический прогресс в области отечественного легкового автомобилестроения будет заключаться в выпуске конкурентоспособных транспортных средств по стоимости, топливно-экологическим параметрам, надежности, безопасности и внедрения параметров комфортабельности для автомобилей класса Ока, ВАЗ и Москвич в стоимостном диапазоне не более 4—9 тыс. дол.

Прогнозируемый темп прироста легкового автопарка 6,7%. Легковой автопарк к 2020 г. составит около 52 млн автомобилей.

Общими направлениями научно-технического прогресса в автомобилестроительной промышленности является учет отечественных специфических особенностей дорожной сети, допускающих осевые нагрузки на дорогах разных категорий от 10 до 11,5 т · с и полную массу автопоезда до 44 т · с, а также выпуск транспортных средств и го-

рюче-смазочных материалов, приспособленных к работе в северных условиях (за пределами средней январской изотермы России –20 °С). Параметры «безвредности», регулируемые государством, должны рассматриваться как ограничения в развитии легковых парков.

Прогнозируемый состав транспортного потока на 2020 г.:

Легковые, %	88
Грузовые, %	10,2
Автобусы, %	1,5

Общая прогнозируемая численность автопарка страны на 2020 г. — 52 600—58 820 тыс. автомобилей.

34.3. Прогнозирование перспективной интенсивности движения

Важнейшим критерием при обосновании инвестиций в строительство новых или реконструкцию существующих автомобильных дорог является двадцатилетняя перспективная интенсивность движения. Ввод новых или реконструкция существующих дорог сопровождается значительными изменениями сложившихся транспортных потоков по направлениям. Во многих случаях, когда происходит уменьшение времени сообщения между корреспондирующими пунктами, это оказывает влияние на структуру и размещение экономики, темпы экономического развития обслуживаемых дорогами территорий.

В настоящее время разработано много методов прогнозирования интенсивности движения на автомобильных дорогах. Имеются методы, предназначенные для прогнозирования интенсивности движения как на отдельных, конкретных дорогах, так и на сети автомобильных дорог.

В зависимости от подхода к прогнозированию интенсивности движения существующие методы прогноза можно разделить на три группы: методы экстраполяции; балансовые методы; модельные методы.

Методы экстраполяции — наиболее простые. Они основаны на условии сохранения во времени существующей тенденции изменения среднегодовой суточной интенсивности движения. Наибольшее распространение среди них получил метод прямой экстраполяции, при использовании которого прогнозирование интенсивности движения осуществляют на основе установления существующей интенсивности, которая увеличивается в соответствии с выявленной за не-

сколько предшествующих лет тенденцией ее изменения. Прогноз интенсивности по методу прямой экстраполяции осуществляют по формуле

$$N_t = N_0(1 + \mu)^t,$$

где N_t — ожидаемая среднегодовая суточная интенсивность движения на t-й перспективный год, авт/сут; N_0 — существующая среднегодовая суточная интенсивность движения, на год экономических изысканий, авт/сут; μ — коэффициент среднегодового прироста интенсивности движения; t — перспективный период, лет (обычно нормируют $t = 20$ лет).

Метод экстраполяции целесообразно использовать в условиях сложившейся сети автомобильных дорог, когда в перспективе не предполагается выполнения работ по строительству новых и реконструкции существующих дорог.

Балансовый метод определения перспективной интенсивности движения в Российской Федерации имеет примерно такое же распространение, как и метод экстраполяции. Согласно этому методу перспективную среднегодовую суточную интенсивность движения определяют как сумму интенсивностей движения различных типов автомобилей, которые определяют по формуле

$$N = \frac{Q_\lambda \cdot K_н \cdot K_s}{D \cdot q \cdot y \cdot b},$$

где N — перспективная среднегодовая суточная интенсивность движения, авт/сут; Q_λ — грузо- или пассажиронапряженность участка дороги λ по данным экономических изысканий на расчетный год в пересчете на 1 км, т-км, пасс-км; $K_н$ — коэффициент учета автомобилей, осуществляющих мелкопартионные, необъемные, повторные и дальние транзитные перевозки; K_s — коэффициент учета в составе движения специальных транспортных средств; D — число дней работы дороги в течение года; q — средняя грузоподъемность или пассажировместимость автомобилей (автобусов), т или пасс; y — коэффициент использования грузоподъемности или пассажировместимости; b — коэффициент использования пробега.

Одним из недостатков балансового метода является многоступенчатая система сбора информации обо всех автомобильных перевозках в районе изысканий за отчетный год и на перспективу. Эти данные получают на предприятиях и в организациях, включенных в список грузоотправителей и грузополучателей.

Балансовый метод весьма трудоемок и в ряде случаев не дает достаточно надежных результатов. Причиной этого является ориентировочный характер информации о грузовых перевозках, особенно на перспективу, которой располагают отправители и получатели грузов, что связано с тем, что показатели об объемах и направлении грузовых перевозок не относятся к материалам статистической отчетности и их систематический учет, как правило, не производится. Планы производства, определяющие перспективные объемы и направления перевозок, у поставщиков и получателей грузов обычно отсутствуют. Мелкие грузоотправители и грузополучатели вообще не поддаются надежному учету.

Модельные методы основаны на рассмотрении связей между всеми парами населенных пунктов исследуемой территории и требуют выполнения огромного объема вычислительных работ, связанных как с рассмотрением всех пар населенных пунктов, так и с определением кратчайшего расстояния между ними. Поэтому разработка этих методов стала возможной лишь в связи с появлением современной компьютерной техники.

Один из модельных методов прогнозирования перспективной интенсивности движения разработан в ОАО «ГипродорНИИ». Метод позволяет рассчитывать как существующие, так и перспективные среднегодовые суточные интенсивности и средние скорости движения автотранспортных средств на участках сети автомобильных дорог общего пользования, а также объемы грузовых и пассажирских перевозок. При прогнозировании интенсивности движения на перспективной сети автомобильных дорог, включающей планируемые к строительству и реконструкции дороги, метод дает возможность оценивать ожидаемую интенсивность движения на автомобильных дорогах задолго до их строительства без проведения детальных экономических изысканий.

Идея метода расчета существующей и перспективной интенсивностей движения заключается в определении вероятного количества автотранспортных средств, совершающих поездки между парами корреспондирующих населенных пунктов рассматриваемой территории, корреспонденции между которыми являются значимыми. При этом прогнозирование интенсивности движения сводится к описанию работы имеющегося или перспективного парка автотранспортных средств на соответствующей сети автомобильных дорог рассматриваемой территории.

Реализация программ развития сети автомобильных дорог, особенно в части сокращения перепробегов, оказывает существенное влияние на эффективность работы автотранспорта и сопровождается

изменениями его интенсивности и маршрутов движения. Эти изменения связаны с генерацией автотранспортных потоков и их перераспределением между дорогами. Чем более существенны изменения в сети дорог, тем значительнее изменения в объемах и маршрутах транспортных потоков. Изменения последних могут быть выявлены только в результате учета изменений в условиях движения автотранспорта, совершающего поездки между корреспондирующими пунктами, в том числе и возможности использования более коротких и комфортабельных маршрутов.

При расчете интенсивности движения между парой корреспондирующих населенных пунктов кратчайшее расстояние между ними устанавливают исходя из времени и комфортабельности сообщения. В связи с этим при расчетах используют приведенную длину участков автомобильных дорог. Коэффициент приведения длины участков дорог устанавливают по соотношению скорости движения на рассматриваемом участке к скорости движения при эталонных условиях движения. В качестве эталонных условий при определении коэффициента приведения длин участков автомобильных дорог принято считать движение по дороге I категории.

Интенсивность движения между корреспондирующими населенными пунктами определяют в зависимости от численности населения в этих пунктах. При прогнозировании интенсивности движения используют сумму численности населения в корреспондирующих пунктах. Однако при равной суммарной численности населения в корреспондирующих пунктах, но разном ее соотношении (например, 300 тыс. чел. + 300 тыс. чел. и 590 тыс. чел. + 10 тыс. чел.) интенсивность движения будет разной. Поэтому интенсивность движения рассчитывают по приведенной суммарной численности населения в двух корреспондирующих населенных пунктах, определяемой по численности населения в меньшем из пунктов и по соотношению численности населения в них.

Интенсивность движения, при прочих равных условиях, зависит от административной значимости и подчиненности корреспондирующих населенных пунктов, т.е. от уровня их связанности. С целью учета этих факторов населенные пункты подразделяют на следующие группы:

1-я группа — территориальные центры и города федерального подчинения;

2-я группа — районные центры и города территориального подчинения;

3-я группа — прочие города, поселки городского типа и центральные усадьбы;

4-я группа — прочие сельские населенные пункты.

Рассматриваемую территорию устанавливают с учетом возможности определения интенсивности движения транзитных относительно исследуемой территории автотранспортных средств в зависимости от численности населения в территориальных центрах, разрабатываемых программ развития и совершенствования сети автомобильных дорог или объектов дорожного строительства.

При обосновании инвестиций на развитие отдельной дороги рассматриваемая территория должна включать обслуживаемую дорогой территорию Российской Федерации, а для объектов, обеспечивающих внешние автотранспортные связи, — и территории соседних государств. Ширину обслуживаемой территории следует принимать до 100 км в каждую сторону от рассматриваемой дороги, а при отсутствии параллельных дорог в этой зоне — до параллельных дорог, но не более 500 км. Подлежащие при этом учету населенные пункты определяют по их удаленности от дороги и значимости последней. На территории, прилегающей к дороге, следует учитывать все населенные пункты, а по мере удаления от дороги — только населенные пункты более высокого ранга.

Интенсивность движения на конкретном участке автомобильной дороги формируется в результате суммирования интенсивностей движения рассчитанных между всеми парами населенных пунктов, связь между которыми осуществляется с использованием данного участка.

Формирование работы автотранспорта осуществляют с разделением по типам на легковые автомобили, автобусы и грузовые автотранспортные средства.

Интенсивность движения между парой рассматриваемых корреспондирующих пунктов устанавливают по формуле

$$N_{ij} = \frac{P_{\text{р}} K_{\text{с}} Q_{\text{л}} v_{\text{л}} \tau_{\text{л}} K_{\text{л}}}{1000 \cdot L_{\text{пр}}^2} + \frac{P_{\text{р}} K_{\text{с}} Q_{\text{а}} v_{\text{а}} \tau_{\text{а}} K_{\text{а}}}{1000 \cdot L_{\text{пр}}^2} + \frac{P_{\text{р}} K_{\text{с}} Q_{\text{г}} v_{\text{г}} \tau_{\text{г}} K_{\text{г}}}{1000 \cdot L_{\text{пр}}^{\alpha}},$$

где N_{ij} — ожидаемая среднегодовая суточная интенсивность движения между i-м и j-м населенными пунктами, авт/сут; $P_{\text{р}}$ — суммарная приведенная численность населения в i-м и j-м населенных пунктах, чел; $K_{\text{с}}$ — коэффициент связанности i-го и j-го населенных пунктов, определяемый в зависимости от их административной значимости и подчиненности; $Q_{\text{л}}$, $Q_{\text{а}}$, $Q_{\text{г}}$ — уровень насыщения территории легковыми автомобилями, автобусами и грузовыми автомобилями соответственно, авт/1000 чел.; $v_{\text{л}}$, $v_{\text{а}}$, $v_{\text{г}}$ — средняя скорость движения легковых автомобилей, автобусов и грузовых автомобилей в эталонных условиях, принимаемая равной 93, 60 и 83 км/ч соответственно; $\tau_{\text{л}}$, $\tau_{\text{а}}$,

$\tau_г$ — средняя продолжительность работы в течение суток легковых автомобилей, автобусов и грузовых автомобилей соответственно, ч/сут; $K_л$, $K_а$, $K_г$ — коэффициент, характеризующий пользование легковыми автомобилями, автобусами и грузовыми автомобилями соответственно; $L_{пр}$ — приведенное расстояние между i-м и j-м населенными пунктами, км; α — показатель степени, используемый при расчете интенсивности движения грузовых автотранспортных средств.

Интенсивность и скорость движения на участках сети автомобильных дорог устанавливают в результате выполнения нескольких итерационных расчетов ожидаемой интенсивности между всеми парами корреспондирующих населенных пунктов. После выполнения расчетов на соответствующем шаге итерации для каждого участка сети автомобильных дорог определяют скорость, которую должен иметь транспортный поток рассчитанной интенсивности при данных дорожных условиях, и сопоставляют ее со скоростью, принятой при данном шаге итерационного расчета. В случае, если эти скорости движения отличаются более чем на 1 км/ч, для данного участка заново определяют скорость движения и его приведенную длину. После рассмотрения всех участков сети автомобильных дорог расчет повторяют.

Итерационные расчеты повторяют до тех пор, пока хотя бы на одном участке сети автомобильных дорог скорость, принятая при расчете интенсивности движения на данном шаге итерации, будет отличаться более чем на 1 км/ч от скорости, рассчитанной при интенсивности движения, полученной на данном шаге итерации, т.е. до достижения соответствия между скоростью и интенсивностью движения на всех участках сети автомобильных дорог.

Для выполнения непосредственных расчетов интенсивности движения необходимо предварительно подготовить исходные данные.

Суммарную приведенную численность населения для i-го и j-го корреспондирующих населенных пунктов определяют в зависимости от соотношения численности населения в них: при отношении численности населения в большем населенном пункте (P_{max}) к численности населения в меньшем населенном пункте (P_{min}) меньше 7,38 – по формуле

$$P_p = \left[\ln \frac{P_{max}}{P_{min}} + 2\right] \cdot P_{min},$$

во всех остальных случаях – по формуле

$$P_p = 4P_{min}.$$

Коэффициент связанности между i-м и j-м корреспондирующими населенными пунктами определяют в зависимости от их административной значимости и подчиненности по табл. 34.1.

Таблица 34.1. **Коэффициенты связанности корреспондирующих населенных пунктов**

Административная значимость первого населенного пункта	Территориальная принадлежность населенных пунктов	Значение коэффициента K_c в зависимости от административной значимости второго населенного пункта			
		территориальный центр	районный центр	центральная усадьба	местный пункт
Территориальный центр	Одна территория	—	1,0	1,0	0,1
	Разные территории	0,4	0,3	0,1	0,01
Районный центр	Одна территория	1,0	1,0	0,3	0,05
	Один район	—	—	1,0	0,01
	Разные территории	0,3	0,3	0,1	0,01
Центральная усадьба	Одна территория	1,0	0,3	0,1	0,01
	Один район	—	1,0	0,5	0,01
	Одна центральная усадьба	—	—	—	0,1
	Разные территории	0,1	0,1	0,05	0,01
Местный пункт	Одна территория	0,1	0,01	0,01	0,01
	Один район	—	0,05	0,01	0,01
	Одна центральная усадьба	—	—	0,1	0,05
	Разные территории	0,01	0,01	0,01	0,01

Показатели уровня насыщения соответствующими типами автотранспортных средств при расчете существующей интенсивности движения устанавливают на основе данных статистической отчетности или материалов ГИБДД МВД РФ для каждого субъекта РФ, а при прогнозировании интенсивности движения эти данные необходимо увеличивать с учетом прогнозируемого периода.

При отсутствии данных среднюю продолжительность работы в течение суток легковых автомобилей можно принимать равной 1 ч/сут.

Коэффициент, учитывающий использование легковых автомобилей в будние дни, определяют по формуле

$$K_л = 1 - (D_н + D_р),$$

где $D_н$ — доля автомобилей, учтенных в материалах статистической отчетности, но не используемых из-за технических неисправностей (при отсутствии данных можно принимать равной 0,15); $D_р$ — половина доли автомобилей, используемых с рекреационными целями для выезда на дачные участки в период с апреля по октябрь месяцы, а также с другими целями только в воскресные и праздничные дни (при отсутствии данных можно принимать равной 0,1).

Среднюю продолжительность работы автобусов в течение суток определяют по формуле

$$\tau_а = T_{на} - 2,$$

где $T_{на}$ — средняя продолжительность работы автобусов в наряде, ч; 2 — средняя продолжительность простоя автобусов во время обеда и отдыха водителей, ч.

Коэффициент, характеризующий использование автобусов, определяют по формуле

$$K_а = Г_а K_{ва},$$

где $Г_а$ — коэффициент готовности автобусов (доля технически исправных из учтенных в материалах статистической отчетности или ГИБДД); $K_{ва}$ — коэффициент выхода автобусов на линию.

Среднюю продолжительность работы в течение суток грузовых автотранспортных средств определяют по формуле

$$\tau_г = T_{нг} - 1,5,$$

где $T_{нг}$ — средняя продолжительность работы грузовых автотранспортных средств в наряде, ч; 1,5 — средняя продолжительность простоя грузовых автотранспортных средств во время обеда и отдыха водителей, ч.

Коэффициент, характеризующий использование грузовых автотранспортных средств, определяют по формуле

$$K_г = Г_г K_{вг},$$

где $Г_г$ — коэффициент готовности грузовых автотранспортных средств (доля технически исправных из учтенных в материалах статистической отчетности или ГИБДД); $K_{вг}$ — коэффициент выхода грузовых автотранспортных средств на линию.

Среднюю продолжительность работы в наряде, коэффициенты готовности и выхода на линию автобусов и грузовых автотранспортных средств принимают согласно территориальным статистическим данным.

Приведенное расстояние между корреспондирующими населенными пунктами определяют как сумму приведенных длин участков автомобильных дорог, соединяющих их по кратчайшему маршруту, по формуле

$$L_{\text{пр}} = \sum_{z} L_z,$$

где L_z — приведенная длина z-го участка, км.

При расстоянии между населенными пунктами менее 10 км принимают расстояние, равное 10 км.

В качестве расчетного участка принимают отрезок автомобильной дороги между точками, являющимися населенными пунктами, пересечениями и примыканиями, или в которых изменяются технические параметры дороги, оказывающие влияние на скорость движения автотранспортных средств.

Приведенную длину участка автомобильной дороги определяют по соотношению средней скорости движения грузовых автомобилей на эталонном и конкретном участке, с учетом ее снижения местными условиями:

$$L_z = L_{\Phi}\left[\frac{v_{\text{г}}}{v_z d_v d_R}\right]^{0,4},$$

где L_{Φ} — физическая длина z-го участка дороги, км; v_z — средняя скорость движения грузовых автотранспортных средств на z-м участке дороги, км/ч; d_v — коэффициент снижения скорости движения в населенных пунктах; d_R — коэффициент снижения скорости движения объектами регулирования движения.

На начальном этапе итерационного процесса в качестве средней скорости движения принимают среднюю скорость одиночных грузовых автомобилей средней грузоподъемности, реализуемую при соответствующих технических параметрах участка автомобильной дороги. Эту скорость следует определять в соответствии с действующими методиками оценки транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог. При соответствии технических параметров участков дорог (ровность, коэффициент сцепления и т.п.) определенным категориям эту скорость можно принимать по табл. 34.2.

Таблица 34.2. **Средняя скорость грузового автомобиля**

Категория участка дороги	Средняя скорость свободного движения грузовых автотранспортных средств, км/ч
IA, IБ	90
IB	83
II	65
III	60
IV	55

Значения коэффициентов снижения скорости движения на участках, прилегающих к центрам населенных пунктов и длин зон влияния населенных пунктов при соответствующей их численности, приведены в табл. 34.3.

Таблица 34.3. **Коэффициенты снижения скорости**

Численность населения в населенном пункте, чел.	Коэффициент снижения скорости движения в населенном пункте d_v	Длина зоны влияния населенного пункта $L_в$, км
10 000 000	0,6	16,1
1 000 000	0,7	13,8
100 000	0,8	11,5
10 000	0,9	2,8
3 000	0,95	1,7
1 000	0,95	1,2
100	0,95	0,6
10	0,95	0,2

Для участков автомобильных дорог, проходящих по территории населенных пунктов, также необходимо учитывать влияние на скорость движения расстояния до застройки, технического состояния улиц и дорог населенного пункта и развитости улично-дорожной сети населенного пункта. По этим причинам скорость движения в пределах многих населенных пунктов составляет всего 20—30 км/ч.

При прогнозировании интенсивности движения грузовые автотранспортные средства целесообразно разделять на группы (1—6) по средней грузоподъемности (т): 1-я — 1,0; 2-я — 2,5; 3-я — 4,0; 4-я — 7,0; 5-я — 10,0; 6-я — 15 (автопоезда).

При расстоянии между корреспондирующими населенными пунктами 500 км и менее определение доли соответствующих групп грузовых автотранспортных средств можно производить по следующим эмпирическим формулам:

1-я группа $C_1 = 0{,}4 - 0{,}0006 L_{пр}$;
2-я группа $C_2 = 0{,}23 - 0{,}0004 L_{пр}$;
3-я группа $C_3 = 0{,}09 - 0{,}0001 L_{пр}$;
4-я группа $C_4 = 0{,}11 - 0{,}0001 L_{пр}$;
5-я группа $C_5 = 0{,}13 + 0{,}0001 L_{пр}$;
6-я группа $C_6 = 0{,}04 + 0{,}0011 L_{пр}$,

где $C_к$ — доля грузовых автотранспортных средств к-й группы, выполняющих перевозки между i-м и j-м населенными пунктами. Сумма значений $C_1 — C_6$ для всех случаев должна быть равна единице.

При расстоянии между населенными пунктами более 500 км доли соответствующих групп в формировании интенсивности движения принимают, как при расстоянии, равном 500 км.

Для территорий, где структура грузового парка значительно отличается от средних по стране показателей, распределение их использования, при необходимости, уточняют исходя из существующей и перспективной структуры. При этом долю соответствующих групп грузовых автотранспортных средств устанавливают по фактической структуре потока, уменьшая или увеличивая долю соответствующих групп. Основным условием при распределении интенсивности движения грузовых автотранспортных средств на группы является равенство единице суммы долей всех групп во всем диапазоне расстояний между корреспондирующими пунктами.

При прогнозировании интенсивности движения модельным методом расчеты следует выполнять в такой последовательности.

Первоначально устанавливают границу рассматриваемой зоны, т.е. определяют территорию, в пределах которой подлежат учету соответствующие населенные пункты. Границу устанавливают по радиусу зоны ($R_у$, км), в пределах которой подлежат учету корреспонденции территориального центра с другими населенными пунктами при разработке территориальных программ, или территориальных центров исследуемой территории при разработке региональных и национальной программ. При этом радиус этих зон может быть определен по формуле

$$R_у = 7(\ln P_{max})^2.$$

Выполнение расчетов начинают с более крупных населенных пунктов. В первую очередь выполняют расчет интенсивности по связям принятого населенного пункта со всеми населенными пунктами, находящимися на расстоянии менее R_y, и корреспонденции с которыми являются значимыми. После рассмотрения корреспонденций рассматриваемого населенного пункта со всеми другими населенными пунктами переходят к рассмотрению следующего населенного пункта.

Интенсивность движения, рассчитанную между каждой парой корреспондирующих населенных пунктов, суммируют по типам и группам автотранспортных средств на все участки автомобильных дорог, образующие кратчайшую связь между ними.

Формирование общей интенсивности движения заканчивают при рассмотрении всех значащих корреспонденций.

После выполнения расчета ожидаемой интенсивности движения автотранспорта на первом итерационном шаге на участках автомобильных дорог оценивают возможность движения этого потока со свободной скоростью. На участках, где движение потока автотранспортных средств ожидаемой интенсивности будет сопровождаться снижением скорости движения, необходимо определить скорость движения, которую поток должен иметь при данной интенсивности в данных дорожно-транспортных условиях, и исходя из этой скорости, скорректировать приведенную длину участка.

Оценку соответствия между интенсивностью и скоростью движения следует производить по приведенной к легковому движению часовой интенсивности, приходящейся на полосу движения. Для перехода от среднегодовой суточной к максимальной часовой интенсивности движения при отсутствии данных о распределении интенсивности движения в течение суток можно использовать коэффициент, равный 0,076.

Проверку на возможность движения потока ожидаемой интенсивности с принятой скоростью необходимо производить для всех участков автомобильных дорог, на которых ожидаемая интенсивность движения на полосу движения превышает 300 приведенных автомобилей в час.

Скорость движения потока ожидаемой интенсивности целесообразно определять с использованием основной диаграммы транспортного потока «интенсивность — скорость» для конкретных дорожно-транспортных условий движения.

В процессе прогнозирования интенсивности движения и по ее результатам можно определить показатели грузовых и пассажирских

перевозок: объем грузовых и пассажирских перевозок; транспортную работу при выполнении грузовых и пассажирских перевозок.

Основная работа автомобильного транспорта осуществляется по связям между территориальными и районными центрами, промышленно развитыми городами. Именно города являются основными генераторами автотранспортных потоков. В городах создают продукцию, в том числе товары сельскохозяйственного производства, которые затем перевозят в соседние города и распределяют по местным населенным пунктам. При этом необходимо учитывать, что чем меньше населенный пункт, в том числе и город, тем меньше его способность к самообеспечению, тем больше он нуждается в продукции, выпускаемой в других более крупных городах.

Обеспечение надежных автотранспортных связей способствует интеграции промышленности не только в пределах одной территории, но и с сопредельными территориями, что наиболее существенно в условиях рынка. Отсутствие надежных транспортных связей, с одной стороны, снижает возможность в сбыте продукции, что является сдерживающим фактором развития предприятий, с другой, приводит к монополии производителей из-за невозможности завоза подобной продукции от других производителей и, как следствие, завышению реальной стоимости выпускаемой продукции.

При формировании федеральной сети автомобильных дорог целесообразно рассматривать следующие варианты их развития:

сохранение существующего направления дорог с приведением их в соответствие с предъявляемыми требованиями, т.е. с их реконструкцией;

строительство специализированных автомагистралей вдоль существующих дорог без дальнейшего их использования;

частичное использование существующих дорог с их реконструкцией.

34.4. Методы оценки общественной эффективности инвестиционных проектов

Изданные в 1985 г. указания по оценке эффективности отраслевых проектов ВСН 21—83 требуют в настоящее время существенной корректировки. Предлагаемые далее рекомендации по оценке инвестиционных проектов дорожного строительства опираются на официальные изданные 2000 г. методические рекомендации, другие отечественные, а также зарубежные исследования в данной области.

Основные положения оценки общественной эффективности инвестиционных проектов.

Инвестиционным процессом называют процесс создания нового либо обновления уже существующего хозяйственного объекта. Процесс вложения средств именуют *инвестированием*, а сами средства — инвестициями или капиталовложениями. Так как инвестиции всегда ограничены, а потребность общества в инвестиционных проектах превышает инвестиционные возможности, то возникает задача выбора целесообразного в настоящее время инвестиционного проекта. На практике часто рассматривают небольшой набор альтернативных проектов, один из которых может быть выбран, если будет обоснована целесообразность и возможность его реализации.

Обоснование проекта — это процесс, цель которого определить целесообразность и возможность реализации проекта. Для решения задачи выбора инвестиционного проекта в мировой практике используют систему методов, объединенных общим названием *проектный анализ*. Он является инструментом принятия разумных решений по рациональному распределению ресурсов для развития экономики страны.

Целесообразность реализации инвестиционных проектов можно оценивать с точки зрения интересов:

участника проекта, оказывающего финансовую или (и) организационную поддержку;

бюджетов различных уровней;

отдельных групп потребителей, включая домашние хозяйства, предприятия и организации;

социально-экономического развития региона, в котором осуществляют проект;

социально-экономического развития страны в целом.

В связи с этим можно выделить следующие виды инвестиционных проектов:

проекты, не оказывающие заметного влияния на экономическое развитие страны или региона, реализация которых тем самым может быть полностью определена частными интересами участников проекта;

проекты, значимые для экономики, осуществление которых не может быть реализовано без учета регионов или даже интересов общества в целом. Общественно значимые проекты можно разделить на достаточно привлекательные с точки зрения частных инвестиций и те, которые не преследуют коммерческой выгоды и реализация которых может быть осуществлена преимущественно за счет бюджетных инвестиций или инвестиций из внебюджетных фондов, пополняемых за счет налоговых поступлений.

Инвестиционные проекты дорожного строительства или реконструкции относят к некоммерческой сфере, где основная доля инвестиций приходится на долю государства, в том числе в странах с развитой рыночной экономикой. В российских условиях возможности для привлечения частных инвестиций в дорожное строительство существенно меньше, учитывая значительные риски долгосрочных частных инвестиций и соответственно большие проценты за кредит. Поэтому главным критерием выбора инвестиционного проекта дорожного строительства была и остается общественная эффективность, а коммерческая и бюджетная виды эффективности имеют второстепенное значение.

Основные идеи экономического анализа инвестиционных проектов, разработанные российскими учеными Л.В. Канторовичем и В.В. Новожиловым и общепринятые в мировой практике, состоят в том, что:

цены продаж и приобретения ресурсов, товаров, услуг, формируются ли они в рыночной среде, регулирует ли их государство, могут не совпадать с общественной ценностью ресурсов, товаров, услуг. Поэтому в расчетах необходимо использовать специальные общественные (называемые также экономическими, теневыми, объективно обусловленными) цены или оценки;

общественные цены должны включать в себя как прямые, так и косвенные издержки. Если проект предусматривает потребление ограниченного ресурса, в его экономической стоимости должны быть отражены не только затраты на его производство, но и потерянные выгоды, которые могло бы получить общество от альтернативного использования данного ресурса.

Сумму затрат на производство ресурса и чистых потерянных выгод называют альтернативной стоимостью. Другим важным понятием экономического анализа являются внешние эффекты, или *экстерналии*, к которым относят воздействия на «третью сторону», не участвующую непосредственно в производстве или потреблении продукции (услуг, товаров).

Выбор наилучшего из проектов производят процедурой сравнения с эталонными условиями, которые получили название в практике обоснования инвестиционных проектов *«условия без проекта»*. При этом исходят из рационального управления ресурсами и возможностями экономики. Полагают, что в условиях без проекта общество рационально затрачивает, а не «экономит» ресурсы. Так, с точки зрения теории экономического анализа инвестиционных проектов постановка вопроса о чрезмерных государственных инвестициях правомерна только при условии, что найден альтернативный, реальный в

конкретных социально-экономических условиях способ достижения долгосрочных целей.

Анализ общественной эффективности инвестиционных проектов призван оценивать реальные изменения в экономике. Поэтому понятие инфляции неприменимо к общественным ценам. Это не означает, что все расчеты должны вестись в постоянных ценах. Общественная цена может меняться в результате изменения спроса, повышения производительности труда, внедрения новых технологий, улучшения качества продукции. Например, в расчетах необходимо учитывать рост или падение стоимости трудовых ресурсов, вызванные прогнозируемым ростом или падением валового внутреннего продукта.

Основные критерии оценки проекта — это:

чистая приведенная стоимость (Net Present Value — NPV);

внутренняя норма доходности (Internal Rate of Return — IRR);

отношение выгод и затрат (Benefit to Cost Ratio — BCR);

срок окупаемости затрат (Pay Back Period — PBP).

Чистую приведенную стоимость проекта определяют по формуле

$$NPV = \sum_{t=0} \frac{B_t}{(1+R_D)^t}, \qquad (34.1)$$

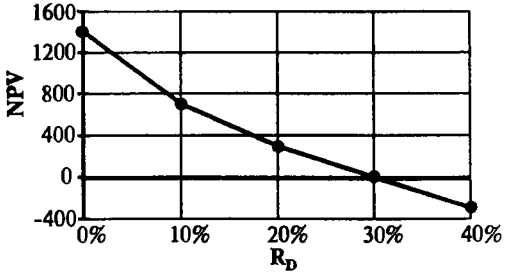
где B_t — чистый эффект в году t представляет собой разность между выгодами и затратами проекта; R_D — коэффициент дисконтирования, учитывающий фактор времени и связанное с ним удешевление будущих выгод в сравнении с настоящими.

NPV представляет собой сумму дисконтированных чистых выгод в стоимостном выражении (млн руб., млн дол. и т.д.). Положительное значение *NPV* свидетельствует о целесообразности инвестирования проекта. В качестве года $t = 0$ обычно берут год проведения расчетов.

При сравнении альтернативных проектов следует отдавать предпочтение тому проекту, который имеет большую величину *NPV*.

При использовании *NPV* необходимо заранее знать коэффициент дисконтирования, что представляет собой достаточно сложную проблему.

Достаточно широкое распространение получил метод расчета *внутренней нормы доходности IRR*. Неотрицательное значение коэффициента дисконтирования, при котором *NPV* обращается в ноль, называют *внутренней нормой доходности* проекта. Если значение *IRR* превышает коэффициент дисконтирования, то данный проект может быть рекомендован к осуществлению.



Р и с. 34.1. Пример зависимости чистой приведенной стоимости от коэффициента дисконтирования

Если отразить графически зависимость текущей стоимости проекта (*NPV*) от коэффициента дисконтирования (R_D), то кривая пересечет ось абсцисс в некоторой точке (рис. 34.1). Эта точка и есть *IRR*.

Отношение выгод и затрат устанавливают по формуле

$$BCR = \sum_{t=0} \frac{INF_t}{(1+R_D)^t} \Big/ \sum_{t=0} \frac{OUTF_t}{(1+R_D)^t},$$

где INF_t — чистые положительные выгоды в году t; $OUTF_t$ — чистые затраты в году t.

Если в году t чистый эффект B_t отрицателен, абсолютное значение B_t прибавляют к знаменателю, в противном случае — к числителю. Значение *BCR* показывает, сколько раз окупаются чистые затраты проекта. *BCR* имеет много модификаций, имеющих некоторые общие свойства:

в знаменателе суммируют затраты проекта (все затраты или какого-либо вида);

разность между числителем и знаменателем равна *NPV*;

знаменатель не должен быть равен нулю.

Из второго свойства следует очевидное: если $BCR = 1$, то $NPV = 0$; если $BCR > 1$, то $NPV > 0$; если $BCR < 1$, то $NPV < 0$.

Срок окупаемости PBP определяют по формуле

$$PBP = T_{ок} \quad \text{при} \quad NPV = \sum_{t=0}^{T_{ок}} B_t / (1+R_D)^t = 0.$$

Этот показатель имеет вспомогательное значение при оценке проектов. Утверждение «проект А выгодней, чем проект В, так как окупается за более короткий срок» в общем случае неверно. Проекты дорожного строительства преследуют долгосрочные социально-экономические цели и, как правило, характеризуются длительным сро-

ком окупаемости во всех странах. Поэтому длительный срок окупаемости некоммерческих проектов не должен «настораживать» экономиста, эксперта или лицо, принимающее решение о реализации проекта.

Как видно из формул показателей эффективности, своего рода «нормативом» является коэффициент дисконтирования R_D.

Фактор дисконтирования удешевляет будущие выгоды по сравнению с настоящими. Для рассматриваемых в экономическом анализе проектов норма дисконта должна быть одинаковой, так как анализируемые *альтернативные проекты* должны быть сопоставимы между собой. Основные условия сопоставимости проектов — это общие цели, общий период сравнения, общие единицы измерения.

В странах ЕС и США норму дисконта инвестиционных проектов дорожного строительства обычно принимают равной 5—6%. В плановой экономике в качестве норматива эффективности инвестиционных проектов дорожного строительства применяли показатели, которые отличаются от общепринятых. Основными нормативами были коэффициент приведенного среднегодового эффекта (E) и обратный к E показатель (T), который называли *сроком окупаемости.*

Показатели, принятые в методических указаниях ВСН 21—83, отменены общими методическими рекомендациями 1994 и 2000 гг. и в современной практике обоснования инвестиционных проектов дорожного строительства необязательны. В результате исследования вопроса, какие требования к *NPV* и *IRR* соответствуют нормативам эффективности ВСН 21—83, были установлены приблизительные соответствия (табл. 34.4).

Таблица 34.4. **Соответствие нормативов ВСН 21—83 общепринятым показателям эффективности**

Показатели	Значения показателей ВСН 21—83			
	$E \geq 0{,}08$ ($T \leq 12{,}5$)	$E \geq 0{,}12$ ($T \leq 8{,}3$)	$E \geq 0{,}14$ ($T \leq 7{,}1$)	$E \geq 0{,}15$ ($T \leq 6{,}7$)
Норма дисконта, %	8	10	11	12
IRR, %	≥ 8	≥ 10	≥ 11	≥ 12
NPV	≥ 0	≥ 0	≥ 0	≥ 0

Норма дисконта должна устанавливаться нормативными документами, которые в настоящее время отсутствуют. Значения нормы дисконта, имеющие рекомендательный характер, даны в табл. 34.5.

Таблица 34.5. **Рекомендуемые нормы дисконта для проектов дорожного строительства**

Сценарии прогноза ежегодного прироста ВВП	Характеристика территории		
	неосвоенные и малоосвоенные территории, %	города с численностью населения более 500 тыс. человек, %	прочие территории, %
Менее 3%	6	8	7
3—4%	7	11	9
5% и более	8	12	10

34.5. Процедуры учета неопределенности

Для оценки надежности расчетов экономической эффективности учитывают неопределенность, под которой понимают неполноту или неточность информации об условиях реализации проекта, в том числе связанных с ними затратах и результатах.

Стандартные процедуры *учета неопределенности* — это анализ сценариев, анализ чувствительности, анализ критических значений (switching values analysis), укрупненный учет неопределенности.

Анализ сценариев удобен для ситуационного анализа — «что будет, если». В анализе сценариев моделируют некоторую реальную ситуацию, которая влечет за собой изменения, как правило, нескольких параметров проекта. Сценарии развития проекта должны включать:

основной сценарий, который отражает наиболее вероятное с точки зрения инженера развитие ситуации. С целью укрупненного учета неопределенности в основном сценарии могут быть заложены умеренно-пессимистические значения параметров проекта;

пессимистический сценарий развития экономики. Этот сценарий предполагает пессимистический прогноз темпов прироста валового внутреннего продукта (ВВП) и заработной платы. Соответственно снижаются темпы прироста объемов грузовых перевозок. Может быть предусмотрено снижение объемов продаж автобусов и легковых автомобилей. Как следствие — снижение темпов прироста интенсивности пассажирского транспорта при сохранении или менее резком снижении объемов пассажирских перевозок;

оптимистический сценарий развития экономики, наоборот, предполагает более высокий рост ВВП, заработной платы;

сценарии вариантов развития транспортной сети, производственной и социальной сферы. Должны быть отражены возможные варианты строительства новых дорог, производств, предприятий, имею-

щих социальную направленность, влияющие на показатели эффективности проекта. Существует два основных способа моделирования таких сценариев. Первый способ — это включение в проект соответствующих мероприятий, т.е. рассматривают комплексные проекты. Недостаток этого метода состоит в том, что может существовать значительная неопределенность в оценке необходимых инвестиций, что может потребовать дополнительных изысканий. Согласно второму подходу предполагается, что дополнительные мероприятия по развитию региона будут реализованы независимо от проекта. Поэтому и инвестиции на дополнительное развитие считают одинаковыми как с проектом, так и без проекта. Задача оценки проекта упрощается, но такое предположение далеко не всегда может быть принято. Конечно, в реальной практике экономических обоснований инвестиционных проектов дорожного строительства вышеназванные способы могут сочетаться;

сценарии использования альтернативных методов расчета затрат и выгод проекта и методов прогноза транспортных потоков. Неопределенность является неотъемлемой характеристикой экономического анализа. Неудивительно поэтому, что в экономической науке применяют разные методы расчета одних и тех же эффектов. Это может быть отражено в сценарном анализе. Такой подход позволяет вводить в практику обоснований инвестиционных проектов новые методы обоснования, не дожидаясь обновления отраслевых методических рекомендаций. Все это не снимает требований к научной обоснованности новых методов. В основном сценарии проекта следует использовать стандартные методы оценки проектов.

Анализ чувствительности определяет, чему равно значение чистой приведенной стоимости проекта (34.1) *NPV* (или других показателей эффективности проекта) при некотором конечном изменении параметров в ту и (или) другую сторону. Эта процедура помогает понять, от чего больше всего зависит расчетная эффективность проекта. Два важных практических вывода инженер-дорожник может сделать из этого анализа:

какие экономические меры необходимо предусмотреть для снижения рисков проекта;

какие дополнительные исследования необходимо выполнить, если полученный результат интуитивно может быть оценен как не соответствующий действительности. Анализ чувствительности может включать оценку следующих параметров:

существующая интенсивность;

темпы прироста интенсивности транспортных потоков;

коэффициенты приведения смешанного потока к эквивалентному потоку легковых автомобилей;

пропускная способность;

затраты времени пассажиров в стоимостной форме;

количество пассажиров в одном легковом автомобиле и автобусе;

текущие автотранспортные затраты;

дополнительные капиталовложения в автомобильный транспорт;

средняя продолжительность работы одного автомобиля в сутки (или за год);

объемы инвестиций в проект;

прочие параметры.

Проведя анализ чувствительности, узнаем, какие параметры наиболее сильно влияют на эффективность проекта. Для этих параметров оказывается целесообразным дополнительно провести *анализ критических значений*. Анализ определяет значения параметров, при которых $NPV = 0$.

Анализ чувствительности и анализ критических значений часто интерпретируют как частный случай сценарного развития. При составлении конкретных обоснований инвестиций (ОИ) разделение процедур учета рисков и неопределенности вносит упорядоченность и определяет более удобное для эксперта изложение.

При таком подходе к учету рисков и неопределенности, вероятно, может быть получен существенный разброс показателей эффективности. Однако это не является недостатком обоснования, поскольку разработку экономического обоснования инвестиционного проекта нельзя сводить к формальному расчету значений показателей эффективности. Инженер всесторонне исследует проект, вырабатывает свое представление и отражает его с той степенью детализации, которая позволяет эксперту быть уверенным в том, что от него не скрыты слабые стороны проекта.

Обоснование любого инвестиционного проекта невозможно без расчета затрат и выгод по элементам, отражающим специфику проекта.

34.6. Элементы затрат-выгод инвестиционных проектов дорожного строительства

В качестве затрат-выгод инженерного проекта (ИП) дорожного строительства могут быть рассмотрены следующие элементы.

Инвестиции в основной капитал:

инвестиции в строительство и реконструкцию дорожных объектов;

дополнительные инвестиции в автотранспорт.

Инвестиции в оборотные средства:

инвестиции на увеличение оборотных средств, находящихся в транспортном процессе;

затраты на создание сезонных запасов из-за отсутствия регулярного проезда.

Текущие экономические затраты и выгоды в процессе перевозок:

текущие затраты на перевозку пассажиров и грузов автомобильным транспортом (включая затраты владельцев личных легковых автомобилей);

затраты на погрузку-разгрузку грузов, перевозимых автомобильным транспортом;

затраты на перевалку;

потери перевозимой продукции;

затраты на перевозку пассажиров и грузов другими видами транспорта.

Дополнительные выгоды от улучшения транспортных условий:

выгоды от дополнительных поездок;

выгоды от вложения дополнительных финансовых средств.

Стоимостная оценка затрат времени населения. Социальные и экологические результаты:

ущерб от дорожно-транспортных происшествий;

прочие социальные затраты и выгоды;

экологические результаты.

Прочие затраты и выгоды:

затраты и выгоды от изменения характера землепользования;

изменение рыночной стоимости земель и недвижимости;

затраты и выгоды в связи с выводом объектов из эксплуатации;

расходы на содержание и ремонт дорожных объектов;

затраты по организации и содержанию паромных и ледовых переправ.

Расчет эффективности проекта осуществляют на основе сравнения затрат и выгод в условиях с проектом (проектные условия) и в условиях без проекта (эталонные условия). Затраты и выгоды, одинаковые с проектом и без проекта, не учитывают. В качестве эталонных условий могут быть выбраны реально возможные условия с минимальными инвестициями для всех альтернативных вариантов. Эталонные условия не должны быть ориентированы на теоретические, очень плохие условия (например, вариант «ничего не строится» может быть маловероятным для относительно развитой сети автомобильных дорог). Должны быть учтены все прогнозируемые эффекты,

за исключением незначительных. Расчетный период может быть сколь угодно большим.

Капитальные вложения в строительство/реконструкцию дорожных объектов разделяют на оплачиваемые заказчиком проекта или другими экономическими субъектами и внешние эффекты. Капиталовложения разделяют на включенные и не включенные в сметную стоимость.

Дополнительные инвестиции в автотранспорт.

Этот элемент отражает изменение потребностей в транспортных средствах в связи с изменением требуемого времени на осуществление перевозок. Дополнительные капитальные вложения в автотранспорт $I^a(t)$ оценивают:

$$I^a(t) = \frac{(I^{av} + U)}{T^n}[W(t) - W(t-1)], \qquad (34.2)$$

где $I^{av}(t)$ — затраты на приобретение автомобиля и увеличение основных и оборотных фондов для его обслуживания (цена соответствующих товаров и услуг); U — стоимость утилизации автомобиля, приведенная к году покупки; T^n — расчетное время работы (часы) в год автомобиля; W — годовой объем транспортной работы в машино-часах, включая время погрузки и разгрузки.

Транспортную работу легковых автомобилей, находящихся в личной собственности, в формуле (34.2) не учитывают.

Инвестиции на увеличение оборотных средств, находящихся в транспортном процессе, $C^u(t)$ оценивают по формуле

$$C^u(t) = \frac{c}{365 \cdot 24} \cdot [Q(t) \cdot w(t) - Q(t-1) \cdot w(t-1)],$$

где c — стоимость 1 т грузов круглогодичного производства и потребления; Q — объемы перевозимых грузов; w — время доставки продукции, включая время погрузки, разгрузки, перевалки и перевозки, ч.

Затраты на создание запасов из-за отсутствия регулярного проезда.

Если возникает необходимость создания сезонных запасов из-за нерегулярного проезда (например, из-за разлива или ледохода на реках), учитывают издержки из-за связывания оборотных средств:

$$C^z = \frac{1}{2} \cdot \sum_i \frac{t^z}{365} \cdot \sum_i (c^z + c^q \cdot E^z) \cdot Q^z, \qquad (34.3)$$

где E^z — потери из-за связывания 1 руб. дополнительных оборотных средств; $t^z(t)$ — период (дни), на который создаются дополнительные запасы продукции из-за нерегулярного проезда; c^z — стоимость хранения 1 т продукции; c^q — стоимость 1 т запасов; Q^z — объем дополнительных запасов, т.

Коэффициент E^z можно оценивать процентной ставкой за год краткосрочного кредита без учета инфляции (20—30%). Если в году несколько периодов создания запасов из-за нерегулярного проезда, то формулу (34.3) применяют для каждого такого периода и результаты суммируют.

Текущие затраты на перевозку пассажиров и грузов автомобильным транспортом включают оплату труда водителей, затраты на топливо и прочие ГСМ, автомобильные шины, техническое обслуживание и ремонт, восстановление автомобильного парка и зависят от расстояния, скорости, времени, транспортных условий (количество торможений и разгонов, время ожидания в заторах, качество дорожного покрытия). Для более точной оценки времени движения автомобилей год разбивают на периоды (например, будние дни летнего периода, выходные дни, ночные и дневные часы и т.д.).

Затраты на погрузочно-разгрузочные работы равны произведению затрат на погрузку и разгрузку одного грузового автомобиля и количества отправленных из пунктов назначения грузовых автомобилей.

Затраты на перевалку грузов равны произведению затрат на перевалку одной тонны грузов и объемов перевалки в тоннах. Учитывают только затраты, не включенные в стоимость перевозки грузов автомобильным транспортом.

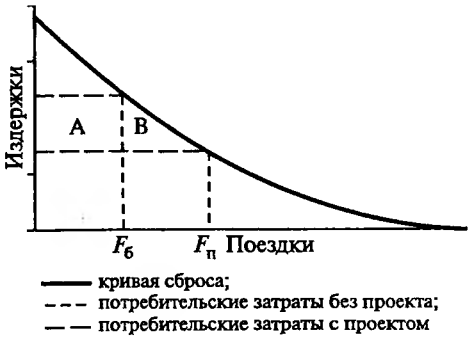
Потери перевозимой продукции в стоимостном выражении включают потери во время погрузочно-разгрузочных работ и потери в течение поездки, кроме потерь, учтенных в других статьях затрат.

Затраты на перевозку пассажиров и грузов прочими видами транспорта.

В Методических указаниях ВСН 21—83 затраты на перевозку железнодорожным транспортом учитывают как эксплуатационные затраты железнодорожного транспорта. Однако потребители оплачивают стоимость услуг железнодорожного транспорта, а не стоимость издержек. Определение экономических цен на услуги естественных монополий (например, МПС) имеет свою специфику, но в первом приближении можно использовать в расчетах затраты потребителей на осуществление перевозок.

Выгоды от дополнительных поездок.

Для оценки выгод от дополнительных поездок, порождаемых улучшением транспортных условий, в странах Запада применяют так



Р и с. 34.2. Кривая спроса

называемое правило половины (rule of half), которое заключается в том, что выигрыш таких поездок составляет некоторую часть от выигрыша существующих поездок (рис. 34.2).

Кривая спроса иллюстрирует рост числа поездок в зависимости от снижения потребительских затрат (издержек). Прямоугольник А представляет собой суммарное сокращение затрат (или выигрыш) существующих поездок, количество которых отмечено на графике символами $F_б$; треугольник В — выигрыш дополнительных поездок. Количество дополнительных поездок равно $(F_п - F_б)$. Это правило не учитывает эффектов, связанных с возможным увеличением производства транспортируемой продукции.

Если $z_{tб}$ — потребительские затраты на одну поездку грузового автомобиля без проекта, а $z_{tп}$ — те же затраты с проектом, то исходя из предположения, что потребители выбирают наиболее выгодные альтернативы, чистый потребительский доход от дополнительной поездки составит от 0 до $(z_{tб} - z_{tп})$. Обычно принимают равным половине разности $(z_{tб} - z_{tп})$.

Чистые общественные выгоды от дополнительных грузовых перевозок $E_{гп}$:

$$E_{гп} = \left[\frac{1}{2}(z_{tб} - z_{tп}) - E_x\right] F_г,$$

где $F_г$ — количество дополнительных грузовых поездок; E_x — внешние эффекты (экстерналии) на одну дополнительную поездку.

Выгоды от дополнительных пассажирских поездок $E_{пп}$:

$$E_{пп} = \left[\frac{1}{2}(z_{tб} - z_{tп}) - E_x\right] F_п, \qquad (34.4)$$

где $F_п$ — количество дополнительных пассажирских поездок.

Выгоды от вложения дополнительных финансовых средств. Сокращение затрат и увеличение выгод предприятий и организаций дает возможность для дополнительного финансирования экономики. Сокращение денежных затрат на транспорт в домашнем секторе ведет к увеличению совокупного спроса и производству дополнительных товаров и услуг.

Выгоды от вложения в экономику дополнительных финансовых средств $V_ф$:

$$V_ф = k_г c_г + k_п c_п,$$

где $k_г$ — коэффициент выгод от вложения в экономику средств, сэкономленных на грузовых перевозках, может быть принят равным ставке процента краткосрочного кредита без учета инфляции (0,2—0,3) исходя из предположения, что альтернативный способ получения дополнительных средств — это взятие краткосрочного кредита; $c_г$ — суммарная экономия финансовых средств, затрачиваемых на грузовые перевозки; $k_п$ — коэффициент выгод от вложения в экономику средств, сэкономленных населением на пассажирских поездках; $c_п$ — суммарная экономия финансовых средств, затрачиваемых населением на пассажирские поездки.

Коэффициент $k_п$:

$$k_п = (1 - v_s) v_e + v_s b_п, \qquad (34.5)$$

где v_s — доля сбережений в доходах населения; v_e — доля общественных выгод в рыночной стоимости товаров или услуг; $b_п$ — средний банковский процент (без учета инфляции) по вкладам населения.

По результатам экспертной оценки коэффициент $k_п$ может быть принят равным 0,1.

Формула (34.5) не учитывает фактор увеличения возможностей для экономической деятельности от улучшения транспортной доступности.

С учетом этого фактора формулы (34.4) и (34.5) можно переписать:

$$E_{гп} = \left[(1-p)\frac{1}{2}(z_{tб} - z_{tп}) + p(c - z)\hat{q} - E_x \right] F_г, \qquad (34.6)$$

$$V_f = (1 - v_{ts})(k_г c_г + k_п c_п), \qquad (34.7)$$

где p — доля поездок, вызванных увеличением производства, от общего числа дополнительных поездок; c — стоимость 1 т грузов; z — стоимость в условиях без проекта ресурсов, затраченных на производство 1 т транспортируемой продукции; $\hat{q}$ — объемы грузов в од-

ном автомобиле, т; v_{ts} — доля дополнительных финансовых вложений, которая влияет на величину $pF_{\text{т}}$.

Стоимостная оценка затрат времени населения непосредственно связана с оценкой стоимости трудовых ресурсов и может быть произведена с двух точек зрения: экономической и индивидуальной (потребительской). Экономическая стоимость времени учитывает не только индивидуальную полезность, но и экстерналии, а именно:

потери в производстве продукции или услуг из-за потерь рабочего времени, потраченного на поездки;

потери в производстве продукции или услуг из-за транспортной усталости;

изменения функции общественного благосостояния в зависимости от мобильности населения;

искажения в оплате труда, вызванные неэффективной экономической политикой.

Стоимостную оценку времени населения для условий России можно принимать:

в рабочее время — 100—115% средней часовой зарплаты плюс дополнительные расходы работодателя;

трудовые и культурно-бытовые поездки — 75% часовой оплаты для водителя;

35% часовой оплаты для взрослого пассажира;

25% — для ребенка до 16 лет.

С учетом специфики российской экономики в сценарных расчетах могут быть использованы более высокие стоимостные коэффициенты (в 1—1,5 раза).

Поездки, требующие повышенные затраты времени, оценивают повышенным коэффициентом стоимостной оценки. При отсутствии эмпирических данных используют формулу:

$$s_{\text{п}} = \left(1 + \frac{F_1 - F_0}{F_1}\right) s,$$

где $s_{\text{п}}$ — стоимостные затраты 1 ч времени пассажиров в худших транспортных условиях; s — стоимостные затраты в нормальных условиях; F_0 — количество пассажирских поездок в худших условиях (или без проекта); F_1 — количество пассажирских поездок в нормальных условиях (например, с проектом).

Социальные и экологические воздействия. Социальные и экологические результаты рассматривают как самостоятельные критерии оценки инженерного проекта дорожного строительства, но они могут быть включены также в общий список затрат-выгод оценки общест-

венной эффективности. Виды социальных и экологических результатов следующие:

ущерб от дорожно-транспортных происшествий;

экологически вредные выбросы автомобилей;

утилизация шин и автомобилей;

загрязнение окружающей среды в результате обслуживания или ремонта автомобилей;

не включенные в рыночную стоимость ресурсов загрязнение среды в процессе добычи, обработки и транспортировки ресурсов, а также влияние на будущие поколения невосполнимости некоторых ресурсов;

нарушение естественной природной среды, например вырубка лесов, нарушение естественной водной среды, эрозия почв и т.д.

Затраты и выгоды изменения характера землепользования учитывают как разность стоимости чистой продукции, которая могла быть произведена на землях с проектом и без проекта:

$$S_z(t) = S_z^{пр}(t) - S_z^{бп}(t),$$

где $S_z(t)$ — выгоды (> 0) или потери (< 0) в году t от изменения характера землепользования; $S_z^{пр}(t)$ — стоимость чистой продукции в году t в условиях с проектом; $S_z^{бп}(t)$ — стоимость чистой продукции в году t в условиях без проекта.

Изменение рыночной стоимости земель и недвижимости.

Особенность учета данного эффекта состоит в том, что он является производным от других факторов, которые также могут быть учтены в проектном анализе (например, ухудшение экологической обстановки, изменение длительности поездки). Поэтому при проведении проектного анализа, во избежание двойного счета эффектов, нужно определять, во-первых, влияние каких факторов на экономическое развитие предполагается измерить с помощью прогноза рыночной стоимости земель и недвижимости, во-вторых, нет ли альтернативных подходов, более достоверных для такой оценки, в-третьих, какая часть прогнозируемого изменения рыночной стоимости земли и недвижимости связана с анализируемыми факторами.

Затраты и выгоды в связи с выводом объектов из эксплуатации учитывают, если эксплуатация определенных объектов становится нецелесообразной или невозможной (например, временные сооружения).

Расходы на содержание и ремонт дорожных объектов в укрупненных расчетах могут быть определены как доли от капитальных вложений или исходя из типов дорог и величин прогнозируемых транс-

портных потоков. Более точная оценка требует составления сметной стоимости.

Затраты по организации и содержанию паромных и ледовых переправ оценивают по максимальной из двух величин: стоимости организации и содержании переправ и стоимости осуществления переправы.

Глава 35

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗЫСКАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

35.1. Особенности традиционной технологии изысканий автомобильных дорог и ее анализ

Комплекс изысканий дорог и сооружений на них включает экономические, инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические изыскания, поиск и разведку местных дорожно-строительных материалов, проведение детальных обследований в районе проектируемой дороги для сбора всех исходных данных, необходимых для составления проекта.

В соответствии со старой (традиционной) технологией проектно-изыскательских работ сбор исходной информации, необходимой для разработки проекта, обычно производят в такой последовательности.

Перед выездом в поле осуществляют вариантное трассирование автомобильной дороги по топографическим картам М 1:25 000 — 1:10 000, по топографическим планам М 1:5000 — 1:2000, а также по материалам старых аэрофотосъемок. В зависимости от стадии проектирования: технико-экономическое обоснование (ТЭО) или обоснование инвестиций (ОИ), инженерный проект (ИП), рабочая документация (РД) или рабочий проект (РП) рассматривают различное количество вариантов и подвариантов трассы. При этом наименьшим числом вариантов ограничиваются на поздних (предпостроечных) стадиях проектирования.

Осуществляют сопоставление вариантов и подвариантов трассы по весьма ограниченному набору показателей: длина трассы, геометрические характеристики плана и продольного профиля, ориентировочные объемы строительных работ, количество водопропускных труб и малых мостов, средних и больших мостов и путепроводов, развязок движения в разных уровнях, условия пересечения средних и

больших водотоков, ориентировочная площадь занимаемых угодий и т.д. Сопоставление вариантов трассы осуществляют при ограниченном объеме либо при полном отсутствии совершенно обязательной информации о почвенно-грунтовом, гидрогеологическом и инженерно-геологическом строении местности, качестве и стоимостях отчуждаемых земель, состоянии существующих автомобильных дорог и мостовых переходов при их реконструкции и т.д. Тем не менее на этой стадии уже принимают окончательное решение о выносе в натуру, как правило, одного-единственного варианта с выполнением по нему всего комплекса полевых изыскательских работ.

В полевой период осуществляют сбор информации о местности по единственному априорно выбранному варианту трассы:

трассирование (вешение) принятого варианта автомобильной дороги с рубкой (если необходимо) просек и обозначением трассы на местности заменками. Вешение прямых направлений трассы осуществляют с использованием оптических теодолитов типов 2Т30П, 4Т30П, 2Т5КП и т.д. Вешение наиболее надежно и просто осуществляют, сведя к минимуму коллимационную погрешность переводом трубы «через зенит» при двух кругах теодолита (КЛ и КП);

закрепление трассы в плане стандартными деревянными или железобетонными осевыми и угловыми столбами, земляными конусами, привязкой к постоянным предметам (методом линейных засечек), а в высотном отношении — притрассовыми реперами;

разбивка пикетажа с использованием землемерных двадцатиметровых стальных лент типа ЛЗ и в отдельных случаях шкаловых типа ЛЗШ. В ходе разбивки пикетажа осуществляют установку пикетных и плюсовых точек в характерных местах трассы, в главных точках трассы (начало, середина, конец кривых). В ходе разбивки пикетажа ведут пикетажный журнал, в который заносят: пикетные и плюсовые точки, положение вершин углов и направления поворота трассы, результаты съемки методом прямоугольных координат притрассовой полосы по 100 м в обе стороны в масштабное 1:2000 (в пределах будущей полосы отвода — инструментально, далее — глазомерно), направление поверхностного стока, знаки закрепления трассы и их схемы и т.д. В пикетажном журнале осуществляют расчеты элементов горизонтальных кривых и пикетажного положения их главных точек.

В последние годы при традиционных изысканиях стал находить распространение «беспикетный» метод полевых работ с применением электронных тахеометров типов Та3М, 3Та5, Sokkia и т.д. и безотражательных светодальномеров.

При изысканиях реконструкции существующих дорог при разбивке пикетажа в последнее время стали широко применять измери-

тельные колеса (полевые курвиметры), механические типа SK3 или электронные типа F20.

Двойное геометрическое нивелирование по оси трассы (по разбитому пикетажу) с использованием точных и технических нивелиров с цилиндрическими уровнями при трубе типа Н-3, 2Н-3Л, с компенсаторами типа 3Н-2КЛ, Н-10КЛ, а также электронных (регистрирующих) нивелиров типа RENI 002A, DL-102C и т.д.

В ходе продольного нивелирования трассы первый нивелир фиксирует все точки трассы: пикеты, плюсы, главные точки, реперы и т.д., в то время как второй нивелир — только связующие точки;

съемку поперечников иногда осуществляют геометрическим нивелированием (в равнинной местности), но чаще тригонометрическим нивелированием с использованием малогабаритных оптических теодолитов типов 2Т-30, 2Т-30П, 4Т-30П;

тахеометрические съемки сложных мест (мостовые переходы, развязки движения, участки сложного водоотвода и т.д.). Обычно выполняют крупномасштабные съемки М 1:1000, 1:500 и даже 1:200 с использованием оптических теодолитов или электронных тахеометров;

инженерно-гидрологические работы: морфометрические, гидрометрические, аэрогидрометрические. В рамках старой (традиционной) технологии проектно-изыскательских работ тем не менее уже находят эпизодическое применение такие современные методы сбора гидрометрической информации, как ультразвуковое эхолотирование с использованием модернизированного инж. Ю.М.Митрофановым портативного эхолота «Язь», применение электронных скоростемеров, использование методов аэрогидрометрии и т.д.;

инженерно-геологическое обследование по оси трассы: шурфовочные работы, ручное бурение, механическое бурение с использованием легких, переносных станков типа М-1, легких прицепных станков типа БУКС-ЛГТ, самоходных буровых установок типа АВБ-2М (вибрационного бурения), УКБ-12/25 (ударно-канатного бурения) и т.д.

Методы геофизической разведки при традиционных изысканиях автомобильных дорог находят лишь эпизодическое применение и главным образом вертикальное электрозондирование (ВЭЗ), а также динамическое и статическое зондирование;

разведка местных дорожно-строительных материалов, где методы геофизической разведки используют чаще и более широко;

согласование проектных решений с землепользователями, заинтересованными организациями и ведомствами. В рамках традиционной технологии проектно-изыскательских работ согласования выполняют путем непосредственных контактов изыскателей с земле-

пользователями и представителями заинтересованных организаций и ведомств.

Основные принципиальные недостатки традиционной технологии технических изысканий автомобильных дорог:

сбор информации о местности на узкой полосе (60—200 м) вдоль априорно выбранного варианта трассы (как правило, единственного);

невозможность при последующей разработке проектов использования в полной мере систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них (САПР-АД), поскольку отсутствует информация о местности в объеме, достаточном для многовариантной проработки многих принципиальных направлений трассы;

получение при проектировании во многом случайных, неоптимальных инженерных решений;

низкая производительность изыскательских работ, их высокая стоимость и недопустимо длительные сроки производства изысканий, что связано прежде всего с недостаточно широким использованием современных методов и технологий сбора изыскательской информации о местности: ГИС-технологий, GPS-технологий, аэрокосмических изысканий, цифровой фотограмметрии, лазерного сканирования местности, электронной тахеометрии, аэро- и электронной гидрометрии, ультразвукового эхолотирования, геофизических методов инженерно-геологической разведки и т.д.;

невысокая точность получаемой изыскательской информации;

получение изыскательской информации в виде топографических планов, продольных и поперечных профилей, инженерно-геологических разрезов, отчетов о проведенных экономических изысканиях, топографо-геодезических, гидрометеорологических, инженерно-геологических работах в виде, требующем последующей обработки для ее представления в электронном (цифровом) виде.

35.2. Особенности технологии изысканий автомобильных дорог при проектировании на уровне САПР-АД

В связи с произошедшим в стране в последние десятилетия реальным переходом на технологию и методы производства проектно-изыскательских работ на уровне САПР-АД старая традиционная технология производства изыскательских работ стала неприемлемой для обеспечения современного качественного проектирования автомобильных дорог и во многом стала сдерживающим фактором для дальнейшего развития проектно-сметного дела.

Быстрое развитие средств автоматизации и вычислительной техники предопределило качественное изменение технологии и методов производства проектно-изыскательских работ для разработки проектов новых и реконструируемых автомобильных дорог.

Системное, автоматизированное проектирование предопределяет обязательную многовариантность проработки принципиальных инженерных решений (при автоматизированном проектировании рассматриваемое число вариантов существенно больше по сравнению с традиционной технологией). Это прежде всего касается плана трассы, положения проектной линии продольного профиля, конструктивных элементов автомобильных дорог и т.д. Объем исходной изыскательской информации в связи с этим многократно возрастает и, учитывая сжатые (фиксированные) сроки проектирования, эта информация в необходимом объеме уже не может быть получена традиционными методами производства изыскательских работ с использованием морально устаревшего геодезического и инженерно-геологического оборудования. Кроме того, форма представления изыскательской информации не отвечает требованиям системного автоматизированного проектирования.

При многовариантной проработке на уровне САПР-АД большого числа возможных направлений трассы автомобильной дороги уже недостаточно информации, собираемой на узкой полосе вдоль априорно принятого варианта автомобильной дороги, а необходима информация в весьма широкой полосе варьирования, где могут разместиться конкурирующие варианты автомобильной дороги. Эта информация (экономическая, топографическая, почвенно-грунтовая, гидрогеологическая, инженерно-геологическая, гидрометеорологическая и т.д.) не может быть получена в сжатые сроки при использовании традиционных методов и технологий наземных изысканий.

Технология и методы производства изыскательских работ на уровне САПР-АД получили широкое развитие в большинстве стран ближнего и дальнего зарубежья. В Российской Федерации в последние годы также произошел переход в проектно-изыскательском деле на технологию и методы системного, автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них.

Отличительными особенностями производства изыскательских работ при проектировании на уровне САПР-АД являются:

применение при экономических изысканиях автомобильных дорог и сооружений на них баз данных и геоинформационных систем (ГИС);

получение топографо-геодезической, инженерно-геологической, гидрометеорологической и других видов изыскательской информа-

ции в пределах широкой полосы варьирования трассы, без выноса в натуру конкретного варианта трассы. Ширина полосы варьирования может быть особенно значительной (до 1/3 длины трассы) на ранних стадиях проектирования (ОИ), когда рассматриваются принципиальные, конкурирующие направления автомобильной дороги. На этой стадии нередко используют разобщенные зоны варьирования по принципиальным направлениям трассы будущей дороги;

широкое использование методов аэрокосмических изысканий: экономических, аэросъемочных, аэрогеодезических, аэрогеологических, аэрогидрометрических и т.д.;

широкое применение методов наземной стереофотограмметрии (фототеодолитных съемок);

широкое применение методов электронной стереофотограмметрии с обработкой материалов аэрокосмических и наземных съемок с использованием автоматизированных систем цифровой фотограмметрии ЦФС типа «Photomod». Использование при производстве наземных и аэросъемок электронной (цифровой) съемочной аппаратуры;

повсеместное применение методов электронной тахеометрии (т.е. использование электронных тахеометров, светодальномеров, регистрирующих нивелиров и других электронных приборов, автоматически регистрирующих результаты полевых измерений на магнитные носители информации для прямого ввода в память компьютеров);

автоматизация обработки и регистрации полевой изыскательской информации;

подготовка изыскательской информации в виде, пригодном для оперативного использования при системном автоматизированном проектировании, т.е. получение цифровых (ЦММ) и математических (ММММ) моделей местности на полосе варьирования трассы;

широкое применение геофизических методов при инженерно-геологических изысканиях с рациональным использованием всего арсенала методов и средств геофизики (электро-, сейсморазведки, радиоактивного каротажа, статического и динамического зондирования и т.д.);

широкое применение методов воздушного и наземного лазерного сканирования местности (особенно при изысканиях для разработки проектов реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог);

повсеместное использование в изысканиях автомобильных дорог (экономических, топогеодезических, инженерно-геологических, геологоразведочных, гидрометеорологических и т.д.) космических

технологий и методов, основанных на применении систем спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС.

Перечисленные выше особенности изысканий позволяют получать громадную по объему информацию для автоматизированного проектирования автомобильных дорог с необходимой точностью, в сжатые (фиксированные) сроки и в виде, пригодном для последующей компьютерной обработки данных.

Основными задачами дальнейших исследований является разработка новых технологий и методов производства изыскательских работ на базе использования новейшей высокоточной и высокопроизводительной аппаратуры, являющейся продуктом стремительного развития научно-технического прогресса: цифровых и электронных карт, ГИС-технологий, спутниковых технологий, лазерного сканирования местности, электронной геофизики, электронной гидрометрии и т.д.

35.3. ГИС-технологии в изысканиях автомобильных дорог

Понятие о геоинформационных системах (ГИС) дано в гл. 10, кн. 1.

В ходе изысканий автомобильных дорог ГИС используют прежде всего для получения новейшей картографической информации с различными нагрузками и в различных масштабах в виде цифровых и электронных карт и получаемых на их основе топографических карт на бумажных носителях информации.

При изысканиях для разработки инженерных проектов (ИП), обоснований инвестиций (ОИ) или технико-экономических обоснований (ТЭО) с непосредственным использованием ГИС решают следующие разделы:

природно-климатические условия района проектирования: климат, рельеф, гидрография, растительность и почвы, инженерно-геологические и гидрогеологические условия;

транспортная сеть района тяготения (автомобильные дороги, железные дороги, трубопроводы, воздушный транспорт, внутренние водные пути сообщения);

состояние сети автомобильных дорог: годы постройки, категория дорог, состояние дорожных покрытий, земляного полотна, обочин, мостов, путепроводов, водопропускных труб и малых мостов, системы поверхностного водоотвода, обстановки и принадлежностей дорог и т.д.;

экономика района тяготения (промышленность, сельское хозяйство, транспорт и т.д.);

грузооборот, пассажирооборот, грузонапряженность на существующей транспортной сети в существующих условиях;

распределение общего объема грузоперевозок по видам грузов: промышленные, сельскохозяйственные, строительные, лесные, торгово-снабженческие;

распределение объемов перевозок по видам транспортных связей: межобластные, межрайонные, внутрирайонные;

транспортно-эксплуатационные показатели участков автомобильных дорог: объемы грузовых перевозок, интенсивность и состав существующих транспортных потоков, средняя скорость транспортных потоков;

потери от ДТП;

себестоимость перевозок;

существующие показатели работы автотранспорта: коэффициент использования пробега, коэффициент использования грузоподъемности автотранспорта, средняя грузоподъемность грузового автотранспорта, количество дней работы автотранспорта в году;

существующая интенсивность движения и состав транспортных потоков в узлах и на перегонах существующей транспортной сети.

Одной из главных задач использования ГИС-технологий в изысканиях автомобильных дорог является обеспечение автоматизированных согласований принципиальных проектных решений (план трассы, продольный профиль, условия пересечений существующих железных, автомобильных дорог, коммуникаций, водотоков, снос, отвод земель и т.д.) с заинтересованными организациями, ведомствами, частными пользователями и владельцами.

35.4. Методы обоснования полосы варьирования конкурирующих вариантов трассы

Размеры *полосы варьирования* конкурирующих вариантов трассы в значительной степени определяют как объемы аэро- и наземных изысканий, так и объемы проектных работ по поиску наилучшего положения трассы. Назначение излишне широкой полосы варьирования приводит к неоправданному увеличению объемов проектно-изыскательских работ и сильно осложняет поиск наилучшего проектного решения. При занижении ширины полосы варьирования возникает опасность, что наилучший вариант трассы может оказаться за пределами зоны, освещенной материалами изысканий.

В связи с этим обоснованию размеров зоны варьирования трассы должно уделяться исключительное внимание. Выбранная зона варьи-

рования должна охватывать все участки местности, где могут пройти конкурирующие варианты автомобильной дороги.

Ширину полосы варьирования трассы до недавнего времени устанавливали по топографическим картам (обычно М 1:25 000 — 1:10 000), по материалам аэросъемок прошлых лет и по результатам воздушных обследований с учетом топографо-геодезических, ситуационных, инженерно-геологических, почвенно-грунтовых, гидрогеологических, гидрометеорологических и других условий. При этом обоснование полосы варьирования осуществлялось, как правило, субъективно без использования аналитических методов и компьютерной техники.

В практике изысканий и проектирования дорог за рубежом (например, в США, Канаде и др.) выбору полосы варьирования трассы на стадии подготовительных работ, предшествующих собственно изысканиям, уделяется огромное внимание. И это не случайно, поскольку при обоснованной полосе варьирования трассы в ходе последующего проектирования удается находить проектные решения, строительная стоимость которых до 10% ниже стоимости вариантов без предварительного детального обоснования полосы варьирования, при одновременном снижении стоимости изысканий и проектирования, трудовых затрат и сокращения сроков выполнения проектно-изыскательских работ. В США, например, в связи с этим затраты на рекогносцировочные изыскания и обоснование полосы варьирования составляют около 50% суммы затрат на весь комплекс изыскательских работ.

Аналитический метод обоснования полосы варьирования трассы.

В связи с произошедшим в стране переходом на технологию и методы системного, автоматизированного проектирования автомобильных дорог все большее значение начинают приобретать методы аналитического обоснования полосы варьирования трассы с использованием компьютерных программ. Первый аналитический метод обоснования полосы варьирования трассы в нашей стране был разработан Д.Г. Румянцевым. Суть его сводится к следующему.

С использованием имеющихся топографических карт, цифровых и электронных карт, материалов аэроизысканий прошлых лет, материалов изысканий, выполненных на предшествующих стадиях проектирования, а также результатов воздушных обследований строят предварительную цифровую модель местности (ЦММ), которой охватывают заведомо большую территорию, чем это требуется для установления наилучшего направления трассы. Особенно часто для этой цели используют материалы изысканий предшествующих стадий проектирования, например, материалы рекогносцировочных изысканий на стадии обоснования инвестиций (ОИ) для обоснования полосы варьирования для разработки инженерного проекта (ИП) и т.д.

При подготовке предварительной ЦММ и аналитического определения границ полосы варьирования конкурирующих вариантов трассы из рассмотрения сразу же исключают объекты и участки местности, проход трассы автомобильной дороги через которые либо заведомо нецелесообразен (ценные сельскохозяйственные угодья, болота, оползни, осыпи, засоленные почвы, закарстованные участки местности, вечномерзлые грунты и т.д.), либо вовсе невозможен (территории промышленных предприятий, населенные пункты, территории оборонных объектов, заповедные зоны и т.д.), а также устанавливают фиксированные точки и направления, проход трассы через которые обязателен. Рассматривают также участки местности, где в ходе аналитического трассирования необходимо решить вопрос возможности их обхода либо пропуска через них трассы автомобильной дороги. К таким участкам относят отмеченные выше ценные сельскохозяйственные угодья, болота, оползни, осыпи, засоленные почвы, закарстованные участки и, кроме того, пучинистые участки местности, конусы выноса и т.д. Им придают соответствующие стоимостные значения возведения полотна автомобильной дороги и появляется возможность автоматического альтернативного решения трассы в пользу обхода участка местности с высокой стоимостью строительных работ либо в пользу прохождения с трассой по этому участку, если его обход связан со значительным удлинением трассы.

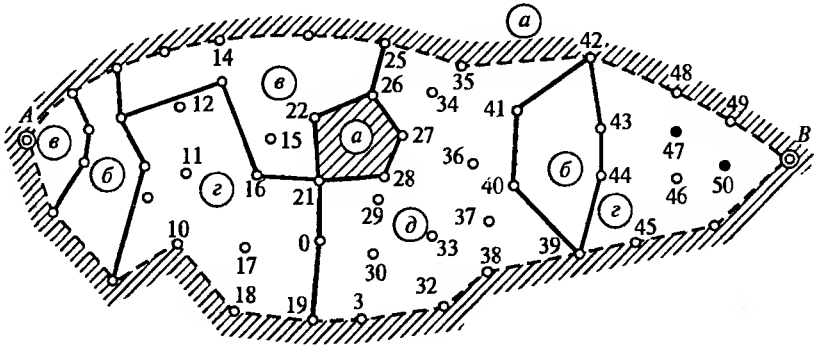
Границы полосы варьирования устанавливают путем аналитического предварительного компьютерного трассирования с использованием предварительной ЦММ, на которой отмечают границы участков, прохождение трассы через которые заведомо нецелесообразно (рис. 35.1, зона *а*); границы зон с различными стоимостными показателями возведения земляного полотна автомобильной дороги (рис. 35.1, зоны *б—д*); структурные линии с точками характерных изломов местности. При этом точки излома контуров и рельефа нумеруют по линиям, располагаемым поперек направления воздушной линии.

Компьютерное определение границ полосы варьирования производится в такой последовательности (рис. 35.2):

из исходной точки трассы последовательно задают направления на все впереди лежащие точки первой (точки *1, 2, 3, 4*) поперечной линии;

из каждой точки первой поперечной линии задают направления на все впереди лежащие точки второй (точки *5, 6, 7, 8, 9*) поперечной линии (см. рис. 35.2) при условии, что они не пересекают границ зон *а*;

в каждый образованный угол поворота трассы и в каждый перелом продольного профиля вписывают горизонтальные и вертикальные кривые минимальных радиусов сообразно категории дороги. Зоны размещения кривых ограничивают концом предыдущей и началом последующей кривых;

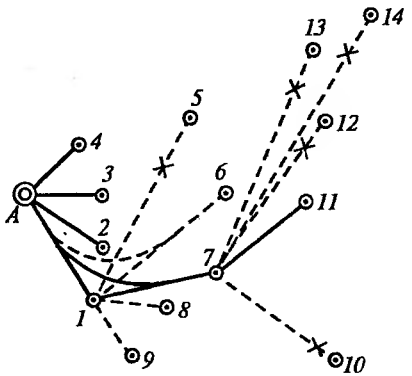


Р и с. 35.1. Цифровая модель местности для обоснования границ полосы варьирования трассы

все варианты, для которых допустимые радиусы кривых в плане и продольном профиле вписаны быть не могут, а продольные уклоны оказываются больше допустимых, из рассмотрения исключаются;

в пределах полученной таким образом зоны перебирают все возможные варианты, сопоставляя их между собой по укрупненным приведенным затратам. К дальнейшему рассмотрению принимают зону, разместившуюся между лучшим вариантом и прилегающими к нему вариантами, приведенные затраты для которых не отличаются более чем на 15% от лучшего варианта трассы. При этом могут быть получены разобщенные зоны, каждая из которых определяет свое принципиальное направление трассы. Появление разобщенных зон варьирования характерно для ранних стадий проектирования (ОИ).

Детальный сбор изыскательской информации осуществляют после этого уже только в пределах обоснованной полосы (или полос)



Р и с. 35.2. Вариантный перебор возможных направлений трассы

варьирования наилучших вариантов трассы. На ранних стадиях проектирования (ОИ) нередко приходится рассматривать значительное число принципиальных направлений трассы.

В связи с необходимостью при проектировании на уровне САПР-АД получения исходной экономической, топографической, инженерно-геологической, гидрогеологической, почвенно-грунтовой, гидрометеорологической и других видов обязательной изыскательской информации на полосе варьирования трассы значительной ширины самой важной на стадии производства полевых работ становится проблема использования современных, высокопроизводительных и достаточно точных методов автоматизированного сбора, регистрации и обработки исходных данных о местности. Эта задача может быть решена лишь при условии выполнения изыскательских работ силами специализированных организаций, оснащенных парком современного аэросъемочного, электронного геодезического, электронного стереофотограмметрического, навигационно-космического, инженерно-геологического оборудования, а также вычислительной техники, укомплектованной развитым парком периферийных устройств (лазерными и струйными принтерами, сканерами, плоттерами и т.д.).

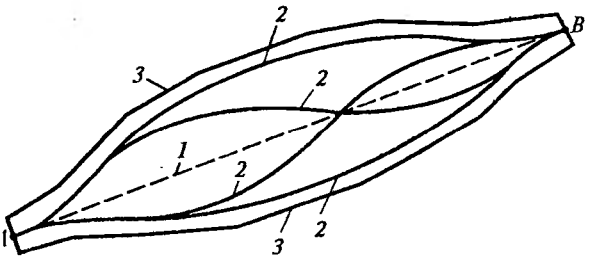
Основными задачами дальнейших исследований в этой важнейшей области изысканий являются:

научное обоснование дифференцированных в зависимости от стадий проектирования значений отклонений укрупненных приведенных затрат между лучшим вариантом трассы и двумя крайними, оконтуривающими границы зоны варьирования (в настоящее время это 15%). Очевидно, эти отклонения должны быть меньшими для более поздних стадий проектирования;

разработка нового метода обоснования полосы варьирования трассы, основанного на построении экономической модели местности (ЭММ) — «экономической лощины» с использованием принципов сплайн-трассирования.

Обоснование полосы варьирования трассы, основанное на инженерном опыте исполнителя в ходе изысканий автомобильных дорог в настоящее время используют наиболее часто в связи с тем, что общедоступные методы аналитического обоснования полосы варьирования трассы для широкого использования в Российской Федерации не разработаны. Суть такого способа обоснования полосы варьирования сводится к следующему.

С использованием имеющихся топографических карт масштабов 1:25 000 — 1:10 000, материалов аэрофотосъемок прошлых лет, материалов изысканий, выполненных на предшествующих стадиях про-



Р и с. 35.3. Схема к обоснованию полосы варьирования трассы, основанному на инженерном опыте исполнителя:

1 — воздушная линия; *2* — эскизные варианты и подварианты трассы; *3* — границы полосы варьирования

ектирования, а также результатов выполненного рекогносцировочного аэрокосмического и наземного обследования, с использованием гибкой линейки — сплайна или от руки выполняют эскизное трассирование всех возможных вариантов и подвариантов трассы.

Предварительно исключают (выделяют) участки местности, прохождение с трассой через которые недопустимо либо нежелательно (населенные пункты, ценные сельскохозяйственные угодья, болота, оползни, осыпи, засоленные почвы, закарстованные и пучинистые участки местности, конусы выноса, заповедные и водоохранные зоны, территории промышленных и оборонных предприятий и объектов и т.д.).

Для адаптации глаза к масштабу карты или топографического плана готовят либо используют шаблон круговой кривой минимального радиуса в соответствии со СНиП 2.05.02—85* для автомобильной дороги данной категории.

Полосу варьирования для последующих изысканий принимают между крайними конкурентоспособными вариантами трассы плюс по 100—150 м в сторону от каждого крайнего варианта (рис. 35.3).

Глава 36

ИЗЫСКАНИЯ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

36.1. Геодезические работы при изысканиях мостовых переходов

Одним из основных видов информации о местности, необходимой для разработки проектов мостовых переходов, являются материалы инженерно-геодезических изысканий. Состав изыскательских работ, масштабы, точность и объемы топографических съемок во многом зависят от стадии проектирования (ТЭО — технико-экономическое обоснование или ОИ — обоснование инвестиций, ИП —

инженерный проект, РД — рабочая документация или РП — рабочий проект).

Однако в соответствии с перечнем инженерных задач, решаемых при проектировании мостовых переходов, для любой стадии проектирования в том или ином объеме при изысканиях выполняют следующие обязательные виды основных работ:

инженерно-геодезические работы, связанные с трассированием вариантов мостовых переходов, созданием планово-высотного обоснования топографических съемок, выполнением теодолитных и топографических съемок, съемками продольных и поперечных профилей и т.д.;

гидрологические обследования, связанные со сбором материалов, характеризующих режим водотока, морфометрическими обследованиями речной долины;

гидрометрические работы, заключающиеся в съемках речного дна русла, определении скоростей течения, расходов воды, уклонов свободной поверхности, характеристик руслового процесса и т.д.;

инженерно-геологические работы по составлению геолого-литологических разрезов, почвенно-грунтовым, гидрогеологическим обследованиям, поиску местных дорожно-строительных материалов;

прочие работы, связанные с обследованием существующих гидротехнических сооружений для проектирования мостовых переходов в условиях взаимодействия с другими инженерными сооружениями на реках, установлением условий судоходства и лесосплава и т.д.

Для выполнения изыскательских работ создают специализированные партии (экспедиции), укомплектованные специалистами, необходимыми геодезическими приборами, гидрометрическим, инженерно-геологическим, аэрофотосъемочным и другим специальным оборудованием.

Изыскания мостовых переходов осуществляют в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный.

В *подготовительный период* перед выездом в поле изучают имеющиеся материалы на район изысканий: топографические, инженерно-геологические, гидрометеорологические, геоморфологические и экономические. В первую очередь собирают и изучают имеющиеся картографические и аэрофотосъемочные материалы на район изысканий.

В подготовительный период осуществляют предварительное трассирование вариантов мостового перехода, определяют объемы полевых изыскательских работ, укомплектовывают изыскательскую партию (экспедицию) инженерно-техническим персоналом и необходимым оборудованием.

Инженерно-геодезические работы в *полевой период* заключаются прежде всего в производстве топографических съемок с целью получения ситуационных и топографических планов, а также цифровых (ЦММ) и математических (ММММ) моделей местности в объеме, достаточном для обоснования выбора наиболее рационального створа перехода и для проектирования всех его основных сооружений (мост, подходы, регуляционные и укрепительные сооружения).

Ситуационный план в масштабе, как правило, не мельче 1:5000 снимают в пределах зоны, охватывающей все принципиальные варианты трассы мостового перехода в тех случаях, когда имеющиеся картографические и аэрофотосъемочные материалы по объему недостаточны или уже устарели.

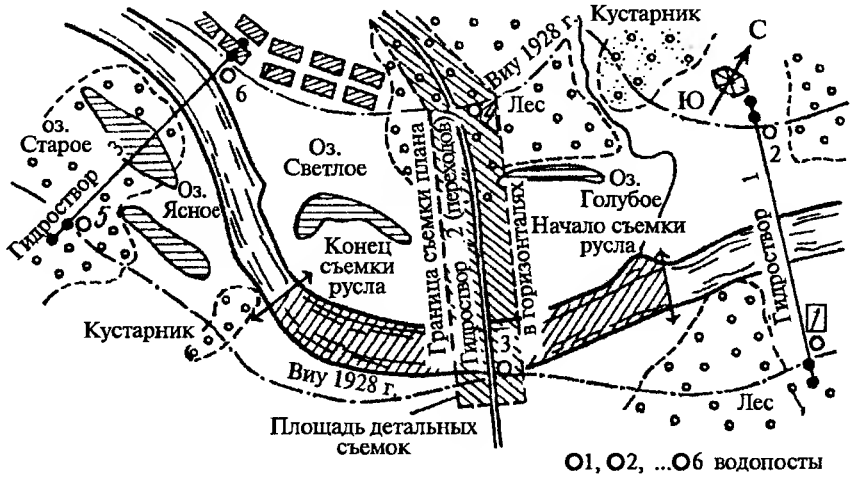
Ситуационный план снимают на всю ширину разлива реки в паводки с запасом ориентировочно еще на 200 м в стороны за линии урезов при расчетном уровне высокой воды $РУВВ_{1\%}$. Длину участка съемки по речной долине принимают не менее чем по 1,5 ширины разлива вверх и вниз по течению от оси каждого варианта трассы. Поэтому при относительно близко расположенных вариантах трассы мостового перехода снимают один общий план, охватывающий все принципиальные варианты плюс по 1,5 ширины разлива вверх и вниз по реке от крайних вариантов трассы мостового перехода.

На ситуационных планах фиксируют: все варианты трассы мостового перехода, русло реки, староречья, протоки и озера, линии границ разлива реки в паводки, населенные пункты, отдельные здания и сооружения на пойме, существующие автодорожные и железнодорожные мостовые переходы и другие гидротехнические сооружения, воздушные и подземные коммуникации, морфостворы и гидростворы, водомерные посты и т.д.

Ситуационные планы мостовых переходов снимают малогабаритными оптическими теодолитами (типов 2Т30, 2Т30П, 4Т30П и т.д.), электронными и компьютерными тахеометрами (типов Та3М, 3Та5, «Geodimeter 620S», «Sokkia» и т.д.), аэрокосмическими или наземно-космическими методами с использованием систем спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС. Использование трех последних современных методов сбора информации о местности является особенно эффективным при изысканиях мостовых переходов.

На рис. 36.1 представлен образец ситуационного плана с нанесенными на него положениями морфостворов, гидростворов, водомерных постов, а также границ разлива реки в паводки. На плане выделены участки, подлежащие подробной топографической съемке.

Детальную топографическую съемку для составления крупномасштабных планов и ЦММ выполняют, как правило, для окончательно



Р и с. 36.1. Ситуационный план мостового перехода

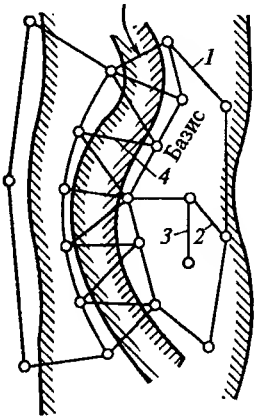
установленного направления варианта мостового перехода. Размеры детальной топографической съемки устанавливают исходя из необходимости проектирования моста, подходов к нему, струенаправляющих дамб, струеотбойных траверсов, срезок пойменных берегов. спрямлений русел, берегоукреплений, строительных площадок, цементобетонных (ЦБЗ) и асфальтобетонных (АБЗ) заводов, площадок ВОХР и т.д. Размеры подводных съемок назначают исходя из необходимости оценки русловой ситуации в районе мостового перехода, типа и количественных характеристик руслового процесса, оценки условий судоходства и сплава. Детальные топографические съемки выполняют обычно в масштабах 1:2000 для больших мостовых переходов и 1:1000 — для средних и малых мостовых переходов.

Ситуационным и топографическим съемкам предшествует создание съемочного обоснования. Наиболее часто съемочные обоснования мостовых переходов создают в виде замкнутых теодолитных ходов (полигонов) с диагональными и при необходимости висячими ходами, а также в виде микротриангуляции (рис. 36.2).

При создании съемочного обоснования измерение горизонтальных углов ведут полным приемом теодолита с допустимой угловой невязкой $f_\beta = 1{,}5'\sqrt{n}$, где n — число съемочных станций полигона. Измерение длин сторон полигона производят электронными тахеометрами, светодальномерами или компарированными землемерными лентами и рулетками с допустимой относительной невязкой 1:2000.

Весьма эффективным является измерение длин линий электронными тахеометрами или светодальномерами, что особенно важно в связи с необходимостью измерения неприступных расстояний через водные преграды. Высоты съемочных точек определяют геометрическим нивелированием с допустимой невязкой $f_h = \pm 50$ мм $\sqrt{L}$ (где L — длина двойного нивелирного хода, км).

Привязку съемочного обоснования мостового перехода производят к пунктам государственной геодезической сети или чаще — к трассе мостового перехода, при этом последнюю включают в съемочное обоснование.



Р и с. 36.2. Съемочное обоснование мостового перехода:

1 — замкнутый теодолитный ход (полигон); *2* — диагональный ход; *3* — висячий ход; *4* — микротриангуляция

Кроме топографической съемки планов в состав геодезических работ при изысканиях мостовых переходов входят:

разбивка вариантов трассы (вешение линий, закрепление трассы, разбивка пикетажа, двойное геометрическое нивелирование по оси трассы, съемка поперечников);

разбивка морфостворов и гидростворов, необходимых для выполнения гидравлических расчетов по морфометрическим и геометрическим характеристикам русла и пойм, а также для производства гидрометрических работ. Разбивку морфостворов и гидростворов часто производят методом тригонометрического нивелирования;

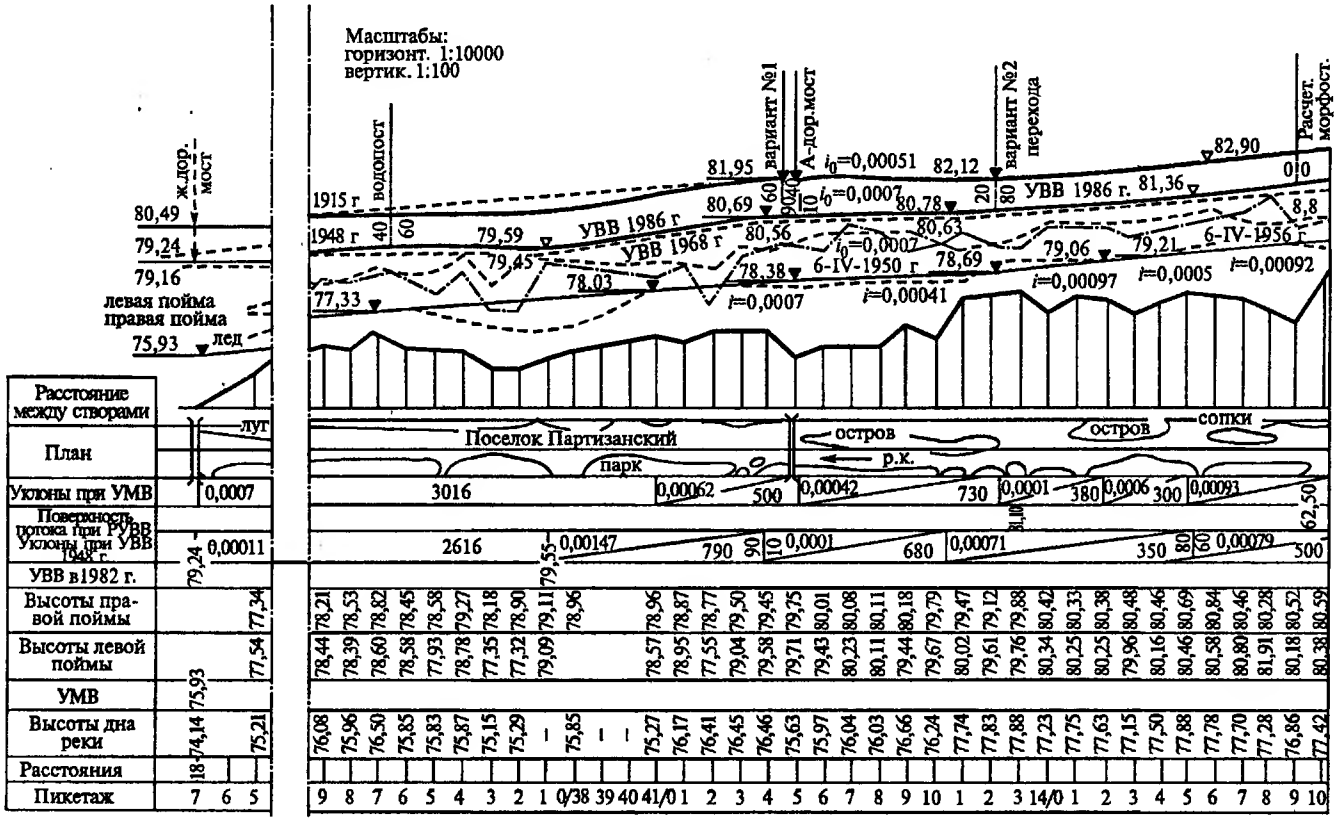
съемка продольного профиля реки, на который наносят профиль дна по фарватеру, профиль свободной поверхности потока при межени и высокой воде, бровки русла по правому и левому берегам, зафиксированные точки уровней высоких и исторических паводков и т.д. (рис. 36.3);

геодезическое обоснование гидрометрических работ (измерение скоростей течения и расходов воды; промеры глубин; измерение траекторий судов, плотовых составов, льдин и поплавков);

геодезическое сопровождение инженерно-геологических работ (привязка буровых скважин и выработок, съемка грунтовых карьеров и резервов и т.д.);

съемка пересекаемых коммуникаций;

обследование и съемка существующих близлежащих инженерных сооружений (прежде всего существующих автодорожных и железнодорожных мостовых переходов, капитальных и некапитальных плотин и т.д.).



Р и с. 36.3. Продольный профиль реки

При производстве изысканий мостовых переходов на современном этапе широко применяют аэрофотосъемку (аэротопографические работы, аэроморфометрические и аэрогидрометрические работы), наземную фотограмметрию (фототеодолитные съемки, особенно эффективные при морфометрических работах и обследовании существующих инженерных сооружений), электронную тахеометрию и наземно-космические съемки с использованием систем спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС. Эти современные методы и технологии сбора информации позволяют резко повысить производительность полевых работ и максимально автоматизировать процесс камеральной обработки материалов изысканий.

В *камеральный период* ведут обработку материалов полевых работ, готовят ситуационные и детальные топографические планы, продольные и поперечные профили, ЦММ, готовят отчеты о проведенных полевых работах. Широкое использование систем автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированных систем цифровой фотограмметрии (ЦФС), например «Photomod», современной компьютерной техники и сопутствующих устройств (лазерных и струйных принтеров, цветных графопостроителей, сканеров и других средств автоматизации) на современном этапе в ходе камеральных работ является обязательным.

36.2. Инженерно-геологические изыскания мостовых переходов

Инженерно-геологические изыскания мостовых переходов производят с целью:

определения инженерно-геологического строения русла реки и физико-механических свойств геологических напластований, необходимых для определения глубин заложения фундаментов опор;

определения характеристик грунтов для расчетов устойчивости насыпей подходов и регуляционных сооружений;

установления ожидаемых общих размывов русла, связанных со стеснением паводкового потока подходами к мосту;

определения пригодности пойменных грунтов в качестве строительного материала для сооружения насыпей подходов и регуляционных сооружений;

разведки карьеров местных дорожно-строительных материалов (песка, гравия, камня, привозного грунта).

При выполнении инженерно-геологических работ на мостовых переходах руководствуются Инструкцией по инженерно-геологическим изысканиям железнодорожных и автодорожных мостовых пере-

ходов. Варианты мостовых переходов выбирают на основе инженерно-геологической съемки, которая предшествует инженерно-геологическим работам по конкретно выбранному створу мостового перехода.

Рекомендуемые масштабы инженерно-геологических съемок мостовых переходов представлены в табл. 36.1.

Таблица 36.1. **Масштабы инженерно-геологических съемок**

Объекты	Категория геологической сложности		
	I	II	III
Место сооружения	1:2000	1:2000	1:1000
Участок долины реки, охватывающий все варианты перехода	1:25 000	1:5000	1:500

Основой инженерно-геологической съемки служат материалы аэрофотосъемок и топографические карты. Съемка охватывает полосу 300 м вверх и 200 м вниз по течению от оси перехода.

Во время инженерно-геологических изысканий выполняют буровые работы для получения разреза по оси мостового перехода с лабораторными исследованиями свойств грунтов, включая полевые методы определения их физико-технических показателей (пенетрация, зондирование и т.д.).

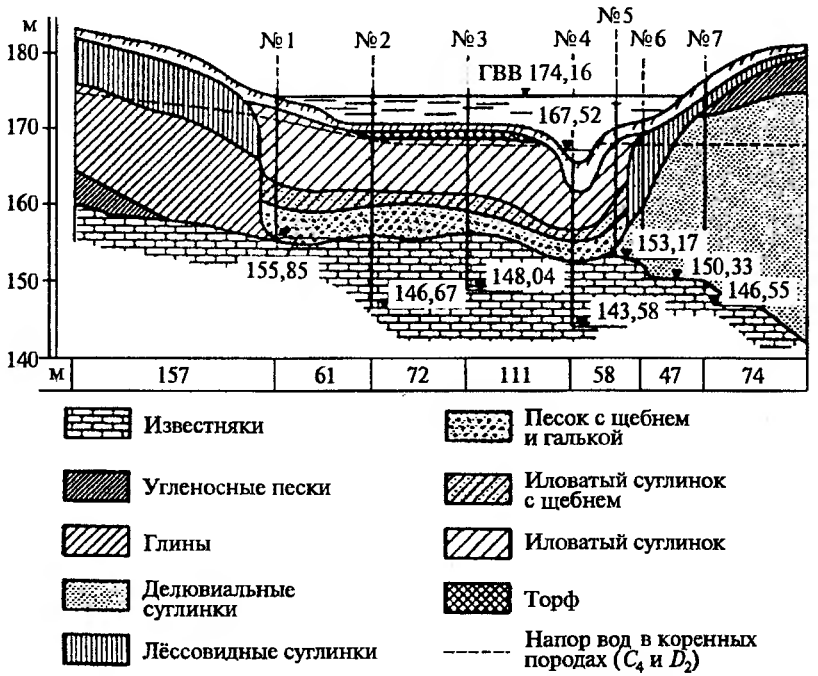
На каждом среднем мостовом переходе проходят не менее трех скважин (по берегам и в русле реки), на больших переходах — не менее чем по пять скважин. Во всех случаях глубина скважин должна быть не менее 15 м. Образцы для лабораторного анализа отбирают из всех слоев грунта (для определения гранулометрического состава, пластичности и естественной влажности). Кроме того, из слоев, которые могут явиться несущими, отбирают монолиты в количестве не менее шести из каждого слоя для определения угла внутреннего трения и сцепления. Для определения плотности, угла внутреннего трения и модуля деформации грунтов используют пенетрометры и прессиометры.

В дополнение к буровым работам обязательно используют геофизические методы, в задачи которых входят:

расчленение отдельных геоморфологических элементов долины на участки с различными инженерно-геологическими условиями;

установление состава и мощности аллювия;

выявление скрытых следов физико-геологических процессов (тектонических разрывов, поверхностей скольжения оползней, карстовых и суффозионных полостей, древних и современных размывов



Р и с. 36.4. Геолого-литологический разрез по оси мостового перехода

на берегах, пойме и в русле реки, погребенных льдов и границ вечномерзлых грунтов);

определение мощности вскрыши и полезных ископаемых:

определение положения уровня грунтовых вод;

определение влажности и плотности грунтов.

Для решения перечисленных выше задач на мостовых переходах применяют весь арсенал методов геофизики (вертикальное электрозондирование, электропрофилирование, каротаж скважин, резистивиметрию, сейсмо- и гравиаразведку, электродинамическое зондирование и радиоизотропные методы в различных модификациях с учетом поставленной цели и особенностей изучаемых массивов пород).

В результате работ по каждому варианту мостового перехода представляют: инженерно-геологический паспорт, включающий инженерно-геологическую карту; геолого-литологический разрез по оси мостового перехода (рис. 36.4); данные анализов и испытаний грунтов; пояснительную записку.

По выбранному варианту мостового перехода выполняют подробные инженерно-геологические изыскания в объеме, достаточном для разработки проекта моста.

Предварительно для составления сметы объемы буровых работ в месте расположения проектируемого моста устанавливают по табл. 36.2.

Таблица 36.2. **Рекомендуемые объемы буровых работ**

Длина моста, м	Число скважин при инженерно-геологических условиях	
	простых	сложных
25—100	3—5	5—7
100—200	5—7	7—9

Глубина разведочных скважин зависит от характера грунтов и типа фундамента и уточняется в каждом конкретном случае в задании главного инженера проекта.

При длине моста более 200 м необходимое количество скважин определяют по табл. 36.3.

Таблица 36.3. **Необходимое количество скважин**

Длина выделенного морфологического элемента долины, м	Число выработок	
	в пределах проектируемого моста	на подходах
До 25	1	1
25—50	1—2	1
50—100	2—3	1—2
100—500	3—5	2—3
> 500	Не реже чем через 100 м	Не реже чем через 200 м

При благоприятных инженерно-геологических условиях на берегах закладывают по одной скважине и одну скважину в русле реки; для большого моста выработки делают не реже чем через 100 м.

Буровые скважины, предназначенные для проектирования моста, располагают по всей длине мостового отверстия в районе мест расположения проектируемых опор. Скважины в обычных условиях закладывают по оси мостового перехода, а при большом поперечном падении геологических пластов также выше и ниже оси. Глубины сква-

жин от линии размыва подмостового русла не должны быть меньше величин, указанных в табл. 36.4.

Таблица 36.4. **Рекомендуемая глубина скважин**

Наименование грунтов	Глубина скважины, м
Скальные	Не менее 3 м ниже коры выветривания
Галечные	15
Песчаные	20
Глинистые	30
Слабые илистые	Не менее 15 м ниже кровли несущих нижних слоев

По результатам детальных инженерно-геологических изысканий представляют паспорт перехода, который включает: инженерно-геологическую карту; схему расположения выработок; схему размещения точек геофизических наблюдений; геолого-литологические разрезы; расчетные характеристики грунтов; химические анализы воды; пояснения с принципиальными рекомендациями по проектным решениям.

Для больших мостовых переходов составляют пояснительную записку (заключение). К заключению прилагают инженерно-геологическую карту с нанесенными вариантами мостовых переходов, геолого-литологическими разрезами и колонки выработок, данные анализов и испытаний грунтов и их расчетные характеристики.

36.3. Морфометрические и гидрометрические работы

При изысканиях мостовых переходов на реках выполняют, как правило, морфометрические работы, которые в необходимых случаях дополняют гидрометрическими наблюдениями.

Только морфометрическими работами ограничиваются в случаях, когда:

вблизи проектируемого объекта имеются водомерные посты Гидрометеослужбы, данные наблюдений которых обеспечивают надежное определение гидрологических и гидравлических характеристик водотока;

проектируемый объект расположен рядом с существующим мостовым переходом, опыт эксплуатации которого может быть использован при проектировании;

проектируемый объект расположен на участке реки с небольшими поймами;

проектирование объекта носит срочный характер и время проведения изысканий не совпадает со временем прохождения паводков на водотоке.

В остальных случаях кроме морфометрических необходимо проведение гидрометрических либо смешанных гидроморфометрических работ в весенне-летний период.

Морфометрические работы, выполняемые в меженный период и предназначенные прежде всего для определения количественных соотношений между геометрическими, морфометрическими и гидравлическими характеристиками русел и пойм рек, включают в себя:

определение гидрологических характеристик водотока;

обследование русла и пойм реки в районе проектируемого объекта с установлением типа и количественных характеристик руслового процесса;

выбор, разбивку, закрепление и съемку морфостворов;

установление и геодезическую привязку следов исторических паводков;

съемку продольного профиля реки по руслу;

обследование существующих инженерных сооружений на реке;

камеральную обработку материалов морфометрических изысканий.

Гидрометрические работы выполняют в два этапа.

До начала паводка проводят:

выбор, разбивку, закрепление и съемку гидростворов. Устройство в случае необходимости тросовых перетяжек;

устройство и геодезическую привязку водомерных постов;

сооружение вышек для поплавковых наблюдений и наблюдений за траекториями льдин, судов и плотовых составов;

производство подводной съемки меженного русла;

измерение толщин льда.

В период паводка выполняют:

водомерные наблюдения на водомерных постах (наблюдения за изменениями уровней воды);

измерения мгновенных уклонов свободной поверхности потока;

измерения скоростей течения и вычисление расходов воды;

измерения поверхностных скоростей и направлений течения поплавками, наблюдения за траекториями льдин, судов и плотовых составов;

промеры глубин (подводную съемку русла);

измерения твердого стока (расходов влекомых и взвешенных руслоформирующих наносов).

Изыскательские партии, выполняющие комплекс морфометрических и гидрометрических работ, должны быть снабжены плавучими средствами: весельными и моторными лодками, а на больших реках — катерами и понтонами. Должны иметь необходимый парк геодезических и гидрометрических приборов. При этом по возможности в изыскательских партиях целесообразно иметь светодальномеры, электронные тахеометры, приемники спутниковой навигации GPS или ГЛОНАСС, современные фототеодолитные комплекты, эхолоты, электронные скоростемеры, приборы геофизической разведки и т.д.

36.4. Устройство водомерных постов

Для изучения гидрологического, гидравлического и руслового режимов рек проводят регулярные наблюдения за изменениями уровней воды, определяют уклоны рек, измеряют скорости и направления скоростей течения, определяют расходы воды и расходы твердого стока (руслоформирующих наносов), измеряют толщины льда и т.д.

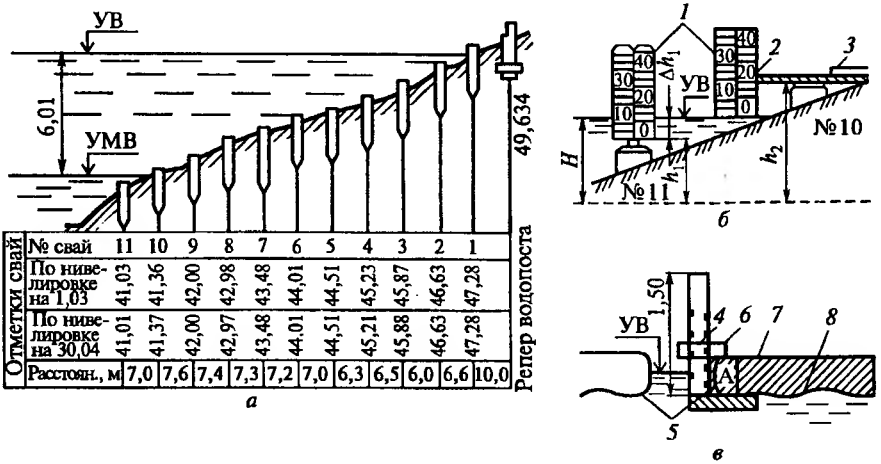
На участке изысканий мостового перехода, как правило, устраивают не менее трех водомерных постов. Один из них размещают по оси моста, а два других (для определения уклонов свободной поверхности) располагают вверх и вниз от оси на расстояниях в зависимости от уклона реки не менее:

Уклон, ‰ . . .	0,05	0,06	0,08	0,10	0,20	0,30	0,50	0,80	1,5 и более
Расстояние, км	5,5	4,1	2,7	2,0	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1

Указанные расстояния обеспечивают измерение уклона свободной поверхности с точностью до 10% при измерении уровней воды с точностью до 1 см.

Если в створе проектируемого мостового перехода на излучине меандрирующей реки имеет место разность уровней воды на противоположных берегах более 2 см, то устанавливают по три водомерных поста на каждом берегу.

На реках со сложной свободной поверхностью воды (горные, блуждающие реки, реки с широкими поймами и при наличии поперечного уклона) количество и размещение водомерных постов определяют в зависимости от местных условий. При этом, если направление



Р и с. 36.5. Свайный водомерный пост:

а — схема поста; *б* — схема промеров; *в* — определение толщины льда; *1* — водомерные рейки; *2* — линейка; *3* — уровень; *4* — ледомерная рейка; *5* — лунка; *6* — индекс; *7* — поверхность льда; *8* — нижняя кромка льда; H — высота уровня воды; h_1 — высота 1-й сваи; h_2 — высота 2-й сваи; Δh_1 — высота уровня воды над 1-й сваей водопоста; А — толщина льда

течения на пойме отличается от течения в главном русле, по концам обследуемого участка реки на поймах устанавливают водомерные посты реечного типа.

Различают водомерные посты:

свайные на беспойменных нескальных берегах рек (рис. 36.5);

реечные на поймах, в руслах при сравнительно небольшой амплитуде колебания уровней воды или на скальных берегах;

свайно-реечные на высоких пойменных берегах.

Водомерные посты размещают в местах, не подверженных размывам, навалу льдин, вне заводей, при отсутствии волнобоя, подпоров и обратных течений и т.д., по возможности на берегах с откосами 1:5 — 1:2.

Водомерные посты устраивают обязательно до начала паводка.

Свайный водомерный пост состоит из ряда свай, забитых в створе, перпендикулярном урезу воды (см. рис. 36.5, *а*). Для устройства свайных водопостов используют призматические мостовые сваи заводского изготовления, обрезки рельсов или деревянные сваи из прочного дерева, которые забивают в грунт ниже глубины сезонного промерзания. На торцах свай записывают их номера, при этом счет ведут сверху вниз от первой сваи. Последнюю сваю устанавливают ниже

уровня наименьшей межени. Превышения между торцами соседних свай не должны быть больше 0,5 м, при этом сами сваи не должны возвышаться над поверхностью земли более чем на 0,25 м.

При измерениях уровней воды на свайных водомерных постах используют переносные рейки с сантиметровыми делениями, которые нередко изготовляют ромбического поперечного сечения для лучшего обтекания водой на течении.

Реечный водомерный пост представляет собой рейку с сантиметровыми делениями и прямой оцифровкой длиной 2—3 м, укрепляемую на опоре моста, а на пойменных участках на стволе дерева или на забитой в грунт деревянной свае. Для этой цели часто используют обычные цельные деревянные трехметровые нивелирные рейки.

Для непрерывной автоматической фиксации колебаний уровней воды иногда применяют специальные автоматические приборы — ламниграфы, записывающие результаты измерений на магнитные носители информации.

При устройстве водомерного поста для контроля неизменности положения реек или свай вблизи него устанавливают репер, который закладывают по общим правилам устройства грунтовых реперов обязательно в месте, не подверженном затоплению в паводки. Реперы водомерных постов увязывают между собой и привязывают к пунктам государственной нивелирной сети двойным геометрическим нивелированием IV класса. Невязка разности суммы превышений между прямым и обратным нивелирными ходами не должна превышать $f_h = \pm 20$ мм $\sqrt{L}$ (где L — длина двойного нивелирного хода, км).

Высоты нуля рейки и головок свай устанавливают двойным геометрическим нивелированием технической точности, которое производят дважды до и после прохода паводков.

Измерения уровней в период межени воды производят два раза в сутки (в 8 и 20 часов). Во время паводка количество измерений увеличивают до 4, 6, 12 или 24 раз в сутки в зависимости от скорости подъема или спада уровней.

Если наблюдения производят при волнении, то отсчеты по рейке берут дважды при набеге и откате волны и за окончательный отсчет принимают среднее значение. Отсчеты заносят в специальный водомерный журнал и по окончании водомерных наблюдений строят графики изменения уровней воды (водомерные графики) $H = f(t)$ по всем водомерным постам.

36.5. Разбивка и закрепление на местности морфостворов и гидростворов

На обследуемом участке реки разбивают морфостворы, которые служат для:

построения профиля свободной поверхности потока при расчетном уровне высокой воды;

определения расходов и уровней воды;

определения распределения расчетного расхода между руслом и поймами.

Морфостворы предварительно намечают по крупномасштабным картам и располагают нормально к направлениям руслового и пойменного потоков. Морфостворы в необходимых случаях делают ломаными, размещая стороны ломаного хода нормально к ожидаемым направлениям течения речного потока в паводки.

Главный морфоствор назначают по оси проектируемого мостового перехода.

На меандрирующих реках морфостворы располагают в наиболее узком месте долины реки с наименьшим числом стариц и проток, на участках, где направления руслового и пойменного потоков практически параллельны.

На блуждающих реках морфостворы назначают в местах наименьшей ширины зоны блуждания.

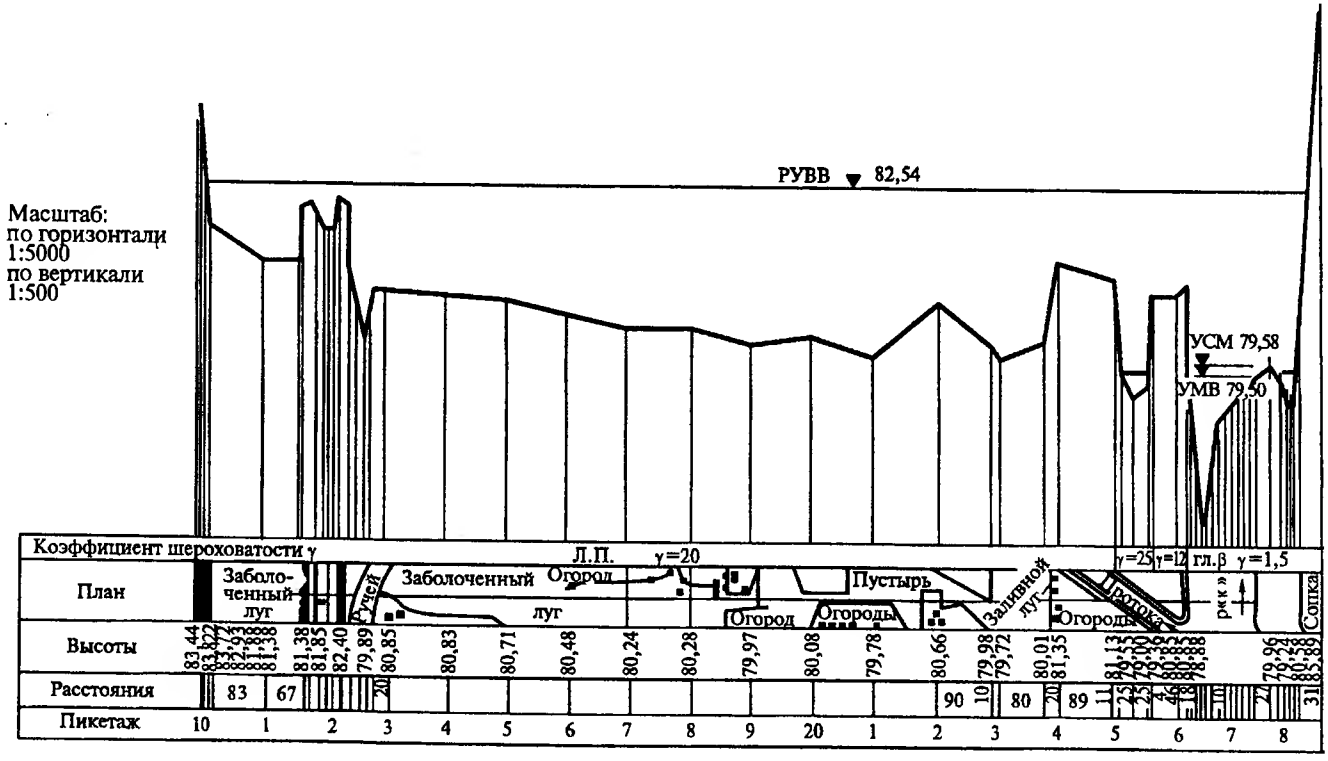
На больших реках со значительной шириной пойм морфостворы снимают геометрическим нивелированием с предварительным вешением линии и разбивкой пикетажа. Границами морфоствора являются высоты земли, превышающие на 1—2 м расчетные уровни высокой воды ($РУВВ_{р\%}$) на реках с весенними половодьями и на 2—3 м — на реках с ливневыми паводками.

На средних и малых водотоках морфостворы часто снимают тахеометрами методом тригонометрического нивелирования. Морфостворы закрепляют на местности и привязывают в плане к продольному профилю реки.

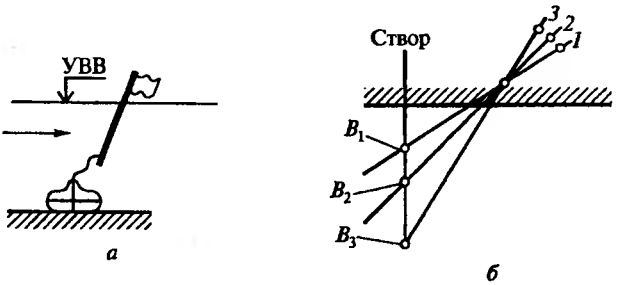
При съемке морфостворов фиксируют ситуацию по 100 м в каждую сторону, а также описывают ситуационно-морфологические характеристики русла и пойм. К последним относят:

пойменные озера, староречья, протоки, спрямляющие течения, прорывы перешеек излучин меандрирующих рек, постоянно действующие водотоки;

характер и густота пойменной растительности;



Р и с. 36.6. Продольный профиль гидрометрического створа



Р и с. 36.7. Схемы закрепления промерных вертикалей:

а — плавающими вехами; *б* — створными знаками

характеристики грунтов в русле и на незадернованных участках пойм;

границы участков морфоствора, характеризуемые различными гидравлическими сопротивлениями;

частоту затопления пойм в паводки.

По результатам съемки морфоствора и морфометрическим обследованиям готовят профиль морфоствора (см. рис. 27.6).

По геометрическим и морфометрическим характеристикам различных участков морфоствора вычисляют их гидравлические показатели: средние глубины, скорости течения, расходы и, главное, распределение расчетного расхода между руслом и поймами.

При необходимости производства гидрометрических работ на местности разбивают и закрепляют гидрометрические створы (рис. 36.6).

Гидрометрические створы на местности трассируют теодолитом, разбивают пикетаж и снимают двойным геометрическим нивелированием. Створы закрепляют вехами по две на каждом берегу, а при широком разливе устанавливают дополнительные вехи на поймах. По результатам съемки гидрометрического створа строят его профиль (см. рис. 36.6).

На заросших поймах прорубают просеки шириной 5—6 м для свободного плавания лодок в ходе производства гидрометрических работ. На гидростворах намечают и закрепляют промерные вертикали плавающими вехами (рис. 36.7, *а*) или створными знаками (рис. 36.7, *б*).

Число промерных вертикалей в руслах рек устанавливают в зависимости от ширины русла:

Ширина русла, м	*Число вертикалей*
До 100	5
100—300	7
300—600	9
600—1000	11
Более 1000	13 (но не реже чем через 200 м)

Число промерных вертикалей на поймах назначают также в зависимости от их ширины, но не реже чем через 200 м.

36.6. Измерение уклонов свободной поверхности рек

Уклон водной поверхности, который необходимо знать для выполнения гидравлических расчетов, — это наиболее трудно определимая величина, и поэтому его измеряют особенно тщательно.

Для измерения продольных уклонов рек используют уровни на водомерных постах, отнесенные к одному моменту времени, так как уклоны рек непрерывно меняются (см. § 36.4). Для определения уклонов необходимо знать расстояния между водомерными постами, которые измеряют на местности мерной лентой, дальномерами, по картам или аэрофотоснимкам. Для измерения длины реки на карте или плане ее делят на характерные участки и измеряют посредством малого раствора измерителя дважды в прямом и обратном направлениях при допустимом расхождении в длинах не более 2%. Еще лучше для этой цели использовать механические или электронные курвиметры.

Уклоны водной поверхности, особенно на реках со сложной свободной поверхностью, нередко определяют посредством геометрического нивелирования кольев, забиваемых вдоль реки по урезу вровень с уровнем воды. Такие колья называют *урезными.* Урезные колья забивают в безветренную погоду в местах со спокойной поверхностью воды. Рядом с урезным колом для его быстрого нахождения устанавливают веху или сторожок высотой 20—30 см над водой.

В связи с изменчивостью уровней воды в реке урезные колья на исследуемом участке русла забивают одновременно по сверенным точным часам, звуковому сигналу (выстрелу) или по сигнальной ракете. Уровни воды в реке, отнесенные к одному моменту времени, называют *мгновенными,* а работу по определению мгновенных уровней называют *одновременной связкой уровней.* Затем по урезным кольям вдоль реки прокладывают нивелирные ходы, опирающиеся своими

концами на пункты государственной нивелирной сети, или делают двойные ходы геометрического нивелирования. В зависимости от уклона реки используют ходы технического нивелирования, а также ходы нивелирования IV, III и даже II классов. При этом чем меньше продольный уклон реки, тем более высокий класс геометрического нивелирования используют. В результате нивелирования определяют геодезические высоты урезных кольев. Расстояния между соседними урезными кольями измеряют мерной лентой или дальномером. Уклон участка реки определяют так:

$$I = \frac{H_2 - H_1}{d},$$

где H_2, H_1 — геодезические высоты соседних урезных кольев; d — расстояние между ними.

Поскольку на разных фазах паводков реки закономерно имеют разные продольные уклоны (на подъеме уклоны больше, на спаде — меньше), то измерения мгновенных уклонов по урезным кольям следует делать обязательно на подъеме, пике и на спаде паводка.

В результате многоразовых измерений продольных уклонов реки строят график зависимости $I = f(H)$.

36.7. Съемка русел рек и каналов

Съемку русел рек, каналов и водохранилищ производят с целью последующего проектирования различных гидротехнических инженерных сооружений (в том числе и мостовых переходов).

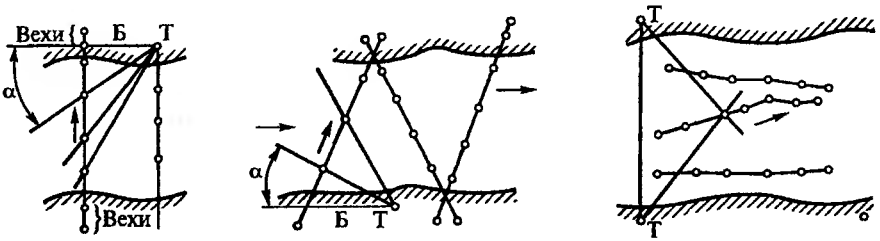
Плановое обоснование съемок русел создают методами триангуляции, трилатерации и полигонометрии, высотное — геометрическим нивелированием III, IV классов и техническим нивелированием.

Вдоль рек и каналов прокладывают теодолитно-нивелирные ходы с разбивкой пикетажа. При ширине реки свыше 800 м теодолитные ходы прокладывают по обоим берегам.

Плановое обоснование съемок водохранилищ создают способами триангуляции и трилатерации. Триангуляцию используют также для обоснования съемок рек и каналов, при этом вершины треугольников располагают по обоим берегам (см. рис. 36.2).

Нивелирные ходы закрепляют грунтовыми реперами, устанавливаемыми в среднем через 2—3 км.

Для составления плана береговой линии рек и водохранилищ выполняют тахеометрическую съемку. При этом съемочные точки размещают таким образом, чтобы с них хорошо просматривалась берего-



Р и с. 36.8. Схемы промеров глубин рек:

а — поперечниками; *б* — косыми галсами; *в* — продольными галсами; Б — базис; Т — теодолит

вая линия, которую затем снимают. На реках снимают также прирусловый вал по бровкам русла. Наиболее производительной и эффективной такая съемка оказывается при использовании электронных тахеометров.

Измерение глубин речного русла дает возможность построить план дна реки в горизонталях или изобатах. При наличии плана пойм в горизонталях и плана дна русла можно составлять поперечные сечения долины реки по любому интересующему проектировщиков створу.

Промеры глубин, как правило, производят с весельных или моторных лодок. В зависимости от характера реки используют три способа подводных съемок: по поперечникам при сравнительно небольших скоростях течения (рис. 36.8, *а*), косыми галсами при средних скоростях течения (рис. 36.8, *б*) и продольными галсами при больших скоростях и глубинах реки (рис. 36.8, *в*).

Первые два способа применяют при небольшой ширине водного зеркала, когда лодку можно устанавливать в конкретных створах, а ориентирование ее осуществлять визуально по створным вехам, установленным на берегах. Расстояния между промерами глубин не должны быть более 1/10 ширины русла. Фактически во многих случаях фиксируют значительно большее число промерных точек.

Промеры по поперечникам выполняют прямыми угловыми засечками положения лодки теодолитом со съемочной точки на берегу, положение которой выбирают так, чтобы угол между промерным створом и направлением от лодки на теодолит составлял порядка 30—50°. Лодку устанавливают в промерном створе по береговым створным вехам. Наблюдатель в лодке подает сигналы флажком о производимых промерах наблюдателю у теодолита, который считывает углы по горизонтальному кругу теодолита. Расстояния между поперечниками принимают не более половины ширины русла реки

(см. рис. 36.8, *а*). На сравнительно нешироких реках промеры нередко ведут, передвигая лодку по натянутому поперек реки размеченному тросу.

Промеры по косым галсам выполняют после расстановки на берегах специальных поворотных и створных вех, позволяющих перемещать лодку по практически прямым линиям, ориентируясь по береговым вехам. Промеры при этом ведут непрерывно, а теодолитом фиксируют положение каждой десятой промерной точки. Промежуточные промерные точки распределяют на равных расстояниях между зафиксированными теодолитом (см. рис. 36.8, *б*).

При широком водном зеркале, в частности при промерах во время паводков, когда ориентирование лодки по береговым створным вехам становится затруднительным или невозможным, подводную съемку осуществляют продольными галсами (лодка при этом не управляется, а перемещается только силой течения реки). Для фиксирования положения лодки прямыми угловыми засечками требуется наличие на берегах уже двух теодолитов (см. рис. 36.8, *в*).

Для всех трех способов подводных съемок русел рек целесообразно использовать электронные тахеометры. На лодке устанавливают отражатель, а засечки ведут с одной точки полярным способом в режиме работы электронного тахеометра — «Слежение».

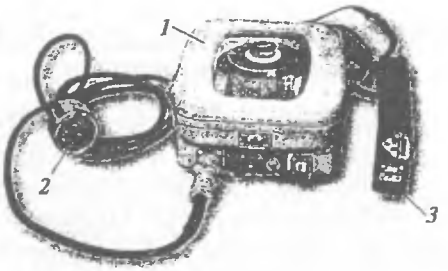
Еще более эффективным является использование для определения положения лодки многоканальных приемников систем спутниковой навигации GPS или ГЛОНАСС, устанавливаемых на лодке и фиксирующих ее положение в режиме реального времени, с записью координат на магнитные носители информации (дискеты).

При отсутствии ультразвуковой аппаратуры промеры глубин до 3—4 м осуществляют наметкой, а свыше 3—4 м — лотом.

Наиболее производительно и эффективно можно производить измерения глубин с применением эхолотов, принцип действия которых состоит в определении глубин по времени прохождения ультразвукового импульса от излучателя до дна реки и обратно. В последние годы для этой цели используют портативный эхолот «Язь», модернизированный инж. Ю.М. Митрофановым и позволяющий измерять глубины от 0,8 до 40 м (рис. 36.9).

Запись глубин осуществляется на непрерывно перемещающуюся ленту в виде продольного профиля дна реки по маршруту следования лодки — батиграмму (рис. 36.10).

Модернизированный эхолот «Язь» обеспечивает фиксацию на батиграмме положение промерных створов в момент теодолитной засечки. Эхолот позволяет производить промеры глубин зимой со льда при ледяном покрове толщиной до 1 м, но не менее безопасной тол-



Р и с. 36.9. Портативный эхолот «Язь»:

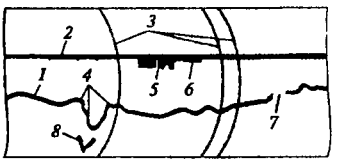
1 — эхолот; *2* — излучатель; *3* — аккумулятор

щины для производства работ. При промерах глубин со льда в месте измерения на лед наливают немного воды и на смоченную поверхность устанавливают вибратор.

Глубины с батиграммы снимают с помощью палетки в виде круговой кривой с радиусом, равным радиусу движения пера эхолота при записи на ленту.

При обработке материалов промерных работ определяют линейную невязку, которую находят из сравнения общей длины промерного створа и той же длины, полученной суммированием расстояний между промерными точками. Полученную невязку распределяют пропорционально измеренным расстояниям.

Поскольку промерный процесс занимает определенный отрезок времени, уровни воды в реке за это время могут измениться, поэтому уровни фиксируют на водомерных постах по меньшей мере дважды — перед началом и по окончании промерных работ. Если эти уровни различаются более чем на 2 см, то необходимо вводить поправки к результатам измерения глубин, с тем чтобы привести измерения глубин к одному моменту времени.



Р и с. 36.10. Батиграмма эхолота:

1 — линия записи дна; *2* — линия поверхности воды; *3* — отметки промерных точек в момент теодолитной засечки; *4* — характерные точки дна; *5* и *6* — толщины льда соответственно 20 и 40 см; *7* — отсутствие отраженного сигнала (недостаток усиления); *8* — кратный сигнал, отраженный от дна при неправильной регулировке усиления (избыток усиления)

36.8. Определение исторических уровней высокой воды по следам на местности

При определении уровней высокой воды (УВВ) наиболее надежными являются данные водомерных постов. Данные о наивысших уровнях воды за ряд лет можно получить по материалам систематических наблюдений на водомерных постах Гидрометеослужбы. Однако период непрерывных наблюдений на водомерных постах, как правило, ограничен и может не включать в себя прошедшие на реке выдающиеся и исторические паводки. И наконец, на не изученных в гидрологическом отношении водотоках систематические наблюдения за уровнями отсутствуют вообще.

В таких случаях высоты УВВ выдающихся и исторических паводков можно установить опросом старожилов или по следам на местности. Сведения об УВВ получают по возможности в большем числе мест на обоих берегах реки, не ограничивая район обследования. Места показаний уровней выбирают в наиболее надежных местах (стены зданий, ступеньки крыльца, колодцы, отдельные объекты на пологих склонах и т.д.).

Показания старожилов о выдающихся и исторических паводках и режиме реки оформляют специальным актом опроса.

Вне пределов населенных пунктов высоты УВВ определяют по следам на местности, к которым относят:

наносник (мелкие сучки, обломки тростника, пучки травы, ил и т.д.) на стволах и ветках деревьев и пологих берегах;

отложения наносов или следы нефти на деревьях и скальных берегах;

полосы смыва «пустынного загара» на скальных берегах, опорах мостов или стенах зданий и сооружений;

следы подмыва крутых берегов;

границы распространения пойменной растительности в засушливых районах;

линии изменения цвета и состава травяного покрова на пойменной террасе.

Высоты точек УВВ, показанные старожилами или установленные по следам на местности, определяют геометрическим нивелированием с допустимой невязкой не более ± 20 мм $\sqrt{L}$ (где L— длина двойного нивелирного хода в км), с привязкой к пунктам съемочного обоснования. Нитяным дальномером нивелира определяют положение снимаемых точек УВВ относительно оси проектируемого перехода.

По результатам выполненных работ по определению высоких и исторических уровней воды прошедших паводков, устройству водо-

мерных постов, разбивке морфостворов и гидростворов, измерению уклонов свободной поверхности и съемке русла составляют продольный профиль реки (см. рис. 36.3).

На продольный профиль реки наносят: морфостворы и гидростворы, водомерные посты, профили свободной поверхности при различных уровнях воды, профили русла реки по фарватеру и по бровкам, оси существующих гидротехнических сооружений (мостов, плотин, водозаборов и т.д.) и, наконец, все точки УВВ, зафиксированные в результате опроса старожилов и по следам на местности.

Продольный профиль реки является одним из важнейших документов, характеризующих водоток, который используют для последующих гидравлических расчетов и проектирования мостового перехода.

36.9. Измерение скоростей и направлений течения

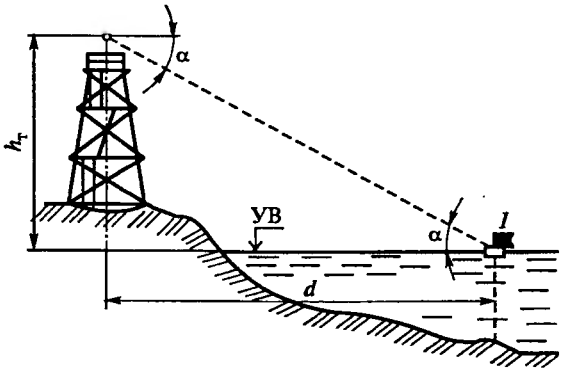
При измерениях скоростей течения для последующего вычисления коэффициентов шероховатости, расходов воды и выполнения гидравлических расчетов, а также для определения направлений течений для правильного размещения оси моста нередко используют наиболее простой и дешевый одноточечный поплавковый способ измерения скоростей течения. Его основным недостатком является зависимость точности измерений от погодных условий.

Определение направлений и измерения поверхностных скоростей течения воды в реке одноточечным способом осуществляют с помощью поплавков с засечками приблизительно через равные интервалы времени по вертикальному и горизонтальному кругам теодолита, устанавливаемому на специальной вышке или на высоком крутом берегу (рис. 36.11). Одновременно при производстве засечек берут отсчеты по секундомеру.

Поплавки изготовляют из дерева в виде круглого диска диаметром около 25 см и толщиной порядка 5 см. В центре диска укрепляют стержень высотой до 15 см с белым флажком. В ветреную погоду для придания поплавку большей устойчивости к нему прикрепляют небольшой груз.

При расстояниях от теодолита до поплавков более 1 км применяют поплавки треугольной формы при длине каждой из сторон по 0,5 м. В вершинах треугольных поплавков устанавливают стержни высотой 15—20 см с разноцветными флажками.

При сильном ветре поплавковые измерения скоростей течения не производят.



Р и с. 36.11. Схема засечек поплавков одноточечным способом

Поплавковые измерения производят в количестве:
двух во время ледохода с засечками плывущих льдин;
двух на подъеме паводка;
двух на пике;
трех-четырех на спаде паводка до межени.
Длину участка поплавковых наблюдений принимают (км):

При ширине русла (м):	
до 200	0,5—1
« 500	1—2
свыше 500	2—3

Участок наблюдений выбирают таким образом, чтобы 2/3 его протяженности располагалось выше оси сооружения и 1/3 ниже. Количество траекторий поплавков в русле при одном цикле измерений должно быть не менее:

При ширине русла (м):	
до 200	7—9
« 500	9—11
« 1000	11—13
свыше 1000	13—15

Траектории размещают равномерно по ширине потока. На открытых поймах количество траекторий назначают в зависимости от местных условий.

Максимальные интервалы времени между засечками поплавков назначают в зависимости от принятого масштаба поплавкового план-

шета и поверхностной скорости течения и лежат в пределах от 120 до 20 с.

Определение положения поплавков производят способом полярных координат по горизонтальному углу φ, отсчитываемому от створа засечного пункта (вышки), и расстоянию от центра вышки до поплавка d (см. рис. 36.10), которое определяют по формуле

$$d = \frac{h_т}{\operatorname{tg}\alpha \pm I \sin\varphi}, \qquad (36.1)$$

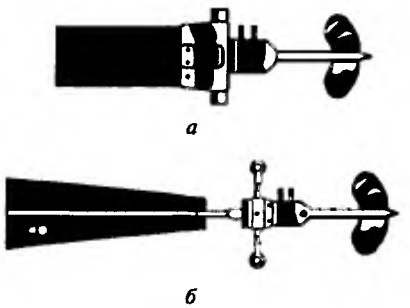
где $h_т$ — высота прибора над рабочим уровнем воды в створе вышки; α — вертикальный угол; φ — горизонтальный угол между створом засечного пункта и направлением на поплавок; I — продольный уклон свободной поверхности потока.

В формуле (36.1) знак минус применяют для поплавков ниже засечного створа, а плюс — выше створа.

Высоту рабочего уровня воды вычисляют как среднее значение высот уровней в начале и конце наблюдений.

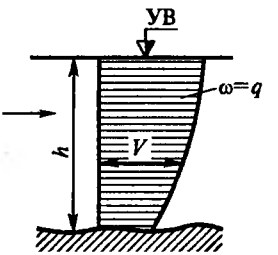
Измерения скоростей течения гидрометрическими вертушками (рис. 36.12) или электронными скоростемерами производят на строго закрепленных промерных вертикалях (см. рис. 36.7) в тех случаях, когда уровень воды в реке меняется быстро и ширина ее велика. В остальных случаях можно устанавливать лодку в гидрометрическом створе по береговым створным вехам, не закрепляя определенных вертикалей, а положение лодки на створе определять теодолитом угловой засечкой.

Измерения скоростей гидрометрическими вертушками или электронными скоростемерами ведут шести- или пятиточечным способом. При шеститочечном способе измерения скоростей на каждой



Р и с. 36.12. Типы гидрометрических вертушек:

а — штанговая; *б* — подвесная (тросовая)



Р и с. 36.13. Нормальная эпюра скоростей на промерной вертикали

промерной вертикали ведут: у поверхности воды, на 0,2—0,4—0,6—0,8 глубины и у дна (при пятиточечном способе точку на 0,4 глубины исключают). При незначительных глубинах число промерных точек на вертикали уменьшают: так, при глубине потока на вертикали от 1 до 3 м — до трех (поверхность, 0,6 глубины, дно), при глубине менее 1 м — до одной (0,6 глубины). Вертушку или скоростемер опускают на тросе с помощью гидрометрической лебедки, а при глубинах до 3 м — на штанге.

По результатам измерения скоростей на каждой промерной вертикали строят эпюры скоростей (рис. 36.13).

По площади такой эпюры ω определяют элементарный расход q и среднюю скорость течения $v_{ср}$ на каждой промерной вертикали, используемые в последующих гидравлических расчетах.

36.10. Обследование существующих гидротехнических сооружений

При изысканиях и проектировании мостовых переходов на реках наиболее часто подвергаются морфометрическому обследованию такие существующие сооружения, как плотины, автодорожные и железнодорожные мостовые переходы.

Плотины (прежде всего некапитального типа) обследуют главным образом на предмет их возможного прорыва в паводки, как правило, с тяжелейшими последствиями для сооружений и объектов, расположенных в нижнем бьефе. При обследовании плотин использование наземной фотограмметрии (фототеодолитных съемок) является самым эффективным и объективным методом сбора информации о состоянии существующего сооружения.

Морфометрические обследования существующих автодорожных и железнодорожных мостовых переходов проводят:

при проектировании реконструкции мостового перехода или отдельных его элементов ввиду неудовлетворительной их работы;

при проектировании железнодорожного моста под вторые пути;

при проектировании нового мостового перехода вблизи существующих автодорожных или железнодорожных мостовых переходов.

При морфометрическом обследовании существующих мостовых переходов собирают следующие данные в таких организациях, как Гидрометеослужба, ГГИ, Гидропроект, Гипроводхоз, Гипроречтранс, Геофонд, службы эксплуатации автомобильных и железных дорог и т.д.:

год постройки мостового перехода;

годы реконструкции мостового перехода или его элементов;

уровни высокой воды УВВ, высокого ледохода УВЛ, уровень межени под мостом УМВ;

годы и места переливов через насыпи подходов в высокие паводки, размеры повреждений и длительность перерывов движения;

инженерно-геологическое строение по оси мостового перехода по проектным данным и исполнительным чертежам;

размывы подмостового русла, устанавливаемые по совмещенным профилям живых сечений;

плановые изменения положения русла вследствие естественного руслового процесса путем совмещения топографических съемок разных лет и лоцманских карт;

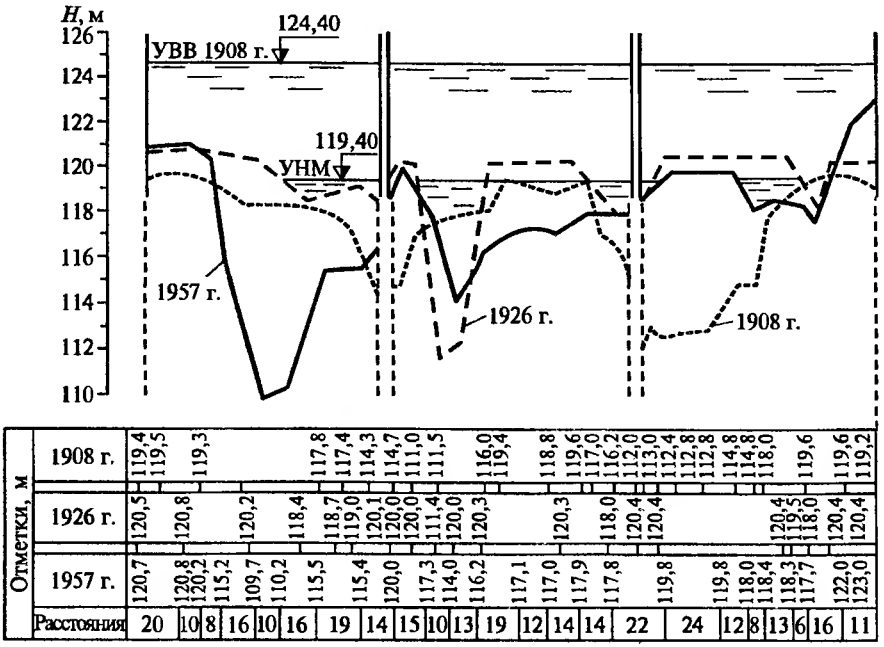
продольные и поперечные профили подходов и регуляционных сооружений и типы укрепления их подошв и откосов, характер и места их повреждений;

существующие условия судоходства и лесосплава.

При морфометрическом обследовании существующих мостовых переходов широко применяют фототеодолитные съемки.

Для определения схемы моста, разбивки на пролеты, длины моста и его отверстия, конструкции опор и пролетных строений используют фототеодолитную съемку с базиса приблизительно параллельного оси моста, размещенного с верховой его стороны. При этом при ширине русла до 100 м съемочные точки базиса размещают по обоим берегам. При большей ширине русла фототеодолитные съемки производят с двух базисов, размещаемых на обоих берегах. При этом выполняют, как правило, нормальную и равноотклоненную фототеодолитные съемки. При последующей стереофотограмметрической обработке нормальные и конвергентные стереопары используют для получения характеристик самого моста, а равноотклоненные — для подходов и регуляционных сооружений.

Для определения габаритов моста (ширины проезжей части, полос безопасности и тротуаров), состояния проезжей части, системы поверхностного водоотвода, колесоотбойных устройств, мачт освещения, тротуарных блоков и перильных ограждений выполняют нормальную фототеодолитную съемку с насыпей подходов, размещая базисы фотографирования перпендикулярно оси моста, а съемочные точки на обочинах подходов. Для малых и средних мостов обычно оказывается достаточно одного базиса. На больших мостах фототеодолитную съемку выполняют по меньшей мере с двух базисов на подходах в направлениях от левобережного и правобережного береговых устоев к середине моста.


H, м
126
124
122
120
118
116
114
112
110
124,40
УВВ 1908 г.
119,40
УНМ
1957 г.
1926 г.
1908 г.

| Отметки, м | | |

подмостового русла на момент изысканий. По этим материалам составляют совмещенные профили живых сечений подмоствого русла (рис. 36.14).

Для определения состояния подводной части опор и их фундаментов иногда проводят водолазные обследования.

Данные обследования существующих мостовых переходов используют при разработке проектов реконструкции и проектов нового строительства переходов.

36.11. Аэрогидрометрические работы

Учитывая исключительную ценность данных гидрометрических наблюдений на реках для разработки проектов, а также высокую стоимость этих работ, их трудоемкость и приуроченность к периоду прохождения паводков на водотоке, особую значимость при производстве гидрометрических работ приобретает применение аэрометодов.

Аэрофотосъемка позволяет оперативно определять скорости и направления течений, расходы воды, высоты уровней, направления судовых ходов и направления льдин. Аэрофотосъемку для получения натурных гидрометрических данных применяют на реках с шириной русла более 100 м.

Летно-съемочные гидрометрические работы выполняют в пасмурные, безветренные дни с высокой сплошной облачностью. В солнечную погоду аэрогидрометрические работы целесообразно проводить утром или вечером, когда солнечные блики не попадают в объектив аэрофотокамеры (АФА).

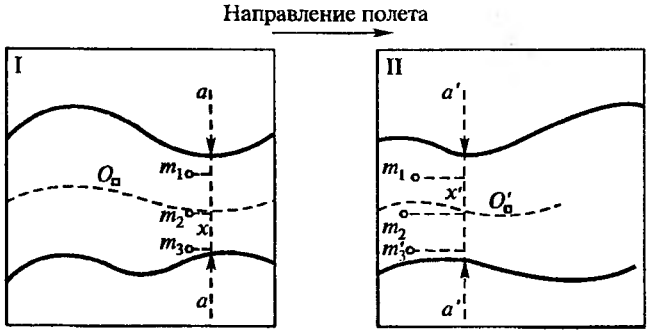
Перед началом летно-съемочных работ готовят сосуды с индикатором в количестве:

$$N = 2an,$$

где a — число промерных точек (вертикалей) на створе наблюдений; n — общее число измерений в период прохождения паводка.

Перед вылетом сосуды заполняют жидким индикатором и устанавливают в самолете или вертолете для последующего их сброса при измерениях скоростей.

Сосудом для индикатора служит бутыль емкостью 0,75 л с пластмассовой пробкой с отверстиями по окружности на верхней ее поверхности. Чтобы индикатор беспрепятственно выходил из бутыли, она должна быть в вертикальном положении, для чего к нижней ее части прикрепляют балласт.



Р и с. 36.15. Изображение поверхностных поплавков на смежных аэрофотоснимках I и II:

O, O' — главные точки снимков; *m* — точки, фиксированные индикатором; *a-a* и *a'-a'* — постоянный створ

Поверхностные скорости определяют на основе измерения по перекрывающимся аэрофотоснимкам смещения мелких, плывущих по течению реки предметов (специально пущенных поплавков, льдин, пены, щепок, струй индикатора и т.д.) (рис. 36.15).

Разность расстояний $(x' - x)$ представляет собой смещение поплавков в масштабе аэрофотоснимков за интервал времени аэросъемки. Поверхностную скорость течения в данной точке речного потока определяют по формуле

$$V_{пов} = \frac{(x' - x)\ H'_п}{\Delta t\ f_к},$$

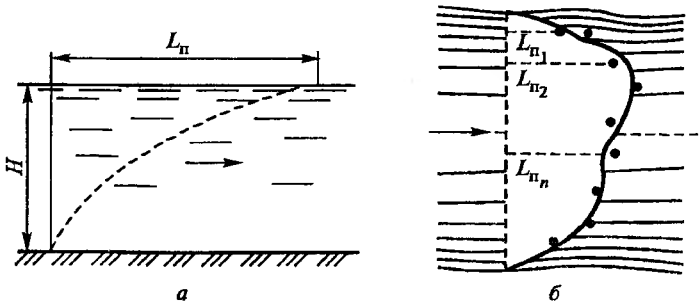
где $H'_п$ — высота полета, м; $f_к$ — фокусное расстояние АФА, мм; Δt — интервал аэрофотосъемки, с.

Смещение поплавков на аэрофотоснимках под воздействием течения аналогично разности продольных параллаксов Δp. При стереофотограмметрическом методе измерений поверхностную скорость (м/с) определяют по формуле

$$V_{пов} = \frac{\Delta p H_п}{\Delta t f_к},$$

где Δp — разность продольных параллаксов, мм.

Определение поверхностных скоростей таким способом возможно лишь в том случае, если в зоне взаимного перекрытия аэрофотоснимков изображены оба берега реки или какие-либо опорные точки



Р и с. 36.16. Измерение расходов воды методом поплавков-интеграторов:

а — траектория выхода поплавка-интегратора на поверхность; *б* — эпюра элементарных расходов

(острова, бакены, буйки и т.д.). Точность определения поверхностных скоростей при таком способе составляет ± 0,05 м/с.

Определение расходов воды с помощью аэрофотосъемки основано на работе поплавков-интеграторов, представляющих собой жидкость, которая выливается из сосудов при соприкосновении с дном. В зависимости от скорости всплытия поплавка $u_{под}$, глубины потока и средней скорости течения на вертикали поплавок появится на поверхности на расстоянии $L_п$ от места его выпуска (рис. 36.16, *а*).

Элементарный расход ($м^2/с$) на вертикали определится:

$$q = 0{,}135 L_п.$$

Если соединить кривой точки выхода поплавков на поверхность воды, можно получить эпюру элементарных расходов в масштабе аэрофотоснимка (рис. 36.16, *б*). Общий расход в заданном сечении находят, определив площадь этой эпюры.

Летно-съемочные работы при измерении расходов воды производят в такой последовательности:

пролетают над створом наблюдений и сбрасывают сосуды с жидким индикатором;

фотографируют точки падения сосудов на поверхность воды;

после набора самолетом заданной высоты через 3—4 мин после сбрасывания поплавков вновь фотографируют исследуемый участок русла, с тем чтобы установить точки выхода индикатора.

Высоты уровней воды УВ устанавливают относительно репера, выбранного вблизи одного из урезов воды. Превышение между ними определяют на стереофотограмметрическом приборе. Высота уровня воды определится как

$$УВ = H_{рп} + h_{ср},$$

где $H_{рп}$ — высота репера; $h_{ср}$ — среднее из нескольких измерений превышение между репером и урезом воды.

Глубины в точках вертикалей находят при определении расходов воды поплавками-интеграторами по формуле

$$h \approx 1{,}18 \frac{q}{V_{пов}},$$

где $V_{пов}$ — поверхностная скорость на вертикали.

Глава 37

ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ[1]

37.1. Особенности реконструкции автомобильных дорог

В 90-х годах истекшего столетия резко сократились объемы инвестиций в дорожную отрасль. Именно по этой причине в настоящее время новое строительство автомобильных дорог практически не ведется и развитие дорожной отрасли идет главным образом по пути капитального ремонта и реконструкции существующей сети автомобильных дорог.

Действующая классификация *ремонтных работ* предполагает при капитальных ремонтах существенное улучшение транспортно-эксплуатационных показателей ремонтируемых дорог, повышение технических нормативов дорог в пределах уже присвоенных им категорий, увеличение прочности дорожных одежд, значительное повышение работоспособности сооружений без изменения их габаритных размеров.

Реконструкция автомобильных дорог предполагает, кроме того, обязательное повышение категории дороги с соблюдением соответствующих этой новой категории норм проектирования плана трассы, проектной линии продольного профиля, ширины земляного полотна и проезжей части, а также увеличения требуемого модуля упругости дорожных одежд.

---

[1] При разработке настоящей главы авторами были использованы материалы книги «Реконструкция автомобильных дорог»/Под ред. проф. В.Ф. Бабкова. — М.: Транспорт, 1978.

Под реконструкцией автомобильной дороги подразумевают перестройку существующей автомобильной дороги или отдельных ее участков с учетом изменившихся и ожидаемых в перспективе условий движения транспортных потоков с обязательным проведением комплекса мероприятий, повышающих транспортно-эксплуатационные качества, удобство и безопасность движения, а также обеспечивающих меньшее вредное воздействие автомобильной дороги на окружающую среду.

Необходимость в периодической реконструкции сети автомобильных дорог закономерно возникает в связи со следующим:

рост численности населения, который заметно снизился в 90-е, но в настоящее время получил тенденцию в стабильном ежегодном естественном приросте численности населения порядка 1%. Темп прироста населения сильно разнится в разных регионах Российской Федерации;

рост подвижности населения и уровня его автомобилизации, который в разных районах страны лежит в пределах от 80 до 200 автомобилей на 1000 человек. Средняя общая численность автопарка имеет закономерную тенденцию к увеличению на 3—4% в год;

ежегодный рост грузооборота и пассажирооборота составляет порядка 4%, что обусловлено, в частности, и соответствующим ростом валового внутреннего продукта (ВВП);

неуклонный рост интенсивности движения на сети автомобильных дорог. Средний темп роста общей интенсивности на дорогах в настоящее время составляет 3—4%. При этом по видам транспорта этот показатель составляет для грузовых автомобилей 2—3%, для легковых — 4—5% и для автобусов — 3—4%. Таким образом, каждые 15—20 лет интенсивность движения на автомобильных дорогах удваивается с соответствующим снижением уровней удобства, средних скоростей транспортных потоков и безопасности движения;

ряд дорог существующей сети автомобильных дорог с твердыми покрытиями были построены по устаревшим техническим нормам проектирования.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что по сравнению с 80-ми годами сильно изменился состав транспортного потока. Структура современного транспортного потока в среднем лежит в пределах (%):

грузовые — 20—25;

легковые — 70—80;

автобусы 8—10.

Резко возросла доля легковых автомобилей, которая в настоящее время составляет 70—80% против 50—60% в 80-е годы. Произошло

соответствующее снижение доли грузового транспорта до 20—25% против 35—45% в 80-е годы за счет соответствующего увеличения его грузоподъемности.

Средний по стране состав современного грузового транспортного потока следующий (%):

легкие (до 2,0 т) — 25—35;
средние (от 2,1 до 5,0 т) — 10—15;
тяжелые (от 5,1 до 8,0 т) — 15—20;
очень тяжелые (свыше 8,0 т) — 35—45.

Произошло увеличение доли грузового автотранспорта малой грузоподъемности (до 2,0 т) и очень большой грузоподъемности (свыше 8,0 т). Увеличилась доля автобусов малой вместимости (до 11 человек).

Капитальный ремонт и реконструкция автомобильных дорог являются вынужденными мерами по приведению существующей сети автомобильных дорог с твердыми покрытиями в соответствие с современными требованиями движения транспортных потоков. Многие участки существующей сети автомобильных дорог уже подвергались неоднократным перестройкам и совершенствованию, что привело, в частности, к резкой неоднородности ряда маршрутов по транспортно-эксплуатационным характеристикам.

На существующей сети автомобильных дорог имеется огромное количество опасных мест, допускающих лишь движение с ограниченными скоростями. Эти места характеризуются, как правило, сосредоточением наибольшего числа дорожно-транспортных происшествий и обладают ограниченной пропускной способностью.

Поэтому работы по непрерывному улучшению и совершенствованию существующей сети автомобильных дорог путем проведения капитальных ремонтов и реконструкции еще в течение ряда лет будут основным видом деятельности дорожно-эксплуатационных и дорожно-строительных организаций.

Необходимо отметить, что разработка проектов реконструкции автомобильных дорог является процедурой значительно более сложной, чем разработка проектов строительства новых автомобильных дорог.

37.2. Особенности изысканий для разработки проектов реконструкции автомобильных дорог

Изыскания при разработке проектов реконструкции автомобильных дорог имеют свои существенные отличия от технологии и методов сбора информации о местности, используемых при изысканиях

нового строительства. В частности, одна из основных, сложных и наиболее ответственных задач изысканий для нового строительства сводится прежде всего к обоснованию границ полосы варьирования трассы. При реконструкции эта задача на большем протяжении реконструируемой дороги оказывается во многом практически решенной в связи с необходимостью максимального использования существующих земляного полотна и дорожных покрытий, а также сведения к минимуму площадей вновь отводимых земельных угодий и сноса.

Именно по этой причине необходимость в использовании сложных аналитических методов обоснования границ полосы варьирования конкурентоспособных вариантов трассы при реконструкции остается лишь на участках нового строительства (например, на участках обхода населенных пунктов или на участках радикального улучшения геометрии реконструируемых дорог). На этих участках работы производят по правилам изысканий новых автомобильных дорог.

В подготовительный период изысканий автомобильных дорог вместо общего изучения характеристик района проектирования и обоснования полосы варьирования трассы основное внимание уделяют детальному изучению архивных материалов, материалов наземных и аэрокосмических изысканий прошлых лет, изучению паспортов и линейных графиков дороги, инвентаризационных и дефектных ведомостей, отчетных материалов по проводившимся на дороге ремонтно-восстановительным работам и зимнему содержанию. В органах ГИБДД собирают и анализируют данные об условиях движения автотранспорта на реконструируемом участке, о дорожно-транспортных происшествиях, их характере и местах их концентрации. В дорожно-эксплуатационных службах, кроме того, собирают всю информацию по проводившимся в предшествующие периоды учетам движения на всем реконструируемом участке: интенсивности, состава, скоростей движения, уровней удобства и безопасности движения и другие характеристики транспортных потоков. Объем и характер последующих полевых работ во многом определяются количеством, достоверностью и детальностью полученных в подготовительный период материалов.

На участках использования при реконструкции существующего полотна дороги требуется осуществить большое число промеров поперечных профилей земляного полотна и проезжей части и получить полную информацию о местности, особенно со стороны предполагаемого уширения земляного полотна.

Обязательной задачей, решаемой в период изысканий при реконструкции автомобильных дорог, является обследование состояния

существующих дорожных одежд (прочности, ровности, ямочности, трещиноватости, состояния кромок проезжей части и обочин). При этом, учитывая высокую стоимость дорожных конструкций, обязательно решают задачу максимального использования при реконструкции существующей дорожной одежды в качестве основания новой одежды, а при значительной изношенности существующего покрытия решают задачу повторного использования материалов разобранной одежды. Обоснованное решение задачи о возможности максимального использования при реконструкции существующих дорожных конструкций или их материалов в конечном итоге в значительной степени влияют на общую стоимость реконструкции дороги.

Существующие искусственные сооружения (мосты, путепроводы, водопропускные трубы, подпорные и одевающие стенки, защитные галереи, тоннели и т.д.) должны быть детально обследованы с позиций их возможного использования при реконструкции, а также для использования при проектировании накопленного опыта их работы на существующей дороге.

В ходе изысканий обязательно изучают существующие здания и сооружения дорожно-эксплуатационной и автотранспортной служб, сооружения обстановки и принадлежности дороги. Особое внимание уделяют существующим автобусным остановкам, АЗС и подъездам к ним, съездам, переездам, примыканиям и пересечениям в одном и разных уровнях и т.д.

Аэрокосмические методы сбора информации при изысканиях для реконструкции автомобильных дорог используют в существенно меньшем объеме, чем при изысканиях новых дорог, но за счет более широкого использования современных наземных методов сбора информации (систем спутниковой навигации — GPS и ГЛОНАСС, электронной тахеометрии, наземных фототеодолитных съемок, лазерного сканирования, арсенала современных геофизических методов инженерно-геологической разведки). Естественно, что в ходе самого проектирования реконструкции автомобильных дорог широко используют ГИС-технологии, системы автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированные системы цифровой фотограмметрии (ЦФС), современные средства автоматизации и вычислительной техники.

Следует особо отметить, что на участках использования существующего полотна реконструируемой дороги в ходе сбора информации для составления проекта реконструкции на первое место выходят методы наземного лазерного сканирования местности (рис. 37.1), с которыми не в состоянии конкурировать самые современные наземные методы сбора информации.

При изысканиях реконструкции автомобильных дорог особое внимание уделяют вопросам организации строительства и прежде всего вопросам организации пропуска в период производства строительных работ существующих транспортных потоков, строительного транспорта и механизмов (постройка временных объездов и переправ, организация движения по половине проезжей части либо по основанию строящейся дорожной конструкции и т.д.).

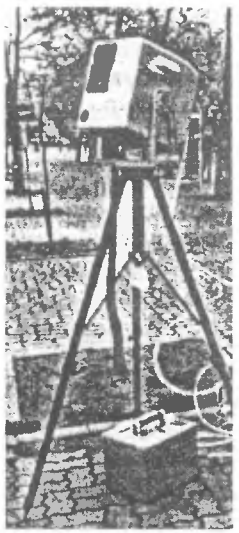
Изыскания для реконструкции автомобильных дорог всегда проводят в тесном контакте с работниками дорожно-эксплуатационных служб и органов ГИБДД, которые, наблюдая в процессе своей повседневной деятельности за особенностями работы реконструируемой дороги в разные сезоны года в течение длительного времени, могут сообщить изыскателям массу ценной информации об участках дороги и сооружениях на ней, нуждающихся в улучшении и перестройке. Особенно ценную информацию изыскатели могут получить об участках неудовлетворительного поверхностного водоотвода, снежных лавинах, оползнях и осыпях, снегозаносах, местах систематического пучинообразования, местах концентрации плотности транспортных потоков и ДТП и т.д.

При разработке календарных планов производства полевых изыскательских работ учитывают, что многие из них эффективны лишь при выполнении их в определенные периоды года (оценка прочности существующих дорожных конструкций, выявление участков пучинообразования, выявление особенностей поверхностного водоотвода, изучение условий пропуска паводков мостовыми переходами, изучение условий зимней эксплуатации автомобильной дороги).

На дорогах с высокой интенсивностью движения для производства изыскательских работ выбирают периоды суток, приуроченные к часам спада интенсивности движения.

Перед началом работ на полотне дороги с обеих сторон от места их производства устанавливают предупреждающие знаки «Дорожные работы», а также переносные барьеры, перекрывающие те полосы движения, на которых предполагается производство полевых работ. Все необходимые для производства измерительных работ приборы и оборудование размещаются по возможности за пределами дорожного полотна. Автомобили, перевозящие людей и оборудование, размещают на обочинах, площадках отдыха, а при наличии съездов и полевых дорог — за пределами полосы отвода.

Полевые изыскательские работы для разработки проектов реконструкции на участках использования существующего дорожного полотна начинают с восстановления трассы существующей дороги и определения ее параметров.



Р и с. 37.1. Лазерный сканер Leica HDS 2500

Р и с. 37.2. Измерительное мини-колесо SK3

Р и с. 37.3. Безотражательный электронный тахеометр Trimble серии 3600 Total Station (Германия)

Для определения параметров закруглений производят крупномасштабную съемку полотна реконструируемой дороги и проезжей части и, вычертив в камеральных условиях топографический план, графически устанавливают положение прямых участков трассы, на продолжении их вершин углов определяют величины углов поворота и, измерив графически величины биссектрис *Б*, устанавливают параметры закруглений по формуле

$$R = \frac{Б}{\sec\frac{\theta}{2} - 1}.$$

Промеры линий и разбивку пикетажа ведут по правой бровке дороги по ходу километража, указывая на сторожках и в пикетажном журнале расстояние до оси дороги. При разбивке пикетажа на существующих дорогах помимо использования традиционных мерных приборов (землемерных лент, рулеток, светодальномеров и т.д.) весьма эффективным оказывается применение измерительных колес (полевых курвиметров) (рис. 37.2).

Закрепление восстановленной трассы целесообразно осуществлять, как правило, привязкой к постоянным предметам придорожной

полосы (дорожным знакам, опорам линий связи, оголовкам труб и т.д.).

При выполнении продольного нивелирования для получения продольного профиля по оси существующей дороги пикеты по бровке существующего полотна дороги принимают в качестве связующих точек, а пикеты и характерные (плюсовые) точки по оси трассы — в качестве промежуточных.

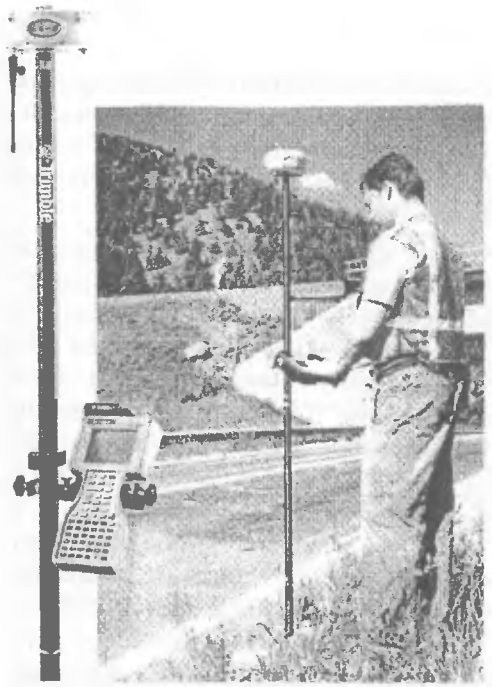
Съемку поперечников земляного полотна осуществляют в пределах полосы, необходимой для проектирования уширения существующего земляного полотна и системы поверхностного дорожного водоотвода с шагом 50—100 м. Съемку поперечников проезжей части осуществляют геометрическим нивелированием либо электронными безотражательными тахеометрами (рис. 37.3) с шагом 10—20 м. В пределах каждого поперечника проезжей части следует брать не менее 5—7 точек. Для этих же целей весьма эффективно использовать наземное лазерное сканирование.

При съемке земляного полотна и проезжей части существующих автомобильных дорог находят широкое применение технологии спутниковой навигации и приемники GPS и ГЛОНАСС (рис. 37.4).

Большое значение имеет обследование существующей системы поверхностного дорожного водоотвода. Необходимо выявлять места застоев воды, размывов канав и русел и устанавливать причины их возникновения.

В случаях, когда появляются сомнения в правильности назначения отверстий существующих мостов и труб, должны быть собраны все необходимые данные для выполнения контрольных расчетов по определению величин расчетного стока (максимальных расходов и объемов стока) и для гидравлических расчетов отверстий водопропускных сооружений с учетом аккумуляции. В связи с этим необходимо уделять особое внимание установлению схем мостов, отверстий труб, состоянию регуляционных и укрепительных сооружений, отводящих и подводящих русел и т.д.

Для проведения инженерно-геологических и гидрогеологических обследований на обочинах закладывают шурфы и буровые скважины. Скважины должны проходить через существующую насыпь и заглубляться не менее чем на 1 м в грунт основания. Обычно на 1 км существующей дороги закладывают не менее двух геологических выработок. При проведении инженерно-геологических обследований на современном этапе является весьма эффективным использование радиолокационных методов подповерхностной разведки (георадаров), а также других методов геофизической разведки.



Р и с. 37.4. Двухчастотный 24-канальный GPS-приемник Trimble 5800 GPS Receiver

Самостоятельным разделом изысканий для составления проектов реконструкции автомобильных дорог является обследование полосы отвода (существующие предметы и объекты на полосе отвода, съезды, примыкающие полевые дороги и т.д.).

37.3. Реконструкция автомобильных дорог в плане и продольном профиле

Любое вынужденное изменение плана и продольного профиля реконструируемой автомобильной дороги сопряжено с необходимостью существенного увеличения объемов инвестиций в дорожное строительство, поэтому каждое такое изменение должно быть обосновано соответствующими технико-экономическими расчетами.

Необходимость исправления плана и продольного профиля трассы автомобильных дорог при их реконструкции возникает чаще всего в связи со следующим:

несоответствием существующих радиусов кривых в плане и продольном профиле, регламентированным действующими нормами проектирования, минимальным параметрам закруглений для дороги той категории, по которой в технико-экономическом обосновании (ТЭО) или в обосновании инвестиций (ОИ) рекомендовано реконструировать существующую дорогу;

необходимостью устранения излишней извилистости трассы и волнистости в продольном профиле («биения трассы»);

целесообразностью устранения на участках дороги с повышенной аварийностью неудачных сочетаний элементов плана и продольного профиля, дезориентирующих водителей в части ожидаемого направления движения;

необходимостью исправления участков трассы существующей дороги при неудачном вписывании ее полотна в прилегающий ландшафт;

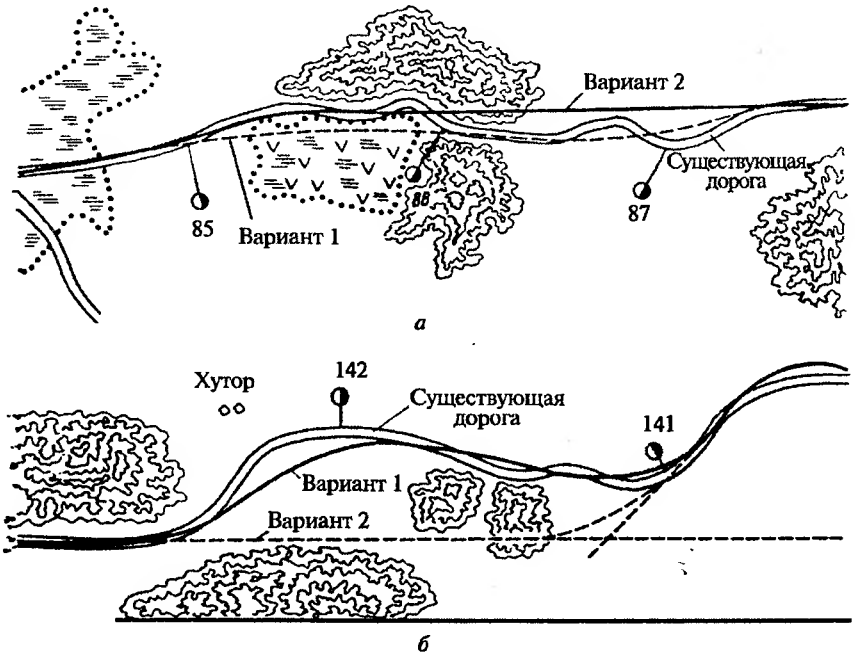
необходимостью обхода населенных пунктов;

целесообразностью улучшения условий пересечения водотоков, а также существующих автомобильных и железных дорог;

необходимостью улучшения условий поверхностного водоотвода;

необходимостью обхода участков местности с трудными инженерно-геологическими условиями (болота, оползни, осыпи, карсты, просадочные грунты и т.д.), на которых накоплен предшествующий негативный опыт эксплуатации автомобильной дороги.

Учитывая, что понятие «реконструкция автомобильной дороги» предполагает обязательный перевод ее в дорогу более высокой категории, проектирование ее ведут по более жестким техническим нормам (при больших минимальных радиусах кривых в плане и продольном профиле, меньших значениях предельно допустимых продольных уклонов, больших значениях требуемых модулей упругости дорожных конструкций и т.д.). В большинстве случаев выполнение только одного из перечисленных выше условий уже делает невозможным следование на всем протяжении плану и профилю существующей автомобильной дороги, полное использование полотна существующей дороги, дорожных конструкций и полосы отвода. Выполнение противоречивых условий — максимального приближения плана и профиля реконструируемой дороги к существующей при существенном улучшении параметров плана и продольного профиля и максимальном использовании существующих дорожных конструкций, наиболее эффективно решается при современном системном автоматизированном проектировании с использованием принципов «свободной геометрии». Наиболее эффективно эта задача решается в рамках системы автоматизированного проектирова-



Р и с. 37.5. Примеры устранения необоснованной извилистости дороги:

а — на прямом участке; *б* — на сопряжении кривых

ния CAD «IndorCAD/Road» (см. гл. 12), в рамках которой план и продольный профиль реконструируемых дорог решается в едином классе гибких функций Безье или трехмерных сплайнов.

Излишняя извилистость трасс реконструируемых автомобильных дорог в ряде случаев вызвана целым комплексом причин: многоэтапным последовательным улучшением дорог низших категорий с переводом их в более высокие; недостаточной мощностью дорожно-строительных организаций в период реконструкции; в результате изменения административно-хозяйственного значения дороги (например, при переводе местных и областных дорог в статус федеральных) и условий перевозок и т.д. Поскольку излишняя извилистость трассы вызывает перепробеги автомобилей, снижение скорости перевозок и является причиной повышенной аварийности на дороге, исключение излишней извилистости трасс является одной из обязательных задач реконструкции (рис. 37.5). Брошенные участки автомобильных дорог, если их не предполагается использовать в качестве площадок отдыха или подъездов к населенным пунктам, подлежат

разборке, а занимаемые ими земли — рекультивации с последующим их возвращением сельскохозяйственным организациям и фермам.

Аналогичным образом приходится существенно корректировать план и продольный профиль трассы на участках неудачного сочетания плана и продольного профиля автомобильных дорог, дезориентирующих водителей в части дальнейшего направления трассы за пределами фактической видимости, а также в случаях неудачного вписывания полотна дороги в прилегающий ландшафт (см. гл. 19).

На участках прохождения реконструируемых дорог по населенным пунктам в связи с закономерным ростом интенсивности движения год от года условия движения становятся все более напряженными: снижается скорость транспортных потоков, растет аварийность, растет негативное влияние транспортных потоков на экологию придорожной полосы и расположенные там жилые объекты и т.д. В связи с этим на участках прохождения дорог по населенным пунктам всегда приходится рассматривать варианты их обхода реконструируемой дорогой, в подавляющем большинстве случаев в пользу строительства по новому направлению.

На участках реконструируемых автомобильных дорог часто встречаются пересечения других автомобильных и железных дорог в одном уровне. На старых автомобильных дорогах нередко встречаются участки, где такие пересечения встречаются на близком расстоянии друг от друга. Путем спрямления реконструируемой дороги удается сократить число таких пересечений, а целесообразность строительства пересечений в разных уровнях обосновывают путем технико-экономических сравнений вариантов.

На участках существующих автомобильных дорог с неблагоприятными грунтовыми, геологическими и гидрогеологическими условиями, с необеспеченным поверхностным водоотводом (оползни, осыпи, пучинообразования, снегозаносы и т.д.) рассматривают варианты обхода этих участков либо путем изменения проектной линии продольного профиля. При этом все изменения проектной линии продольного профиля связаны с неизбежной перестройкой на значительном протяжении существующих покрытий с существенной потерей материалов, с необходимостью перестройки водопропускных труб, мостов и путепроводов.

37.4. Земляное полотно при реконструкции автомобильных дорог

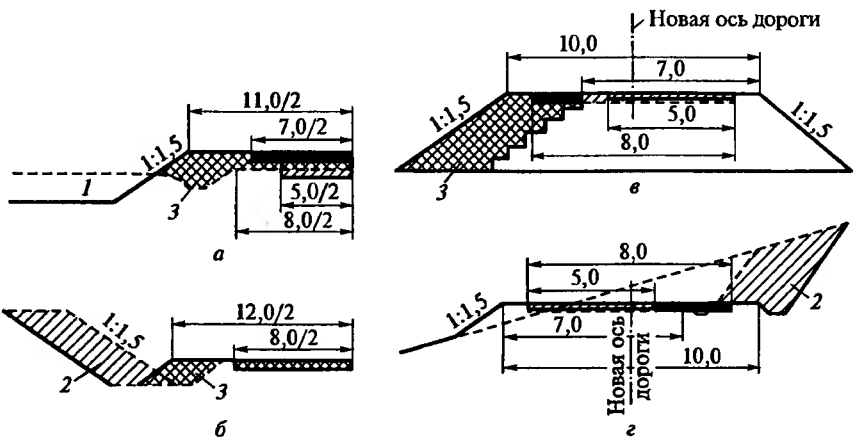
Реконструкция автомобильных дорог всегда бывает сопряжена с необходимостью выполнения определенных объемов земляных работ, связанных с уширением земляного полотна (особенно при ре-

конструкции двухполосных дорог до многополосных дорог I или II категории), углублением выемок и повышением высоты насыпей.

Земляные работы при реконструкции существующего земляного полотна обычно сопряжены с известными трудностями их выполнения, заключающимися: в неравномерности их объемов по длине реконструируемой трассы; необходимости обеспечения надлежащего сопряжения вновь отсыпаемого земляного полотна со старым; необходимости отсыпки тонких слоев грунта на существующих откосах; сложности уплотнения присыпаемого грунта; необходимости в ряде случае нарезки ступеней на откосах существующего полотна. Грунт для отсыпки земляного полотна реконструируемой дороги обычно доставляют автовозкой из сосредоточенных резервов и грунтовых карьеров, поскольку использовать существующие придорожные резервы редко оказывается возможным.

В местах, где отсутствует необходимость изменения положения трассы в плане и продольном профиле и требуется только выполнить уширение земляного полотна и дорожной одежды, используют несколько типовых решений, выбор наилучшего из которых зависит прежде всего от принятой конструкции дорожной одежды и способа ее уширения.

Возможны следующие случаи уширения существующих насыпей и выемок (рис. 37.6, *а—г*).



Р и с. 37.6. Способы уширения земляного полотна:

а — при совмещении проектной оси с осью существующей дороги в насыпи; *б* — то же, в выемке; *в* — одностороннее уширение в насыпи; *г* — одностороннее уширение на косогорном участке; *1* — притрассовый резерв; *2* — срезка откоса выемки; *3* — досыпка откоса насыпи

1. Двустороннее уширение, при котором ось реконструируемой автомобильной дороги совмещают с осью существующей. При этом приходится досыпать откосы насыпей (в ряде случаев с вынужденной засыпкой боковых канав и резервов) и срезать укрепленные откосы выемок. Существующая дорожная одежда при таком способе уширения в большинстве случаев полностью остается на прочном, уплотненном основании. Такой способ применим при относительно малых высотах насыпей.

Двустороннее уширение невысоких насыпей часто сочетают с устройством пологих откосов (1:5 — 1:6), обеспечивающих безопасный съезд потерявших управление автомобилей на придорожную полосу, а также лучшее обтекание насыпей снежно-ветровым потоком.

2. Одностороннее уширение, при котором ось реконструируемой дороги смещают несколько в сторону от оси существующей. Особенность такого способа уширения состоит в том, что новая часть уширенной дорожной одежды оказывается частично расположенной на вновь отсыпанном грунте, которому трудно придать ту же степень уплотнения, как и на старом земляном полотне. Тем не менее при таком способе уширения оказывается проще организовать нарезку ступеней и хорошее уплотнение присыпаемого грунта.

3. На косогорных участках ось реконструируемой дороги, как правило, оказывается целесообразным смещать в сторону косогора, с тем чтобы земляное полотно уширялось за счет выемки, без использования присыпного грунта. Во всех случаях требуется проверка устойчивости подрезаемого откоса.

При больших уширениях, когда осуществляется перевод реконструируемой дороги в I или II (с четырьмя полосами движения) категорию, новое направление движения оказывается целесообразным размещать самостоятельно по склону с использованием принципа «раздельного трассирования». В пользу такого решения свидетельствует довод о простоте организации строительных работ, когда существующая дорога используется для двустороннего движения на период строительства.

При любом способе уширения земляного полотна должно быть обеспечено хорошее сопряжение и уплотнение присыпаемого грунта и обеспечение совместной работы старой насыпи и новых частей земляного полотна.

Рациональное размещение оси нового полотна реконструируемой дороги относительно старого определяют на основе технико-экономического сравнения различных вариантов.

37.5. Реконструкция, капитальный ремонт и усиление существующих дорожных одежд

При реконструкции дорог существующую старую дорожную одежду можно использовать различными способами. Самый простой из них, часто используемый при капитальных ремонтах, состоит в выравнивании существующего покрытия и усилении старой дорожной одежды без его уширения. Однако, поскольку реконструкция автомобильной дороги всегда предусматривает перевод ее в более высокую категорию, практически всегда реконструкция предусматривает уширение земляного полотна и проезжей части.

Наиболее рациональный способ уширения дорожной одежды в большинстве случаев связывают с принятым способом уширения земляного полотна. Одностороннее уширение проезжей части с той же стороны, с которой производится уширение земляного полотна, вызывает смещение оси проезжей части и делает необходимым несимметричное усиление дорожной одежды по ширине проезжей части, что приводит к некоторому перерасходу асфальтобетона, связанному с созданием нового поперечного профиля. При уширении учитывают необходимость создания с каждой стороны проезжей части краевых полос шириной в зависимости от категории дороги 0,5—0,75 м.

В подавляющем большинстве случаев при реконструкции не удается ограничиться только уширением и усилением существующей дорожной конструкции. На ряде участков реконструируемой дороги приходится смягчать продольные уклоны и выравнивать пилообразную проектную линию, что требует соответствующего увеличения рабочих отметок на большую величину, чем необходимая толщина усиления одежды.

В таких случаях часто для упрощения производства работ новую дорожную одежду строят на «погребенной» старой, а в случаях недостатка местных каменных материалов рассматривают варианты использования материалов старой дорожной одежды в конструкции новой.

При реконструкции автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями или покрытиями с цементобетонными основаниями далеко не всегда оказывается целесообразным использовать старые цементобетонные покрытия в качестве оснований новых. Наличие многочисленных трещин, выбоин, сколов кромок и швов и других разрушений не гарантирует однородную прочность новой дорожной одежды и провоцирует появление так называемых отраженных трещин. Кроме того, в ходе многолетней эксплуатации цементобетон-

ных покрытий последние часто оказываются покрытыми трудноудаляемой масляной пленкой, которая препятствует хорошему сцеплению между старым цементобетонным и новым покрытием.

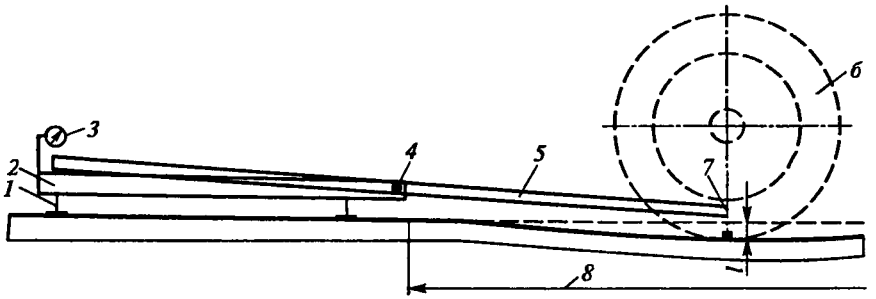
Тем не менее в случаях, когда использование старых цементобетонных покрытий в качестве оснований новых целесообразно, последние устраивают по выравнивающему слою из черного песка толщиной 5—10 см для предотвращения появления «отраженных» трещин.

В тех же случаях, когда использование старых цементобетонных покрытий в качестве оснований новых оказывается нецелесообразным, для обеспечения нормальной работы новых дорожных покрытий старые дробят на куски перфораторами или бетоноломами и после удаления арматуры и уплотнения тяжелыми катками используют в качестве одного из конструктивных слоев новой одежды.

Старые асфальтобетонные покрытия также могут быть непосредственно использованы в качестве оснований новых, укладываемых, как правило, по выравнивающему слою из черного песка. В случаях сильной изношенности старых асфальтобетонных покрытий и слоев, обработанных органическими вяжущими, в последние годы стали использовать комплекты машин для регенерации старых асфальтобетонных покрытий с последующей их повторной укладкой на месте.

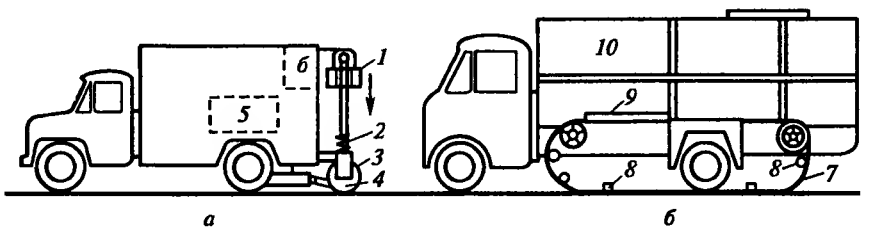
Усиление существующих дорожных одежд, как правило, с одновременным выравниванием производят на основе детальной оценки прочности конструкции и ее состояния, а также расчетов необходимой толщины усиления. Расчеты ведут теми же методами, что и вновь строящиеся дорожные одежды, исходя из эквивалентного модуля упругости существующей дорожной конструкции, если она находится в удовлетворительном состоянии.

На старых дорогах, ранее подвергавшихся улучшению путем устройства усовершенствованных покрытий, прочность дорожной одежды часто меняется на относительно коротких участках. В этих случаях в ходе изысканий важно получить сведения о конструкции существующей дорожной одежды на отдельных участках и свойствах материалов отдельных ее слоев, а также об условиях работы дороги в периоды избыточного увлажнения. Для этого оценивают общую прочность существующей конструкции с помощью рычажных прогибомеров (рис. 37.7) либо с помощью установок, смонтированных на автомобилях и позволяющих непрерывно измерять прогибы дорожной одежды при проезде с относительно невысокой скоростью (рис. 37.8).



Р и с. 37.7. Схема рычажного прогибомера для измерения деформаций дорожных одежд:

1 — установочные винты прибора; *2* — станина прибора; *3* — индикатор для измерения прогибов, укрепленный на неподвижной станине прибора; *4* — шарнир; *5* — рычаг; *6* — колесо испытательного автомобиля; *7* — стержень, опирающийся на покрытие; *8* — чаша прогиба дорожной одежды; *l* — упругий прогиб дорожной одежды



Р и с. 37.8. Схемы ходовых лабораторий для непрерывной автоматической регистрации прочности дорожной одежды:

а — лаборатория МАДИ (УДННК); *б* — французская лаборатория; *1* — падающий груз; *2* — пружина; *3* — спаренные пневматические колеса; *4* — измерительное колесо; *5* — блок приборов регистрации и обработки данных измерений; *6* — устройство для автоматического подъема груза; *7* — лента, перемещающаяся со скоростью движения автомобиля; *8* — датчики прогиба; *9* — считывающее устройство; *10* — груз

Фактический общий модуль упругости существующей конструкции определяют по формуле

$$E_{\text{общ}} = \frac{pD(1-\mu^2)}{l},$$

где p — давление на покрытие; l — упругий прогиб; D — диаметр круга, равновеликого площади контакта автомобиля с покрытием; μ — коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,3.

Зная общий $E_{\text{общ}}$ и требуемый $E_{\text{тр}}$ модули упругости, находят толщину дополнительного слоя усиления существующей дорожной конструкции.

Р и с. 37.9. Линейный график прочности дорожной одежды:

а, б — асфальтобетон; щ — щебень; п — песок; гр — гравий; А — супесь легкая; Б — супесь; В — суглинок; Г — пылеватый суглинок

На основе этих исследований вычерчивают линейный график прочности существующей дорожной одежды (рис. 37.9) и, показав на нем требуемый эквивалентный модуль упругости дорожной одежды, устанавливают участки, на которых требуется усиление существующей дорожной конструкции.

Уширение дорожной одежды выполняют полосами, разбирая существующую конструкцию у кромок на ширину 10—20 см. На уширениях проектируют равнопрочную новую конструкцию с обязательным обеспечением водоотвода из дренирующих слоев существующей одежды.

Несмотря на существенные различия конструкции и состояния дорожной одежды по длине дороги, при реконструкции все же стремятся к использованию одного оборудования, вида применяемых материалов и однотипности технологических процессов.

37.6. Особенности организации работ при реконструкции автомобильных дорог

Условия организации работ при реконструкции и новом строительстве автомобильных дорог, как правило, весьма различны. Обоснованных рекомендаций по проектированию организации работ при реконструкции до настоящего времени не существует. Поэтому в проектах организации строительства и производства работ для реконструкции автомобильных дорог ряд принципиальных вопросов не находит правильного освещения или же вообще не рассматривается.

Организация работ при реконструкции автомобильных дорог имеет следующие особенности:

необходимость обеспечения на период реконструкции удовлетворительных условий движения существующих транспортных потоков в ряде случаев значительной интенсивности;

невозможность использования для некоторых строительных операций обычной, серийно выпускаемой дорожно-строительной техники;

необходимость разработки и применения индивидуальных технологических схем;

в ряде случаев повышенная энергоемкость и, как следствие, повышенная себестоимость единицы объема строительных работ.

Перечисленные особенности и степень их учета при разработке проектов организации реконструкции в существенной степени влияют как на стоимость производства работ, так и на календарную их продолжительность.

Возможны несколько принципиальных вариантов организации работ при реконструкции.

1. Дорожно-строительная организация, обладающая необходимыми материально-техническими ресурсами, выполняет работы по реконструкции всего участка автомобильной дороги одним потоком. Скорость и направление строительного потока определяются технико-экономическими расчетами при экономическом обосновании инвестиций.

Мероприятия по дорожному обеспечению существующего движения осуществляют эксплуатационные организации, обслуживавшие дорогу ранее, до начала реконструкции, кроме участков нового строительства и участков объезда мест производства работ. В большинстве случаев этот вариант организации работ наиболее целесообразен при относительно небольшой протяженности реконструируемого участка автомобильной дороги и сроке реконструкции, не превышающем 2—3 года.

2. При реконструкции автомобильной дороги большой протяженности и выполнении работ одной подрядной дорожно-строительной организацией в течение нескольких лет целесообразно разделять дорогу по очередям строительства. К первым очередям строительства относят прежде всего те участки, на которых народное хозяйство несет наибольшие потери в результате несоответствия дорожных условий требованиям существующего движения.

Наличие участков с различной очередностью строительства, располагаемых часто в непоследовательном порядке, препятствует организации единого строительного потока. Дополнительные затраты, связанные с вынужденным рассредоточением материально-технических и трудовых ресурсов и необходимостью их передислокации с одного участка на другой, обычно окупаются выгодами, получаемыми в транспортной сфере благодаря первоочередной реконструкции опасных и убыточных для транспорта мест. Поэтому на автомагистралях большой протяженности в большинстве случаев ориентируются на поэтапную по очередям строительства схему организации работ при реконструкции.

3. Стадийное улучшение транспортно-эксплуатационных качеств дороги, выполняемое обычно непрерывно эксплуатационными организациями с относительно небольшими ежегодными затратами. Такой вариант реконструкции реализуют обычно при малых объемах финансирования и недостаточности материально-технических ресурсов.

Выбор той или иной схемы реконструкции в конечном счете определяется расчетами экономической эффективности инвестиций с учетом транспортно-эксплуатационных характеристик реконструируемой дороги, конкретных условий производства работ, объемами финансирования, характеристиками производственной базы и наличием материально-технических ресурсов.

Раздел девятый

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Глава 38

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ[1]

38.1. Распространение вечной мерзлоты на территории России

Вечномерзлыми (многолетнемерзлыми) называют грунты, содержащие замерзшую воду и имеющие температуру ниже 0 °С в течение длительного периода времени.

В России вéчномерзлые (ВМГ), многолетнемерзлые (ММГ) грунты и мерзлые породы (МП) являются закономерными естественно-историческими образованиями, которые характеризуются определенными законами возникновения, существования, развития и распространения.

Вечномерзлые и многолетнемерзлые грунты составляют 47% территории бывшего СССР и 65% территории современной Российской Федерации, в том числе они занимают 85% территории Сибири и 95% Республики Саха (Якутии).

Строительство и эксплуатация автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты имеет целый ряд особенностей, связанных с суровыми природно-климатическими условиями и особенностями социально-экономического развития удаленных регионов России, прежде всего это:

наличие огромных территорий, занятых озерами, болотами, переувлажненными участками местности — марями и многолетнемерзлыми грунтами;

---

[1] При подготовке настоящей главы авторами были использованы материалы исследований проф. В.А. Давыдова.

практически повсеместное отсутствие качественных дорожно-строительных материалов: песчано-гравийных, щебеночных и других каменных материалов, необходимых для строительства дорог;

широкое распространение глинистых пылеватых грунтов, малопригодных для дорожного строительства;

очень короткий теплый период года (2,5—4,5 месяца), когда можно качественно выполнять дорожно-строительные работы;

суровые длинные зимы (до 7—9 месяцев) с очень низкими отрицательными температурами воздуха, доходящими до минус 60—70 °С и ниже, когда производить какие-либо строительные работы практически невозможно;

наличие в северных и центральных районах с ММГ жильных и погребенных льдов, вытаивание которых приводит к термокарстовым просадкам и катастрофическим провалам полотна дорог и сооружений на них;

распространение мерзлотно-геоморфологических образований: бугры пучения, морозобойные трещины, наледи и термокарстовые явления;

значительная удаленность от экономически развитых районов страны и исключительно низкая плотность дорожной сети (менее 0,1—0,3 км на 1000 км^2 территории), вследствие чего стоимость строительства в три раза и более выше, чем в центральных районах европейской части страны;

высокая стоимость рабочей силы (на Крайнем Севере в 3,4—4,8 раза выше, чем в районах средней полосы), которая зависит не только от исключительной трудоемкости работ, но и от повышенных тарифных ставок, льгот для работников и т.д.

Главная особенность территорий зоны вечной мерзлоты состоит в том, что их освоение сопровождается при нарушении мохорастительного покрова образованием термокарстовых протаиваний, траншей и озер из-за таяния мерзлых грунтов и вытаивания жильных и погребенных льдов.

Передвижение по таким местам с тяжелой техникой наносит непоправимый урон экологии территорий, что вызывает серьезные трудности в организации дорожно-строительных работ и ограничивает возможность быстрого сообщения между населенными пунктами.

Почти полное отсутствие дорог на большей части территории Сибири и Крайнего Севера сдерживает социально-экономическое развитие этих регионов и затрудняет доставку даже самых жизненно необходимых грузов. Связь между населенными пунктами часто бывает возможной только по зимним дорогам (автозимникам, ледовым переправам).

38.2. Дорожно-климатическое районирование зоны вечной мерзлоты

При проектировании автомобильных дорог разнообразие природно-климатических условий России учитывают дорожно-климатическим районированием, получившим отражение в таких нормативных документах, как СНиП 2.05.02—85*, ВСН 84—89 и т.д. Многолетний опыт применения существующего дорожно-климатического районирования выявил, что оно не в полной мере отражает особенности изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог в районах распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов и требует дальнейшего уточнения и детализации. Территорию России делят на два региона:

первый, основной, особенностью которого является сезонное промерзание грунтов (~30—35% территории России). Верхний слой грунта, который в теплое время года оттаивает, а зимой вновь замерзает, называют *деятельным слоем*;

второй, в котором поверхностный слой грунтов протаивает летом на некоторую глубину (сезонное оттаивание грунтов), а остальную часть года находится в мерзлом состоянии (~65—70% территории России).

Линией раздела регионов является граница распространения многолетнемерзлых грунтов на территории России.

Изучение природных условий зоны вечной мерзлоты показало, что на ее территории отчетливо выражено зональное изменение основных физико-географических природных факторов, что вызывает необходимость деления территории зоны вечной мерзлоты на подзоны. На основе исследований, проведенных коллективом авторов Омского филиала СоюздорНИИ с участием МАДИ на дорогах Сибири, Крайнего Севера, Якутии, Бурятии и других регионов и результатов многолетних наблюдений (мониторинг дорог) за мерзлотным режимом на постах и опытных участках автомобильных дорог, зона вечной мерзлоты была разделена на три характерные подзоны:

п е р в а я I_1 — Северная подзона низкотемпературных многолетнемерзлых грунтов (НТММГ) сплошного распространения с высокой влажностью грунтов деятельного слоя (как правило, влажность грунтов выше предела текучести, $W > W_{тек}$);

в т о р а я I_2 — Центральная подзона (НТММГ) сплошного распространения с умеренной влажностью грунтов деятельного слоя, $W = (0{,}7—1)W_{тек}$;

т р е т ь я I_3 — Южная подзона высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов (ВТММГ) сплошного и островного распростра-

нения с умеренной влажностью грунтов деятельного слоя, $W = (0,7—1)W_{тек}$.

В основу дорожно-климатического районирования зоны вечной мерзлоты положены факторы, оказывающие решающее влияние на устойчивость дорожных конструкций на вечномерзлых грунтах:

вид грунта деятельного слоя и его влажность;

характер распространения многолетнемерзлых грунтов и их температура;

мощность деятельного слоя;

среднегодовая температура воздуха;

рельеф местности;

гидрология.

Совокупность этих признаков обусловлена сочетанием климатических, грунтово-гидрогеологических и мерзлотных особенностей и присуща в определенной степени природным ландшафтам и рельефу земной поверхности.

Действительно, каждый природный ландшафт является уникальным, обладающим в целом неповторимой совокупностью физико-географических условий, а также характерным комплексом природных и территориальных особенностей. Поэтому для выделения границ подзон за основу были взяты границы зональных типов ландшафтов и рельефа местности. В схеме деления территории зоны вечной мерзлоты на дорожно-климатические подзоны (рис. 38.1) принята нумерация подзон I_1, I_2, I_3. Эта нумерация означает:

первая подзона первой дорожно-климатической зоны (ДКЗ);

вторая подзона первой ДКЗ;

третья подзона первой ДКЗ.

Такая нумерация подзон позволила сохранить общепринятые названия дорожно-климатических зон.

Наиболее неблагоприятной для дорожного строительства является первая Северная подзона (I_1), где широко распространены жильные и погребенные льды, близко залегающие к поверхности земли.

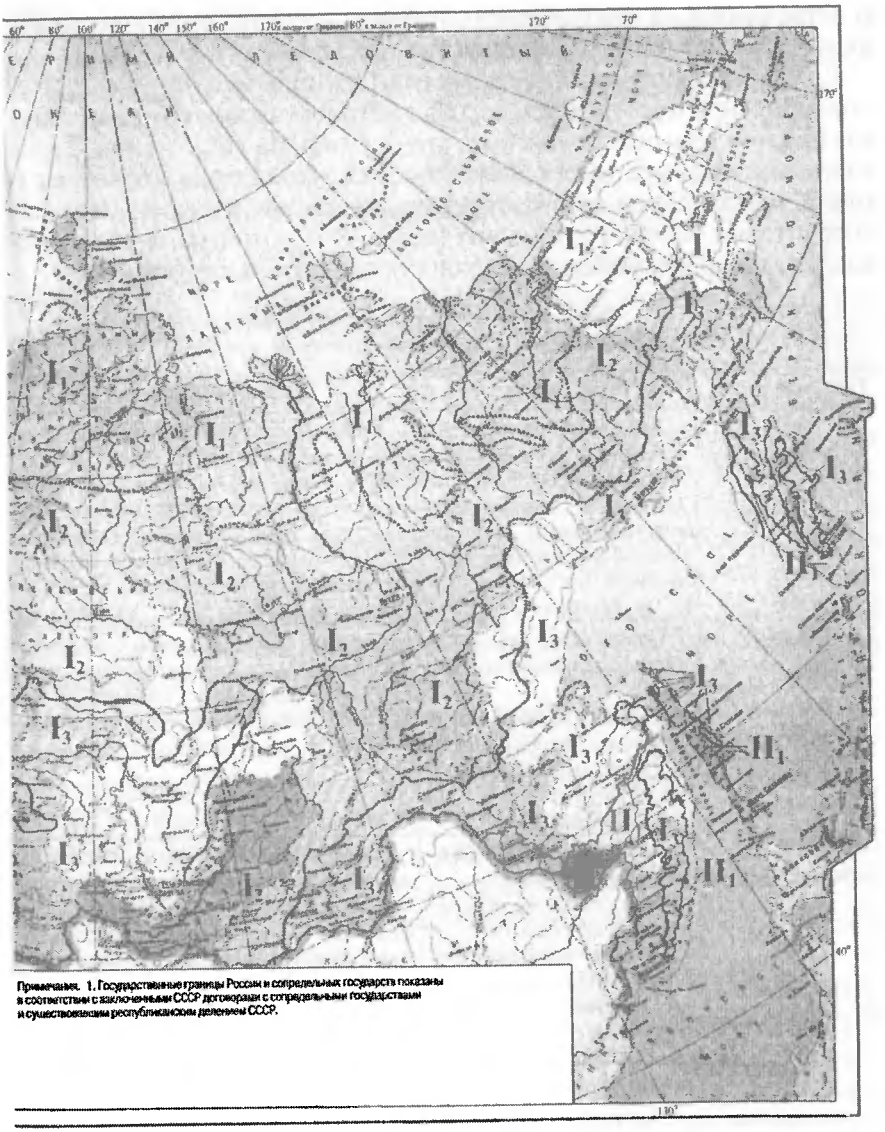
Природно-климатические условия второй Центральной подзоны (I_2) более стабильны, предсказуемы и более приемлемы для дорожного строительства.

Третья Южная подзона (I_3) высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов (пород), в основном островного распространения, где вечномерзлые грунты встречаются или в виде сплошной высокотемпературной вечной мерзлоты, или в виде отдельных мерзлых островов среди талой толщи грунта.

В горных районах в связи с вертикальной зональностью изменение природно-климатических условий учитывают по мере увеличения высоты пояса. В гористой местности вечномерзлые грунты обыч-

Р и с. 38.1. Дорожно-климатическое районирование I дорожно-

I_1 — Северная подзона низкотемпературных ММГ сплошного распространения; I_2 — Центральная подзона низкотемпературных ММГ в основном сплошного распространения; I_3 — Южная подзона высокотемпературных ММГ в основном островного и частично сплошного распространения;



климатической зоны — зоны вечной мерзлоты (по В.А. Давыдову):

II_1 — Северная подзона II дорожно-климатической зоны континентального и резко континентального климата, характеризующаяся образованием «перелетков»

но встречаются на заболоченных участках, склонах северной экспозиции и в пониженных затененных местах.

Для более детального учета условий района проложения трассы автомобильной дороги принято делить его на участки (типы местности) по характеру поверхностного стока и степени увлажнения. Такое деление на типы местности возможно также и для зоны вечной мерзлоты с учетом дополнений, отражающих специфические, мерзлотно-грунтовые условия этой зоны (табл. 38.1), которые, в свою очередь, определяют выбор и расчет дорожных конструкций.

Таблица 38.1. **Типы местности по характеру поверхностного стока, степени увлажнения и мерзлотно-грунтовым условиям**

Типы местности	Условия увлажнения	Характерные признаки
1-й (сухие места)	Без избыточного увлажнения. Поверхностный сток обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов менее 0,8 от предела текучести	Каменистые возвышенности, крутые склоны сопок, песчаные и гравийно-галечниковые косы с мощностью сезонноотаивающего слоя более 2,5 м. Грунты гравийно-галечниковые, песчаные, а также супесчаные, глинистые, непросадочные и малопросадочные*
2-й (сырые места)	Избыточное увлажнение в отдельные периоды года. Поверхностный сток не обеспечен. Естественная относительная влажность грунтов от 0,8 до предела текучести	Плоские водоразделы, пологие склоны гор и их шлейфы с мощностью сезонноотаивающего слоя от 1,0 до 2,5 м. Грунты глинистые, просадочные*
3-й (мокрые места)	Избыточное постоянное увлажнение. Водоотвод не обеспечен. Надмерзлотные и длительно стоящие (более 20 сут) поверхностные воды. Естественная относительная влажность грунтов выше предела текучести	Мари, заболоченные тальвеги, замкнутые впадины с развитым мохоторфяным покровом и малой мощностью (до 1 м) сезонноотаивающего слоя. Грунты глинистые, сильно просадочные и чрезмерно просадочные*, содержащие в пределах двойной мощности сезонноотаивающего слоя линзы льда толщиной более 10 см

* Грунты подразделяются по категориям просадочности:

I — условно непросадочные при относительной степени просадочности $\delta = 0 + 0{,}01$; II — малопросадочные — при $\delta = 0{,}01 + 0{,}1$; III — просадочные — при $\delta = 0{,}1 + 0{,}4$; IV — сильно просадочные — при $\delta = 0{,}4 + 0{,}6$; V — чрезмерно просадочные — при $\delta = 0{,}6 + 1{,}0$.

Степень просадочности δ определяют по формуле $\delta = \frac{\gamma_{тн} - \gamma_м}{\gamma_{тн}}$, где $\gamma_{тн}$ — объемный вес скелета талого грунта, оттаявшего под нагрузкой 1 кгс/см^2 = 9,80665 · 10^4 Н/м^2; $\gamma_м$ — объемный вес скелета грунта в мерзлом состоянии, г/см^3.

Более детальное районирование разрабатывают в процессе изысканий вдоль трассы будущей дороги с учетом конкретных мерзлотно-грунтовых и инженерно-геологических условий.

38.3. Изыскания автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты

В процессе изысканий, при проектировании и строительстве дорог и площадок под аэродромы, здания и сооружения в районах распространения ВМГ и ММГ необходимо тщательно учитывать особенности природно-климатических условий рассматриваемой зоны, которые могут характеризоваться следующими показателями: видом и влажностью грунтов сезонноотаивающего и сезоннопромерзающего (деятельного) слоя; физико-механическими свойствами грунтов, их составом и сложением; мощностью деятельного слоя; мерзлотно-геологическими (криогенными) процессами (бугры пучения, термокарст, солифлюкция, наледи и т.д.) с выявлением причин их образования; температурным режимом грунтов; наличием и видом грунтовых (надмерзлотных и межмерзлотных) вод; климатическими показателями района строительства.

В зависимости от изученности местности в топографическом, инженерно-геологическом и гидрогеологическом отношениях может быть применен тот или иной вид аэрокосмических методов сбора информации или весь их арсенал. В районах распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов особенно эффективными оказываются такие виды аэрокосмических съемок, как:

цветная на трехслойную цветную фотопленку, передающая окраску снимаемой поверхности в естественных цветах;

спектрозональная на двухслойную цветную фотопленку, передающая окраску снимаемой поверхности в условных цветах и чувствительная к малейшим изменениям оттенков. Спектрозональную съемку эффективно применять в районах распространения ВМГ и ММГ при изучении состава, влажности и типов грунтов, используя их связь с естественным растительным покровом;

многозональная с использованием нескольких синхронно работающих аэрокамер с комбинациями различных фотопленок;

инфракрасная (тепловая) с использованием специальных цветных приборов — тепловизоров, чувствительная к малейшим изменениям температуры снимаемой поверхности.

Большие перспективы при изысканиях дорог в зоне распространения ВМГ и ММГ имеет воздушное и наземное лазерное сканирование.

Преобладающее значение аэрокосмические методы имеют на стадиях обоснования инвестиций (ОИ) или технико-экономического обоснования (ТЭО) основных конкурирующих вариантов трассы дороги или площадок для размещения и строительства аэродромов, крупных промышленных объектов, зданий или сооружений.

Наземные инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания целесообразно выполнять сразу на значительной территории или на значительном протяжении намечаемых к строительству объектов (всех вариантов трасс дорог и площадок) мобильными комплексными экспедициями, состоящими из нескольких изыскательских партий или отрядов.

Это диктуется экономической целесообразностью, в связи с труднодоступностью районов; потребностью большого количества разнообразной техники, приборов и оборудования; значительными затратами на организацию экспедиционных баз, на заброску изыскательских партий, отрядов и групп, обеспечение их продовольствием, снаряжением, транспортом, связью и горючим.

Инженерные изыскания автомобильных дорог выполняют в соответствии с общими требованиями Сводов правил по проектированию и строительству, СНиП 2.02.04—88, СНиП 2.05.02—85*, ВСН 84—89 и других нормативных документов.

При трассировании автомобильных дорог в районах распространения ВМГ и ММГ руководствуются следующими правилами, которые выработала практика проектирования, строительства и эксплуатации дорог в этих районах:

трассировать по наиболее сухим участкам местности, на крупнообломочных скальных, песчаных и гравелистых грунтах без ледяных прослоек и линз;

обходить участки с неблагоприятными мерзлотными и грунтово-гидрогеологическими условиями: с высоким залеганием подземных льдов, с распространением солифлюкции, с повышенной влажностью и пылеватостью грунтов, с наличием или возможностью образования наледей;

трассировать по склонам и террасам южной экспозиции, избегая северных «мокрых» склонов косогоров;

обходить пониженные места (ложбины, котловины) или пересекать их по кратчайшему направлению;

обходить глубокие балки и овраги, а также жилые и производственные постройки с подветренной стороны;

трассу, по возможности, располагать по направлению господствующих ветров или под углом к ним менее 20°;

в горной и пересеченной местности отдавать предпочтение водораздельным и долинным ходам по надпойменным террасам и пологим наветренным склонам.

Разработку предпроектной и проектной документации на развитие автомобильных дорог и сооружений на них осуществляют в соответствии с действующим законодательством по стадиям:

программа развития дороги (ПРД);

обоснование инвестиций (ОИ) или технико-экономическое обоснование (ТЭО);

инженерный проект (ИП);

рабочая документация (РД).

Подготовку документации, обосновывающей новое строительство или реконструкцию автомобильной дороги, выполняют с учетом оценки воздействия дороги на окружающую среду (ОВОС).

Проектно-сметную документацию разрабатывают по заданию заказчика, где указываются объемы строительных работ, очередность строительства и стадия проектирования.

Проектно-изыскательская организация в лице главного инженера проекта (ГИПа) совместно с заказчиком учитывают в задании на проектирование все сопутствующие работы, обеспечивающие устойчивость, надежность и работоспособность проектируемых дорог и сооружений на них, включая научное сопровождение на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации дороги.

Пояснительная записка к проектам содержит технико-экономическую часть (ТЭЧ) или соответствующие ссылки на предыдущие стадии (ОИ, ТЭО или другой обосновывающий документ) в части назначения и обоснования основных параметров проектируемой дороги: категория, расчетная скорость движения, варианты плана трассы, допустимые параметры в плане и продольном профиле и т.д.

Разработку проектной документации на новое строительство или на реконструкцию автомобильной дороги выполняют после утверждения одобренных обоснований инвестиций (ОИ).

Стадийность проектно-изыскательских работ устанавливают на основе ОИ или ТЭО строительства дороги (титула), для составления которых проводят экономические и рекогносцировочные изыскания.

На всех стадиях изысканий дорог в районах распространения ВМГ и ММГ проводят мерзлотно-грунтовые исследования.

Для достоверной оценки топографических, инженерно-геологических мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условий местности изыскания автомобильных дорог проводят, как правило, в теплый период года.

Обследования наледных мест, бугров пучения и снегозаносимых участков, буровые работы на мостовых переходах проводят, как правило, в зимнее или весеннее время.

В ходе изысканий выявляют участки местности с наиболее благоприятными инженерно-геологическими, гидрогеологическими и мерзлотно-грунтовыми условиями для проложения трассы дороги.

Изыскательские экспедиции и партии для работ в районах распространения ВМГ и ММГ обеспечиваются (в зависимости от местных условий) вездеходами, автомобилями высокой проходимости, самолетами, вертолетами, катерами, болотоходами, снегоходами и в отдельных случаях (в труднодоступных районах Крайнего Севера) оленьими или собачьими упряжками.

В течение всего периода изысканий экспедиционные группы обеспечиваются двусторонней телефонной, спутниковой или радиосвязью с базой экспедиции.

Объем изыскательских работ на каждой стадии корректируют в зависимости от сложности инженерно-геологических, мерзлотно-грунтовых и топографических условий с учетом освоенности района изысканий, в том числе и наличия дорог.

При проведении изыскательских работ должны быть получены материалы в объеме, достаточном для разработки и сравнения многих принципиальных вариантов трассы, для качественного проектирования автомобильной дороги со всеми необходимыми сооружениями и определения стоимости ее строительства.

Достаточность объема полученной информации и качество изыскательских работ определяет комиссия проектной организации под председательством главного инженера проекта (ГИПа) будущей дороги.

При подготовке документации, обосновывающей стоимость строительства или реконструкции автомобильной дороги, процедура оценки воздействия строительных работ на окружающую среду в районах распространения ВМГ и ММГ (ОВОС) является обязательной.

Для объектов в особо сложных природных условиях строительства одновременно с разработкой рабочей документации могут выпол-

няться детальные дополнительные проработки проектных решений по отдельным сооружениям или участкам автомобильной дороги.

Практика изыскательских и проектных работ в северной дорожно-климатической зоне показывает, что помимо аэрокосмических съемок и наземных топографических работ необходимы детальные мерзлотно-грунтовые обследования больших территорий с проведением комплекса работ, имеющих в ряде случаев решающее значение при окончательном выборе варианта трассы дороги или строительной площадки для других объектов на особо сложных участках местности с наличием криогенных явлений: бугров пучения, подземных льдов, термокарста, солифлюкции, курумов, маревых участков, заболоченности и т.д.

Указанные особенности приводят к значительному изменению методики инженерно-геологических обследований и к необходимости выполнения таких видов работ, которые обычно при изысканиях в других районах не проводят, например:

распространение ВМГ и ММГ по площади полосы варьирования конкурентно способных вариантов трассы дороги;

определение глубины залегания и их распространения по глубине многолетнемерзлых, нередко льдонасыщенных грунтов;

установление по глубине температуры талых и многолетнемерзлых грунтов;

установление по глубине суммарной влажности талых и многолетнемерзлых грунтов;

определение мощности деятельных слоев почвы и грунтов;

лабораторные определения теплофизических и физико-механических свойств мерзлых, оттаивающих и талых грунтов;

установление криогенной текстуры мерзлых грунтов.

Учитывая большие объемы и сложность инженерно-геологических изыскательских работ и необходимость получения инженерно-геологической информации в трехмерном пространстве, для их выполнения широко используют методы геофизической разведки: вертикальное электрозондирование (ВЭЗ), электропрофилирование, частотное зондирование, сейсморазведку и т.д. Чрезвычайно эффективной при исследованиях ВМГ и ММГ является подповерхностная радиолокация с использованием самоходных георадаров. Методы подповерхностной радиолокации позволяют получать в сжатые сроки необходимую информацию о распространении по площади, глубинах залегания и криогенной текстуре ВМГ и ММГ и т.д.

Особенно эффективными и надежными данные геофизической разведки оказываются при совместном использовании традиционно-

го бурения с отбором образцов для лабораторных исследований и методов динамического и статического зондирования.

В связи со значительной сложностью природно-климатических условий регионов распространения ВМГ и ММГ в ходе выполнения проектно-изыскательских работ одновременно предусматривают выполнение комплекса опытно-экспериментальных обследований и мерзлотно-грунтовых исследований с последующим многолетним мониторингом (в течение не менее 5—7 лет).

Одновременно на ранних стадиях изучения территории проектируемого объекта (например, на стадии рекогносцировочных изысканий) устанавливают характерные типовые участки местности для организации и проведения стационарных, долговременных (в течение не менее пяти лет) наблюдений за температурным и влажностным режимами грунтов, осадками и пучением поверхности.

Такие стационарные наблюдения ведут на всех стадиях проектно-изыскательских работ, а также и в дальнейшем в процессе строительства и эксплуатации дорог, аэродромов и других сооружений. При разработке программ наблюдений и организации полевых опытно-экспериментальных работ и мерзлотно-грунтовых исследований обычно проектно-изыскательские организации работают совместно с учебными и научно-исследовательскими институтами, кафедрами, лабораториями и конструкторскими бюро.

Стационарные наблюдения проводят с целью проверки правильности применяемых конструкций, способов производства работ, новых решений в области конструирования, расчета, проектирования, строительства и эксплуатации сооружений, а также установления их взаимодействия с многолетнемерзлыми и сезонномерзлыми грунтами.

Стационарные наблюдения проводят на специальных пунктах (постах), организуемых на опытных конструкциях, а также на характерных участках эксплуатируемых автомобильных дорог.

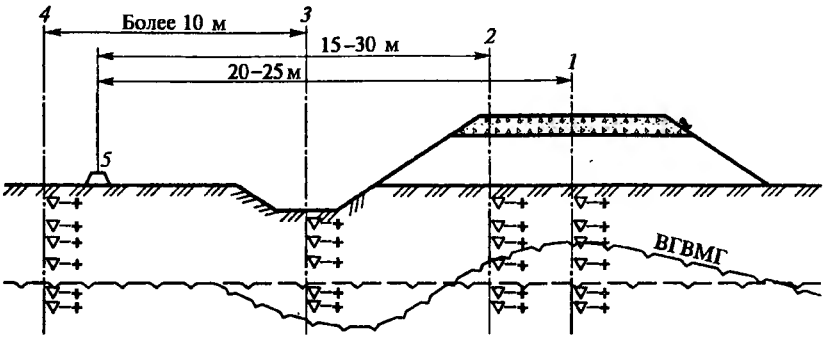
В программу наблюдений входит круглогодичное систематическое изучение:

теплового режима грунтов земляного полотна и естественных оснований (температуры, глубины и скорости оттаивания и промерзания);

водного режима земляного полотна и грунтов естественного залегания (влажности, льдистости и источников увлажнения);

осадок и пучения грунтов естественных оснований, земляного полотна и дорожных покрытий;

прочности и деформативности земляного полотна и грунтов естественных оснований (модули упругости, модули деформаций, сцепление и углы внутреннего трения);



Р и с. 38.2. Схема заложения термометров и влагомеров на наблюдательном посту:

1 — измерительная вертикаль по оси дороги; *2* — то же, на обочине; *3* — то же, посередине кювета (в резерве их должно быть не менее трех); *4* — то же, на границе полосы отвода; (+) — термометры; (–) — влагомеры; *5* — пост наблюдения

метеорологических условий (атмосферные осадки, температура воздуха, ветер, даты установления и схода снегового покрова).

Посты водно-мерзлотного контроля (ПВМК) оборудуют после подробного изучения климатических, мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условий местности и конструктивных особенностей полотна дороги.

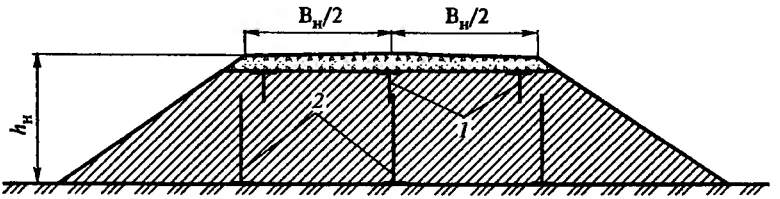
На каждый ПВМК составляют специальный паспорт.

Методика организации наблюдений на ПВМК следующая.

Наблюдения за температурой, глубиной и скоростью оттаивания и промерзания грунтов осуществляют с помощью термометров различных конструкций, в том числе жидкостных термометров (ртутных и спиртовых), а также электрических термометров сопротивления, основанных на термопарах.

Схема заложения термометров и влагомеров на ПВМК представлена на рис. 38.2. Устанавливают датчики температуры и влажности в скважинах, пробуриваемых по оси дороги, по кромке дорожного покрытия, на обочине, около подошвы насыпи, на берме (если таковая в конструкции имеется), в резерве и в поле, за границей полосы отвода (на рис. 38.2 эти измерительные вертикали обозначены цифрами *1—5*).

Датчики устанавливают на строго фиксированной глубине, привязывая их к деревянной рейке, на которой точно помечены соответствующие расстояния и места датчиков, опуская ее в скважину на заранее запланированную глубину. После этого скважину засыпают сухим песком с легким потряхиванием рейки с датчиками. Точное местоположение скважины фиксируют в плане, привязывая к местным

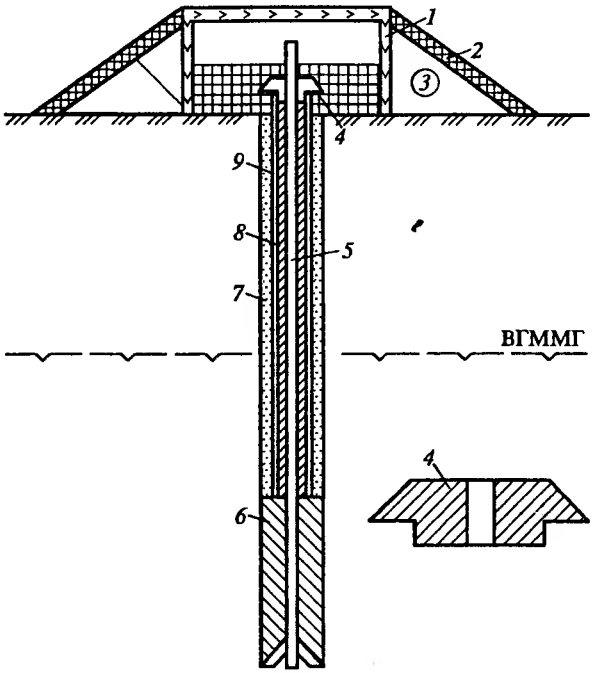


Р и с. 38.3. Схема установки марок в земляном полотне:

1 — марки для наблюдения за пучением (осадкой) грунта земляного полотна; *2* — то же, грунтов естественного основания

предметам и на поперечнике. Результаты измерений температуры заносятся в журнал наблюдений (или фиксируются на самописцах) для последующего изучения и обработки. Осадки и пучение фиксируют путем нивелирования специальных марок (маяков) (на рис. 38.3 пучинистые и осадочные марки обозначены цифрами *1* и *2*). На участках автомобильных дорог с капитальными и облегченными покрытиями применяют закрепленные в покрытиях тонкие металлические стержни с головкой, имеющей сферическую поверхность (форма гвоздя) для установки на ней рейки при нивелировании (на рис. 38.4 обозначены цифрами *1—8* и *9—17*).

Р и с. 38.4. Конструкция опытного участка с марками оценки пучения и осадок земляного полотна и дорожной одежды



Р и с. 38.5. Постоянный мерзлотный репер:

1 — деревянный короб; *2* — торф или мох; *3* — грунт; *4* — заглушка; *5* — стержень репера, заанкеренный в вечномерзлый грунт; *6* — глинистый или бетонный раствор; *7* — засыпка песком; *8* — заполнение солидолом; *9* — труба

Марки для наблюдения за осадками и пучением грунтов в основании земляного полотна изготовляют из металлических листов толщиной 3—4 мм, размером 30 × 30 или 40 × 40 см и диаметром стержня 10—15—20 мм, приваренного по центру листа. Высота стержня в точке установления марки должна быть меньше высоты насыпи на 8—10 см.

Для высотной привязки предусматривают устройство специального мерзлотного репера (рис. 38.5), устанавливаемого в удобном для нивелирования месте и, желательно, скрытого от посторонних глаз.

Модули упругости и деформации мерзлых и оттаивающих грунтов земляного полотна и естественных оснований в зоне вечной мерзлоты определяют посредством пробных нагружений грунта с помощью передвижного пресса или с использованием более простого оборудования, состоящего из гидравлического (или механического) домкрата, манометра, набора штампов разных диаметров и индикаторов для замера осадок штампа.

38.4. Принципы проектирования и строительства дорог на вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтах

Многолетний опыт строительства железных и автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах в СССР, а позднее в США и Канаде доказал целесообразность проектирования и строительства земляного полотна в насыпях из несцементированных обломочных грунтов. Однако применение таких грунтов в качестве материала для земляного полотна еще полностью не решает проблему обеспечения его прочности и в то же время определяет высокую стоимость строительства дорог.

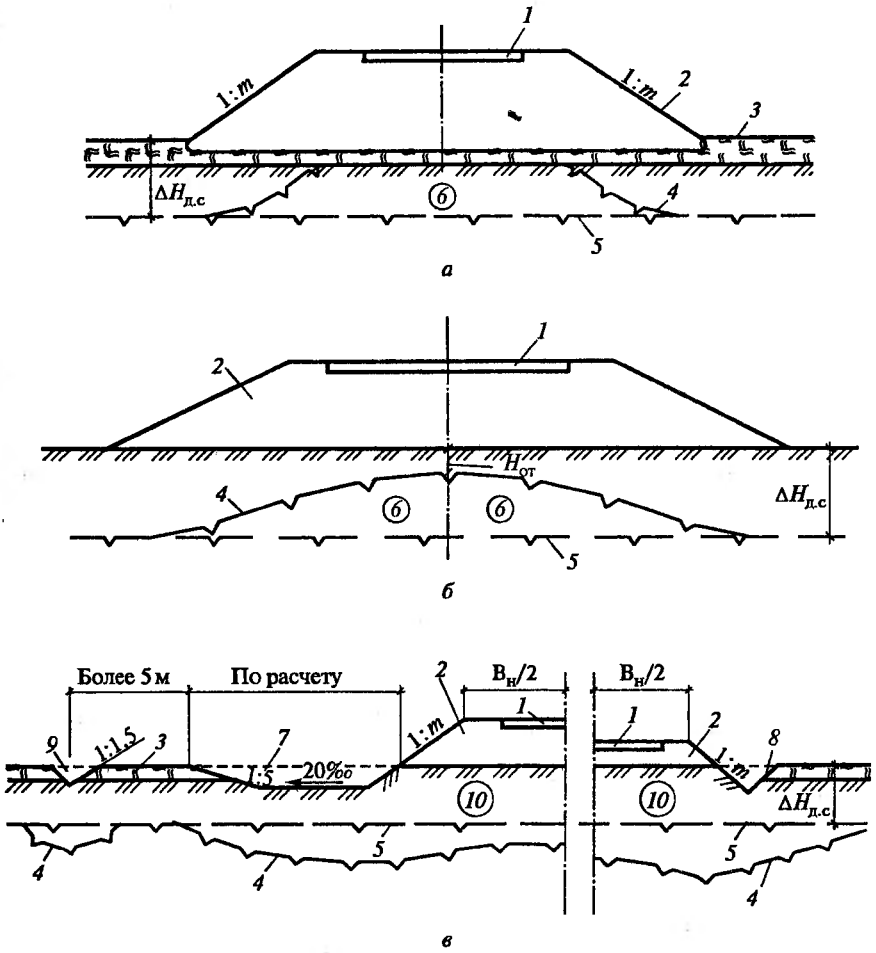
В результате многочисленных исследований, выполненных отечественными учеными (Н.А. Пузаков, И.А. Золотарь, В.А. Давыдов и др.), были сформулированы основные принципы проектирования и строительства автомобильных дорог на вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтах:

Первый принцип — это сохранение многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна в течение всего периода эксплуатации дороги (рис. 38.6, *а*).

Этот принцип обычно используют в особенно неблагоприятной для дорожного строительства Северной подзоне I_1, где широко распространены тундровые, переувлажненные, глинистые, тонкодисперсные грунты с наличием жильных и погребенных льдов, близко залегающих к поверхности земли. Здесь целесообразно проектировать и строить дороги, сохраняя естественный режим местности, предусматривая поднятие верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов в насыпь и сохранение их в мерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги. Этого достигают возведением насыпей такой высоты, при которой не происходит оттаивания грунтов в ее основании, а также широким использованием различных естественных и искусственных теплоизоляционных материалов.

Второй принцип — это допущение частичного оттаивания многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна на величину, определяемую расчетом по допустимым деформациям дорожных покрытий (рис. 38.6, *б*).

Второй принцип чаще всего используют в природных условиях второй Центральной подзоны I_2, где при меньшей влажности местности можно при проектировании земляного полотна предусматривать частичное оттаивание грунтов основания с учетом возникающих при этом деформаций. В этом случае появляется возможность значительного удешевления стоимости строительства за счет использования



Р и с. 38.6. Конструкции земляного полотна на вечномерзлых грунтах при проектировании:

а — по первому принципу проектирования и последующего строительства с сохранением мерзлоты в основании; *б* — по второму принципу проектирования и последующего строительства с допущением частичного оттаивания мерзлоты в основании и учетом деформации дорожных покрытий; *в* — по третьему принципу с предварительным оттаиванием мерзлоты в основании и осушением придорожной полосы; *1* — дорожная одежда; *2* — насыпь; *3* — мохорастительный покров; *4* — горизонт ММГ после строительства дороги; *5* — горизонт ММГ до строительства дороги; *6* — новообразовавшаяся мерзлота под насыпью; *7* — резерв; *8* — кювет; *9* — водоотводная канава; *10* — грунт легкоосушаемый

глинистых местных грунтов взамен дорогих привозных, несцементированных, обломочных (дренирующих) грунтов.

При проектировании и строительстве дорог по второму принципу высоту насыпей определяют с учетом допустимых деформаций (осадок) поверхности покрытий, по ВСН 46-83 и по рекомендациям проф. Н.А. Пузакова:

Капитальные дорожные одежды с цементобетонными покрытиями, см	2
Капитальные дорожные одежды с асфальтобетонными покрытиями, см	4
Облегченные дорожные одежды, см	6
Переходные дорожные одежды, см	8

Третий принцип — это предварительное оттаивание многолетнемерзлых грунтов за год до начала строительства дороги, подготовка и осушение придорожной полосы (рис. 38.6, *в*).

Его чаще всего используют при проектировании и строительстве дорог в третьей Южной подзоне I_3, где многолетнемерзлые грунты встречаются или в виде сплошной высокотемпературной мерзлоты, или в виде отдельных мерзлых островов среди талой толщи грунта. Эта подзона с холмистым, гористым и горным рельефами и широким распространением щебенистых, дресвяных, галечниковых, а и иногда и глинистых грунтов. При этом земляное полотно на участках островного распространения многолетнемерзлых грунтов следует сооружать из местных дренирующих грунтов, предусматривая обеспечение предварительного оттаивания грунтов основания и осушение дорожной полосы до возведения насыпи.

В связи со значительными трудностями сооружения земляного полотна в зоне вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов из-за отсутствия качественных грунтов, при изысканиях дорог изучают грунты на широкой полосе вдоль трассы, с получением надежных данных по физико-механическим характеристикам грунтов и материалов. Это позволяет правильно назначать конструкцию земляного полотна, с меньшим использованием привозных дорогостоящих грунтов и устанавливать рациональную высоту насыпи по трем критериям:

по наличию многолетней мерзлоты в основании насыпи на определенной глубине с определением по температурному режиму грунтов и по их физическому состоянию — мерзлое или талое основание, принципов проектирования и строительства дорог (см. рис. 38.6);

по снегонезаносимости дорожной конструкции согласно СНиП 2.05.02—85*, раздел 6;

по условиям увлажнения местности для трех ее типов — сухие, сырые и мокрые места (см. табл. 38.1 настоящей главы и СНиП 2.05.02—85*, табл. 21).

Основными правилами для обеспечения устойчивости дорожных конструкций на местности при наличии вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов являются:

проектирование земляного полотна, как правило, в невысоких насыпях. Устройство выемок допускается в редких случаях на участках с благоприятными грунтово-гидрогеологическими условиями при отсутствии в грунте ледяных линз и прослоек;

возведение земляного полотна из скальных, крупнообломочных и песчаных грунтов, а при их дефиците — из местных глинистых;

применение естественных и искусственных теплоизолирующих прослоек;

применение нетканых синтетических материалов (геотекстиля) в основании, теле земляного полотна и в основании дорожной одежды;

замена переувлажненных грунтов деятельного слоя крупнообломочными и песчаными.

38.5. Конструкции земляного полотна дорог в районах вечной мерзлоты

Для возведения насыпей дорог в районах распространения ВМГ и ММГ используют преимущественно местные или привозные несвязные песчаные, супесчаные и обломочные грунты. При сохранении под насыпью мохового растительного покрова нижний слой толщиной порядка 0,3—0,5 м стараются устраивать из грунтов с камнями крупностью не более 10 см. Глинистые грунты с влажностью, более чем в 1,2 раза превышающей оптимальную, используют только в средней части насыпи при хорошем качестве уплотнения. Верхнюю часть насыпей в любом случае не менее чем на 0,5 м отсыпают из дренирующих грунтов — непылеватого песка, щебня или гравия.

При обосновании необходимой высоты насыпи наряду с традиционными требованиями обеспечения снегонезаносимости и возвышения верха покрытия над уровнями грунтовых и длительно стоящих поверхностных вод учитывают также необходимость обеспечения заданного температурного режима ВМГ и ММГ. При этом исходят из упрощенных схем температурных расчетов.

При условии сохранения вечной мерзлоты в основании высоту насыпи определяют из условия, что она должна оттаивать на полную высоту только к наступлению очередного морозного периода.

В нормативных документах ВСН 46—83, ОДН 218-046—01 даны карты изолиний нормативных глубин сезонного промерзания — оттаивания (деятельного слоя) различных грунтов в зоне распространения ВМГ и ММГ.

Необходимую высоту насыпей $H_{нас}$ определяют равной толщине деятельного слоя с введением поправок на условия оттаивания:

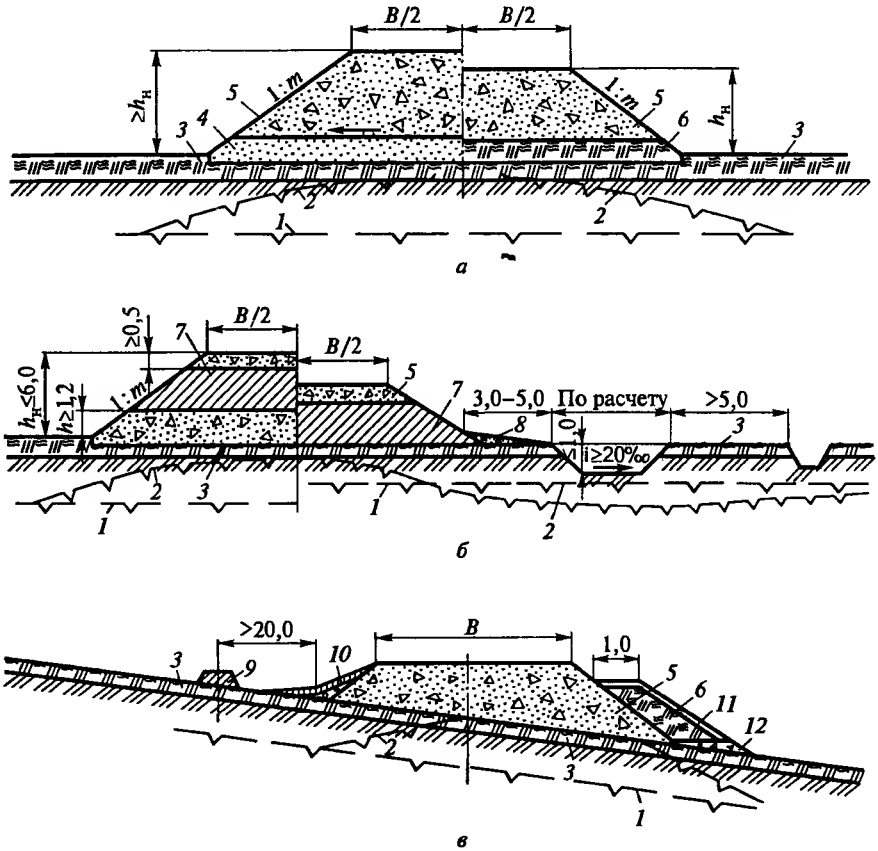
$$H_{нас} = H_р m_t K_r K_w,$$

где $H_р$ — нормативная глубина оттаивания грунтов, из которых отсыпают насыпь; m_t — коэффициент, учитывающий поглощение тепла покрытием (1,05 — для цементобетонных покрытий, 1,1—1,6 — для асфальтобетонных); K_r — коэффициент, учитывающий дополнительный приток тепла в основание через откосы насыпи и в результате вырубки просеки при постройке дороги ($K_r = 1,16 \div 1,22$); $K_w = \frac{1}{a + bW_0}$ — коэффициент, учитывающий влияние влажности грунта на глубину протаивания основания (здесь W_0 — влажность грунта, %, $a \approx 0,90$; b — коэффициент, равный для грунтов: песчано-гравийных $b = 0,018$, для супесчаных и суглинистых $b = 0,007$).

Для уменьшения высоты насыпей в теле насыпи или ее основании устраивают теплоизоляционные прослойки. Долгое время теплоизоляцию устраивали из естественных материалов — торфа, мха, древесной щепы, а на железных дорогах — из топочных шлаков. Однако теплоизоляционные слои из естественных материалов эффективны лишь в сухом состоянии. Насыщение водой сильно повышает их теплопроводность, поэтому применение теплоизоляционных слоев из естественных материалов требует их защиты от грунтовых и поверхностных вод. В последние годы стали находить широкое применение искусственные пористые теплоизоляционные материалы — пенопласт, полиуретан и полистирол. При сравнительно малой толщине (5—10 см) слои из искусственного теплоизоляционного материала, уложенные в нижней части земляного полотна, способны сократить глубину сезонного оттаивания в 1,5—2 раза. Высота насыпи при этом может быть существенно снижена, если это не противоречит условию обеспечения незаносимости снегом.

При проектировании дорог с частичным оттаиванием основания при определении необходимой высоты насыпи учитывают уплотнение оттаявшего грунта под весом насыпи и подвижного состава, а также зимнее вспучивание и последующую осадку, нарушающие ровность покрытий и в ряде случаев вызывающие их разрушение.

При допущении частичного оттаивания грунта основания насыпей для возведения их нередко используют местные глинистые грун-

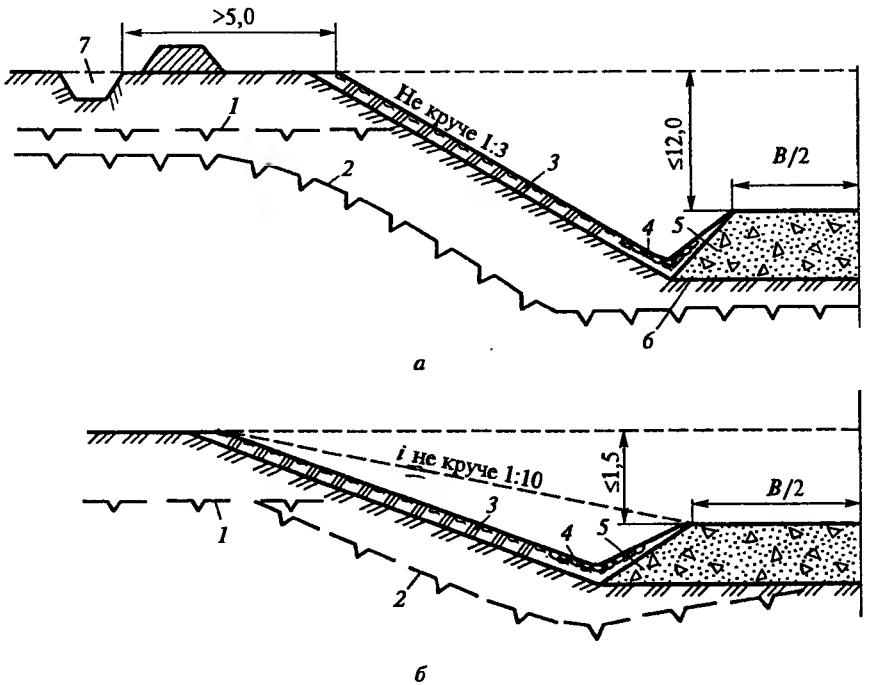


Р и с. 38.7. Поперечные профили насыпей на ВМГ:

а — из дренирующих грунтов на льдонасыщенном основании с устройством защитного дренирующего слоя из песка или мелкого гравия либо теплоизолирующего слоя из мха; *б* — с использованием местного глинистого грунта; *в* — на пологом косогоре с уклоном менее 1:5; *1* — верхний уровень вечномерзлых грунтов до отсыпки насыпи; *2* — то же, после постройки насыпи; *3* — моховой покров; *4* — защитный слой из мелкого дренирующего грунта; *5* — песчано-гравийный грунт; *6* — теплоизоляционный моховой слой; *7* — глинистый грунт; *8* — берма; *9* — нагорный валик; *10* — укрепление мощением; *11* — защитный слой растительного грунта толщиной 15 см; *12* — дренирующая присыпка

ты придорожной полосы, закладывая притрассовые резервы и карьеры. При этом глинистый грунт можно отсыпать непосредственно на мохорастительный покров, за исключением участков застоя воды.

При возведении земляного полотна в районах распространения ВМГ и ММГ в основании насыпей для сохранения мохорастительного покрова предусматривают прослойки из дренирующего грунта толщиной 0,3—0,5 м (рис. 38.7, *а*).



Р и с. 38.8. Поперечные профили выемок в слабольдонасыщенных грунтах:

а — глубокая выемка; *б* — мелкая выемка; *1* — верхний уровень вечномерзлых грунтов до устройства выемки; *2* — то же, после устройства выемки; *3* — теплоизоляционный слой; *4* — укрепление мощением; *5* — песчано-гравийный грунт; *6* — глинистый грунт; *7* — нагорная водоотводная канава

В среднюю часть насыпи может быть помещен слой местного глинистого грунта (рис. 38.7, *б*). Верхний слой для предотвращения пучинообразования всегда отсыпают не менее чем на 0,5 м из непылеватого песка, щебня или гравия.

Насыпи на косогорных участках со стороны низовых откосов защищают от протаивания устройством теплоизоляционных присыпок. Вместо нагорных канав с верховой стороны, которые могут спровоцировать возникновение термокарстовых и наледных процессов, отсыпают нагорные валики, вдоль которых вода отводится в пониженные места (рис. 38.7, *в*).

В случае вынужденного устройства выемок в районах распространения ВМГ и ММГ на участках с благоприятными грунтово-гидрогеологическими условиями им придают пологие откосы и защищают теплоизоляционными слоями (рис. 38.8).

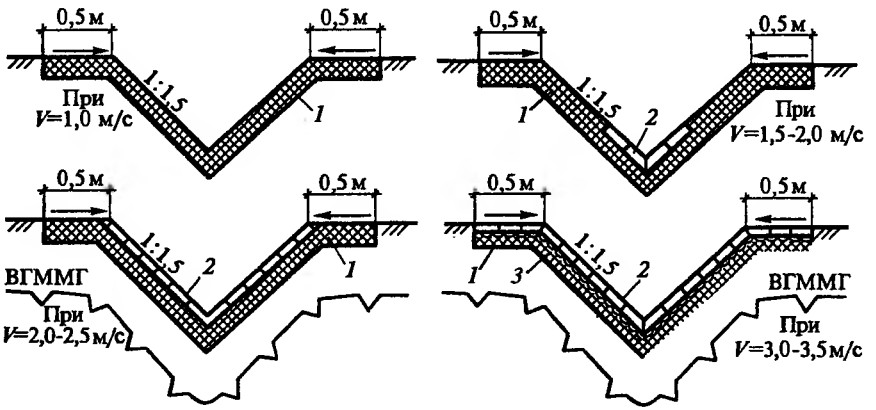
Пылеватые пучинистые грунты в основаниях заменяют дренирующими устойчивыми грунтами и обеспечивают отвод воды из выемок и дренирующего слоя.

Проектирование земляного полотна в районах распространения ВМГ и ММГ обычно сопровождается необходимыми теплотехническим расчетами. Для этих целей целесообразно использовать детальный метод расчета хода глубины промерзания—оттаивания, изложенный в гл. 22 (п. 22.8). Компьютерный расчет хода глубины промерзания—оттаивания позволяет быстро получать искомые результаты при произвольном ходе температуры воздуха и слоистом строении грунтовых массивов, представленных слоями с различными теплотехническими свойствами.

38.6. Водоотводные сооружения на многолетнемерзлых грунтах

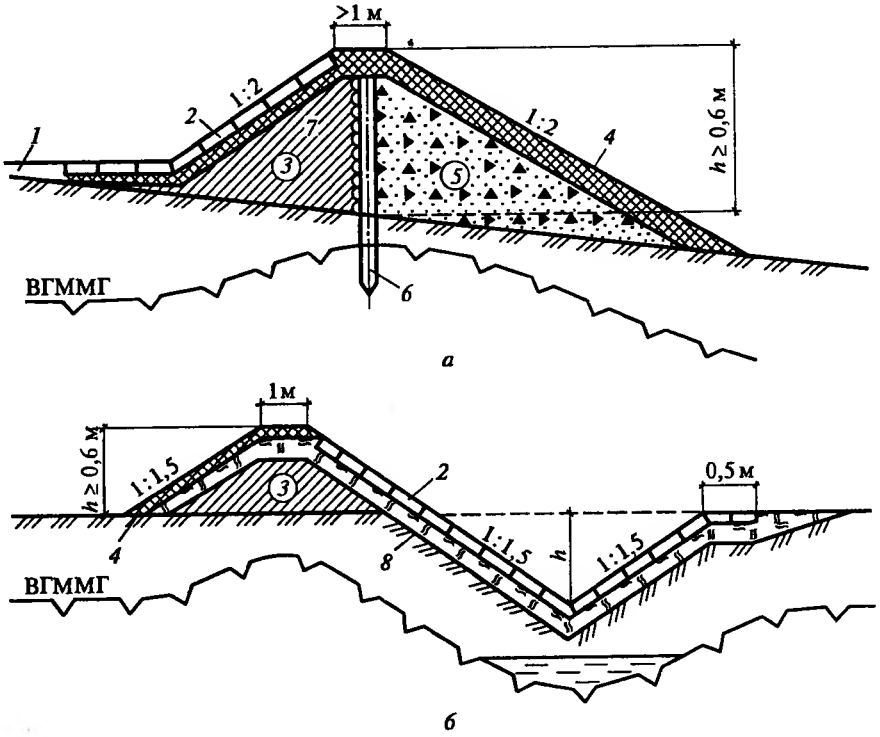
В районах распространения ВМГ и ММГ в зависимости от рельефа местности, гидрологических, гидрогеологических и мерзлотно-грунтовых условий поверхностные и грунтовые надмерзлотные воды отводят от земляного полотна автомобильных дорог с помощью следующих сооружений:

боковых водоотводных канав (рис. 38.9) и лотков; нагорных валиков (рис. 38.10); приоткосных берм; нагорных канав с водонепроницаемыми замками; поперечных канав; утепленных перехватывающих дренажей; водопропускных труб; малых и средних мостов.



Р и с. 38.9. Поперечные сечения водоотводных канав:

1 — мох, дерн, торф; *2* — укрепление из сборных бетонных плит на слое теплоизоляционного материала пенопласта или местного мохоторфа; *3* — мощение



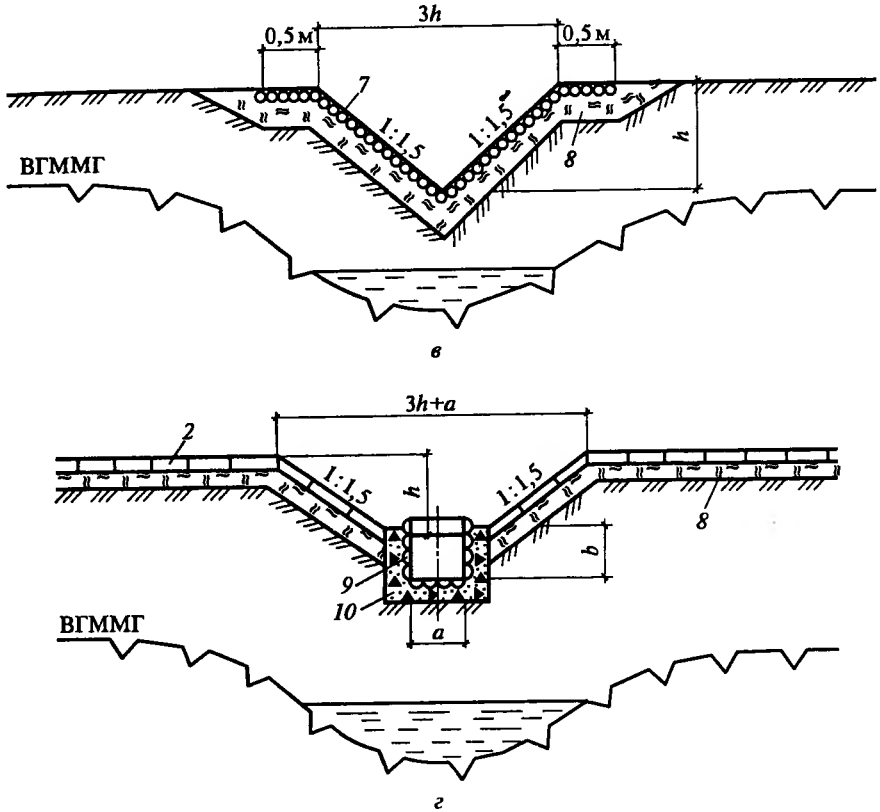
Р и с. 38.10. Конструкции нагорных валиков и канав:

а — нагорный валик; *б* — мерзлотный валик с канавой; *в* — нагорная канава; *г* — нагорная канава с утеплением; *1* — смесь гравия с торфяной крошкой; *2* — сборные бетонные плиты; *3* — местный грунт; *4* — одерновка; *5* — дренирующий грунт; *6* — жердевая стенка; *7* — жерди диаметром 10 см; *8* — мох, торф, пенопласт; *9* — деревянный лоток; *10* — щебень с грунтом

Размеры водоотводных сооружений назначают по гидравлическим расчетам в соответствии с притоком воды с осушаемой поверхности. Форму поперечного сечения канав обычно принимают треугольной для обеспечения устойчивости откосов и механизации строительных работ.

Сооружение водоотводных канав предусматривают в устойчивых грунтах. Дно и откосы канав, устраиваемых в легкоразмываемых грунтах, укрепляют тундровой дерниной, камнем или бетонными плитами по слою теплоизоляционного материала.

На участках местности с подземными льдами, а также в сильно льдонасыщенных грунтах в пределах толщины деятельного слоя водоотводные канавы не устраивают. В таких случаях для отвода поверхностных вод на косогорных участках с нагорной стороны преду-



Р и с. 38.10. Продолжение

сматривают приоткосные бермы или нагорные валики (см. рис. 38.10, *а*, *б*), а на равнинных участках — фильтрующие перепуски (дрены) по гидравлическому расчету.

Нагорные валики располагают не ближе 20 м от подошвы насыпи. Высоту их бровки назначают на 0,25 м выше расчетного уровня высокой воды. Во всех случаях высота нагорного валика должна быть не менее 0,6 м, ширина поверху — более 1 м, а заложение откосов — не круче 1:2. Сооружение валиков предусматривают из местных глинистых грунтов с обязательным сохранением мохорастительного покрова в основании. Откос валика с нагорной стороны и полосу вдоль его подошвы на ширину 1 м укрепляют сборными бетонными плитами или гравием по слою мха или торфа (см. рис. 38.10, *а*).

При проектировании насыпей в равнинной местности на сухих местах боковые канавы предусматривают непосредственно у подош-

вы насыпи, а при косогорной местности боковую водоотводную канаву проектируют у нагорного откоса, а нагорную канаву — в 10 м от бровки боковой канавы. Откосы и дно канав укрепляют в зависимости от ожидаемой скорости течения (см. гл. 15, п. 15.2). Уклоны дна нагорных и боковых водоотводных канав назначают не менее 3‰, а в выемках — не менее 5‰.

Проектирование мостов и водопропускных труб в районах распространения ВМГ и ММГ осуществляют с учетом следующих положений:

материалы конструкций (металл, бетон) должны быть повышенной прочности (низколегированные стали с повышенной ударной вязкостью и морозостойкие бетоны);

предусматривают максимальное использование в конструкциях сборные элементы;

фундаменты мостов и труб конструируют, как правило, с сохранением грунтов основания в мерзлом состоянии;

применяют опоры мостов свайного или стоечного типа с минимальным количеством свай и стоек в опоре;

увеличивают нагрузки на опоры путем уменьшения их количества;

пролетные строения мостов применяют в виде разрезных статически определимых систем. Как исключение применение неразрезных статически неопределимых систем допускается только на мостах пролетами более 30 м при наличии в основании опор монолитных скальных пород;

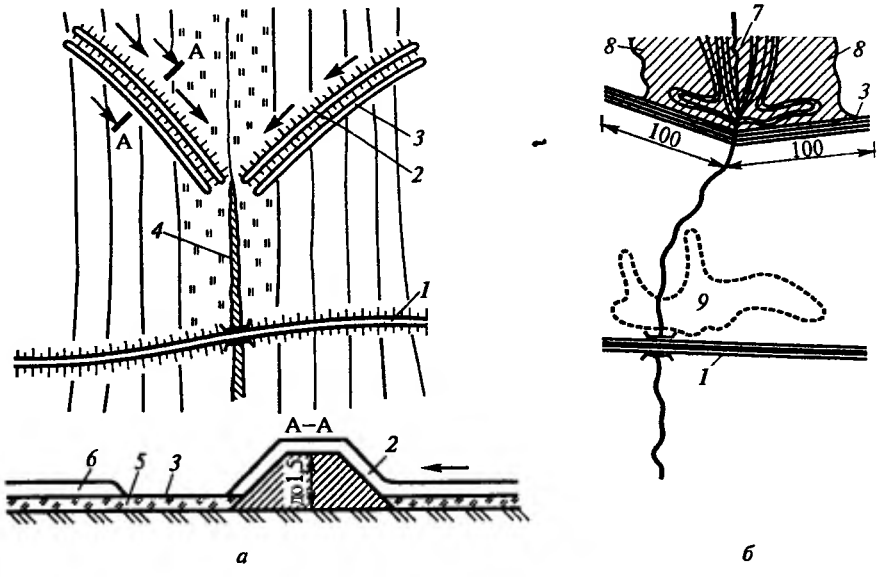
расчет отверстий малых и средних мостов и назначение подмостовых габаритов производят с учетом свободного пропуска наледей и талых весенних вод по наледному льду;

на периодических водотоках допускается проектирование малых мостов с вмороженными сваями;

водопропускные трубы (металлические гофрированные, железобетонные) проектируют бесфундаментными либо на облегченных фундаментах в виде щебеночной, гравийной или песчано-гравийной подушки (рис. 31.11), выполняя проверку устойчивости их против растяжки;

водопропускные трубы рассчитывают на безнапорный режим работы и принимают с отверстиями не менее 1,5 м;

трубы на свайных фундаментах проектируют в особо сложных мерзлотно-грунтовых условиях (подземные льды, сильно льдистые переувлажненные грунты, наледные участки и т.д.);



Р и с. 38.11. Мероприятия по борьбе с наледями:

а — устройство валов для сбора растекающейся воды и отвода ее к руслу ручья; *б* — устройство мерзлотных поясов; *1* — дорога; *2* — направляющие валы из нефильтрующих грунтов; *3* — расчищаемая от снега полоса; *4* — расчищенное и утепленное русло; *5* — естественный растительный покров; *6* — снег; *7* — наледный бугор; *8* — наледный лед; *9* — место наледи до устройства мерзлотного пояса

на участках с льдистыми основаниями (близко залегающие от поверхности льды, сильно льдистые грунты, участки действующих и прогнозируемых наледей) всегда вместо труб отдают предпочтение мостам.

38.7. Проектирование дорог на наледных участках

Наледями называют отложения льда, образующиеся во время сильных морозов в результате периодического выхода на поверхность грунтовой или речной воды, а также таяния снега в предшествующую оттепель.

Наледные бугры, рост которых обычно начинается в декабре, увеличиваются в размерах до конца марта, часто окончательно оттаивают только в середине лета. Наледи, образующиеся в придорожной полосе, заливают дорогу, закрывают отверстия водопропускных сооружений, создавая тем самым значительные трудности при эксплуатации дороги.

По условиям формирования различают следующие виды наледей:
ключевые;
грунтовые;
речных и талых вод;
смешанные.

Наледи подземных вод (ключевые) образуются в местах выхода на поверхность по тектоническим трещинам и разломам воды постоянно действующих источников глубоких подмерзлотных вод, при этом нередко образуются огромные наледи (тарыны). Такие места при трассировании дорог приходится обходить, несмотря на удлинение трассы.

Грунтовые наледи возникают на склонах холмов в результате скопления воды у верхней поверхности мерзлоты в местах глубокого ее залегания. При зимнем промерзании деятельный слой в ряде случаев сливается с верхним горизонтом ММГ, разделяя при этом водоносный горизонт на ряд замкнутых объемов. При дальнейшем промерзании грунт расширяется и в результате повышения давления в воде происходит деформация верхнего слоя грунта в виде его вспучивания. С дальнейшим ростом наледных бугров происходит их растрескивание и изливающаяся через трещины вода быстро замерзает, образуя напластования льда — наледь. Обычно этот процесс в ходе промерзания повторяется несколько раз. Иногда вода не вытекает и бугры после летнего оттаивания оседают. Грунтовые наледи обычно занимают площади от нескольких сотен до тысяч квадратных метров. Высота бугров редко превышает 4 м.

С буграми замерзших грунтовых вод очень схожи большие бугры (булгунняхи), постепенно вырастающие в течение нескольких лет в результате накопления под нетеплопроводными поверхностными слоями грунта больших масс льда, не оттаивающих за лето. Достигнув высоты до 10 м и более, булгунняхи начинают таять и постепенно исчезают.

Речные наледи возникают в связи с уменьшением площади живого сечения водотока при промерзании берегов и увеличением толщины льда на поверхности водотока, который на перекатах может даже смерзаться с дном. В результате вода, взламывая лед, вытекает на его поверхность и замерзает.

Строительство дорог в районах распространения ВМГ и ММГ изменяет их естественный режим и активизирует образование наледей. Сведение леса и кустарника, уничтожение мохового покрова, уплотнение и осушение поверхностных слоев грунта на придорожной полосе увеличивают глубину зимнего промерзания, что способствует активизации наледных процессов на придорожной полосе.

Полотно дорог в нулевых отметках или невысоких насыпях, очищаемые от снега в ходе эксплуатации, промерзает на большую глубину и быстрее, чем прилегающая местность. Деятельный слой под полотном дороги смыкается с верхним слоем мерзлоты, создавая перемычки, прерывающие движение грунтовых вод. Это при образовании с нагорной стороны грунтовых наледей создает опасность затопления проезжей части.

При изысканиях автомобильных дорог всегда целесообразно обходить места вероятного образования ключевых и грунтовых наледей с верховой стороны полотна дорог.

Предусматриваемые в проектах дорог противоналедные мероприятия для предотвращения образования новых наледей должны быть направлены прежде всего на сохранение естественного водно-теплового режима грунтов и водотоков на придорожной полосе. Для этого стремятся выполнять следующие правила:

для пропуска больших речных наледей, образующихся выше дороги, увеличивают отверстия мостов, повышают отметки проезда на мостах и высоту насыпей подходов, обеспечивая пропуск наледей и воды;

малые расходы пропускают через сооружения по углубленным и утепленным руслам. В некоторых случаях прибегают к искусственному оттаиванию наледей, заполняющих водопропускные трубы, с помощью электронагревательных кабелей;

при размещении полотна дорог на косогорах предусматривают сбор воды из водоносных горизонтов утепленными перехватывающими дренажами, перепуская ее под дорогой дренажными трубами;

при малом дебите источников и выходе их на большом удалении от дороги удерживают выходящие грунтовые воды земляными валами;

на косогорах выше дороги вызывают искусственное образование наледей с помощью мерзлотных поясов — широких, но мелких канав, отрываемых с нагорной стороны (см. рис. 38.11). Перед канавой на 5—10 см снимают мох и торф. Мерзлотным поясам придают размеры: ширина канавы 3—4,5 м, глубина 0,6—0,9 м, ширина расчищаемой полосы 10—15 м, расстояние от мерзлотного пояса до защищаемого сооружения 50—100 м. Выбираемый из канавы грунт укладывают в низкий вал с низовой стороны пояса. Иногда вместо одного мерзлотного пояса устраивают несколько поясов.

Канавы мерзлотных поясов располагают под углом друг к другу 140—170°, с уклоном не более 0,002.

Зимой мерзлотные пояса очищают от снега. Грунт под ними, быстро промерзая, образует мерзлотную перемычку, вызывающую искусственную наледь.

Глава 39

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ РАЙОНАХ

39.1. Типы и характеристики болот

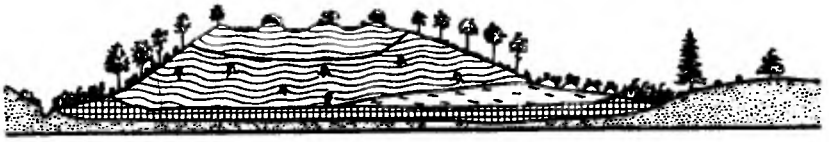
Болото — это участок местности, большую часть года избыточно увлажненный, нередко в наиболее низких местах покрытый неглубоким слоем воды.

Большая часть территории лесной зоны России отличается равнинным рельефом, характеризуемым недостаточно хорошим поверхностным водоотводом. Избыток влаги и связанное с этим недостаточное насыщение кислородом почвы определяет неполное разложение органических остатков и вызывает образование и накопление торфа. Избыток влаги обычно связан не только с рельефом местности, но с наличием поверхностных водоемов, подтоплением водами рек, притоком грунтовых вод, а также превалированием атмосферных осадков над испарением. Режим избыточного увлажнения связан также и с образованием влагоемкого торфяного слоя. Торф обладает огромной впитывающей способностью удерживать влагу в 17—27 раз больше своей массы в воздушно-сухом состоянии.

Болота занимают около 7% территории бывшего СССР. Они, в частности, распространены в северных районах страны, где количество выпадающих осадков превалирует над испарением, а средние температуры летних месяцев невелики. Именно по этой причине болота распространены в северных районах европейской части России, в Ленинградской области, Карелии, огромные заболоченные пространства расположены в Западной Сибири и т.д. К востоку от р. Енисея — в Восточной Сибири площадь болот резко сокращается вследствие малого количества осадков, сухости воздуха и сравнительно жаркого лета. Разнообразие природных условий образования болот определило также и большое количество их видов и типов, для которых проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог имеет свои специфические особенности.

По условиям расположения и увлажнения различают два основных вида болот: верховые и низовые.

Верховые болота образуются при застое выпавших атмосферных осадков на водораздельных участках и на пологих склонах с малыми

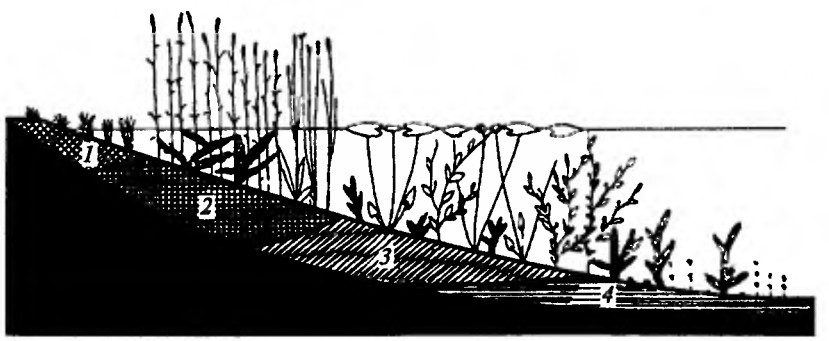


Р и с. 39.1. Моховое сфагновое болото

уклонами. Заболачивание сухих участков местности распространено в северных районах лесной зоны России. В густых еловых лесах, на лесных пожарищах и на лугах неблагоприятные условия испарения (затенение почвы, отсутствие доступа света и ветра) способствуют появлению мха — сначала кукушкина льна, а затем сфагнума (белого торфяного мха). Идущий таким образом торфообразовательный процесс приводит к изменению водного баланса поверхностных слоев, постепенной смене растительности на более влаголюбивые виды и поверхность верхового болота по мере зарастания и утолщения торфа повышается. Середина большого сфагнового болота нередко возвышается над краями на 6—8 м (рис. 39.1).

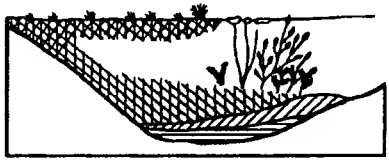
Низовые болота образуются в результате зарастания водоемов (озер, медленно текущих рек). Зарастание водоемов от берегов к середине — характерный процесс лесной зоны для относительно неглубоких озер с пологими берегами (рис. 39.2).

У берегов появляются осока, тростник, камыши, на больших глубинах — плавающая растительность (кувшинки, ряска, аир). Отмирающие остатки растительности оседают на дно, постепенно повышая его за счет образования ила — оседающих глинистых отложений, а также сапропеля — отложений, образующихся в стоячих водоемах



Р и с. 39.2. Низовое болото:

1 — осоковый торф; *2* — тростниковый, камышовый торф; *3* — сапропелевый торф; *4* — сапропелит



Р и с. 39.3. Нарастание сплавины на глубоком озере

из остатков обитающих в них микроскопических животных, растений и продуктов их жизнедеятельности. На относительно глубоких участках водоема плавающая растительность постепенно затягивает значительную часть его поверхности сплошным зыбким ковром — сплавиной, образованной сплетенными корневищами плавающих растений и мхами (рис. 39.3).

В связи с последовательной сменой в процессе формирования болот торфообразующих растений торфяные образования обычно имеют слоистое строение.

В торфах всегда содержатся минеральные частицы, количество которых определяет их зольность. На низовых болотах зольность торфов достигает 12—15%. Плотность торфов зависит от степени их разложения. Малоразложившиеся торфы имеют относительно невысокую плотность 0,6—0,7 т/м^3, сильноразложившиеся — до 1,1 т/м^3.

Болота создают весьма неблагоприятные условия для возведения и эксплуатации земляного полотна и дорожных конструкций автомобильных дорог и представляют собой естественные сложные препятствия для проложения дорог. Именно поэтому всегда возникает дилемма обхода или пересечения болот.

Проектирование дорог в болотистых районах требует внимательного изучения в ходе изысканий строения болота в вертикальном разрезе, отражающего условия его формирования и прочностные характеристики отдельных его слоев.

Разработанная Н.П. Кузнецовой и И.Е. Евгеньевым инженерная классификация болот, принятая при проектировании дорог, предполагает деление болот на три основных типа:

1-й — болота, сплошь заполненные торфом и другими болотными отложениями устойчивой консистенции, сжимающиеся под весом возведенных на них насыпей;

2-й — болота, сплошь заполненные торфом и другими болотными отложениями различной консистенции, в том числе и выдавливающиеся из-под возведенных на них насыпей;

3-й — болота, заполненные илом и водой и, как правило, имеющие торфяную сплавину.

Разработанная проф. И.Е. Евгеньевым применительно к этим типам инженерная классификация болот делит их на типы, различающиеся по характеру деформаций под нагрузкой (табл. 39.1).

Таблица 39.1. **Инженерная классификация болот по И.Е. Евгеньеву**

Характеристики	Типы болотных грунтов					
	I		II		III	
	I-А	I-Б	II-А	II-Б	III-А	III-Б
	осушенный или плотный	рыхлый, полностью водонасыщенный	уплотненный	водонасыщенный	уплотненный	жидкий
Входящие в тип грунты	Торф		Минерализованный торф, органические илы (сапропель)		Органоминеральный ил, грунт, заторфованный грунт	
Содержание волокон крупнее 0,25 мм, % по объему	60		60—10		10	
Содержание минеральных веществ, % по массе	2—12		10—40		40	
Структура	Губчато-волокнистое строение, высокое структурное сцепление		Маловолокнистая раздробленная или гелеобразная структура		Слабоагрегатная или аморфная структура	
Физико-механические характеристики:						
влажность, % по массе	400—660	600—2000	150—450	450—1100	60—150	150—400
сопротивление сдвигу, кгс/см^2	0,4—0,2	0,2—0,1	0,2—0,1	0,10—0,06	0,4—0,1	0,1
модуль сжимаемости, мм/м, при $p = 0{,}5$ кгс/см^2	200—350	350—500	100—250	200—350	50—150	150—400
водопроницаемость, м/сут	0,02—0,5	0,5—2,0	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Преимущественный тип деформаций под насыпями	Уплотнение в пределах контура загружения		Выжимание грунта в сторону		Боковое выпирание с погружением насыпи на дно болота	

Конструкции земляного полотна на болотах выбирают с учетом природного строения болот, мощности и физико-механических характеристик отдельных слоев торфа.

39.2. Особенности проектирования плана дорог в заболоченных районах

Большинство заболоченных районов приурочены к равнинным участкам лесной зоны, которые чередуются с небольшими возвышенностями и участками моренного рельефа.

При трассировании автомобильных дорог в лесисто-болотистых районах обычно не возникает трудностей со стороны рельефа. Сравнительно редкие населенные пункты, которые стараются обходить при трассировании, также, как правило, не осложняют решения задачи проложения трассы на местности. Однако обилие болот и озер предопределяет известные трудности при решении плана трассы автомобильных дорог. Как показывает практика, стоимость строительства дорог на болотах оказывается в 5—6 раз больше, чем при строительстве участков дорог той же протяженности на незаболоченных участках равнинной местности средней полосы.

Именно по этой причине практика строительства дорог в заболоченных районах выработала некоторые рациональные правила трассирования. Основные правила проложения трасс дорог в заболоченных районах сводятся к следующему:

во всех случаях стремятся обходить болота, если только это не связано со значительным удлинением и получением слишком извилистых трасс;

при вынужденном прохождении по болотам последние стремятся пересекать по кратчайшему направлению в наиболее узких местах с высоким залеганием минерального дна (т.е. на наиболее мелких участках);

болота стремятся пересекать по возможности перпендикулярно течению воды. При пересечении сплавинных болот стараются избегать глубоких мест с крутыми склонами минерального дна;

при вынужденном трассировании дорог по болотам отдают предпочтение вариантам прохождения трассы по участкам болот 1-го типа с высоким залеганием минерального дна;

решение в пользу обхода болота или в пользу того или иного варианта его пересечения на основе детального технико-экономического сравнения этих вариантов.

Камеральное трассирование осуществляют по крупномасштабным топографическим планам и картам, а также по материалам аэро-

космических съемок с последующими рекогносцировочными обследованиями намеченных вариантов на местности.

Современные методы дешифрирования аэрокосмических снимков дают надежную информацию, с использованием которой при изысканиях дорог в болотистой местности решают следующие задачи:

с достаточной точностью оконтуривают болото;

определяют условия поверхностного водоотвода;

ориентировочно оценивают вид и мощность торфяных отложений;

приблизительно определяют физико-механические свойства торфов и пород;

устанавливают тип болота, стадию его развития, возможную глубину.

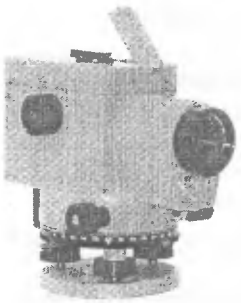
При последующем рекогносцировочном обследовании вариантов трассы на местности по визуальным признакам уточняют полученную информацию. Так, карликовые, чахлые сосны и сфагнум свидетельствуют о том, что болото верховое и находится в последней стадии своего развития, в связи с чем можно сделать уверенный вывод о значительной толщине торфа. Смешанный лес вырастает при сравнительно небольшой мощности торфа. Болота без кустарника и леса, но покрытые бурыми мхами имеют большую глубину, чем болота травяные, поросшие осокой и тростником. На сплавинных болотах большая толщина сплавин в местах, защищенных от господствующих ветров. За выступающими над поверхностью сплавины островами минерального грунта ниже по течению находятся глубокие участки болот со слабой несущей способностью сплавины.

Для более полного представления об условиях проложения трассы и выбора наиболее ее рационального направления снимают крупномасштабный план болота. Масштаб плана и высоту сечения горизонталей назначают в зависимости от конкретных условий и принимают обычно М 1:1000 — 1:2000 с высотой сечения горизонталей 0,25—0,5 м.

При трассировании дорог болота подлежат обязательному детальному обследованию.

39.3. Обследование болот при изысканиях дорог

При пересечении болот по предварительно намеченным с использованием крупномасштабных топографических планов, карт или материалов аэрокосмических съемок вариантам трассы выполняют комплекс изыскательских работ: трассирование вариантов, закрепление трассы, разбивка пикетажа, двойное геометрическое ни-



Р и с. 39.4. Точный нивелир 3Н-2КЛ

велирование по оси трассы, съемка поперечников, инженерно-геологическое обследование по оси трассы и по поперечникам, отбор и изучение образцов торфа и т.д.

Обычно этим традиционным видам изыскательских работ предшествует крупномасштабная топографическая съемка плана болота на большой площади либо аэрокосмическая съемка. Для выполнения этих работ используют современное геодезическое и другое оборудование (электронные тахеометры, регистрирующие нивелиры, приемники спутниковой навигации, приборы воздушного и наземного лазерного сканирования, а также весь арсенал приборов инженерной геофизики). Для выполнения аэрокосмических съемок применяют современное аэрофотосъемочное оборудование (электронные АФА).

Поверхность болота обычно имеет весьма малые уклоны, что позволяет в качестве основного геодезического прибора использовать оптические нивелиры (рис. 39.4) с компенсаторами (самоустанавливающиеся) либо нивелиры регистрирующие (рис. 39.5) (электронные) для продольного геометрического нивелирования и съемки поперечников.

При нивелировании трасс автомобильных дорог и съемке поперечников на проходимых болотах для обеспечения необходимой точности геометрического нивелирования придерживаются следующих правил:

нивелирование производят обязательно с использованием нивелиров-автоматов (т.е. с компенсаторами);

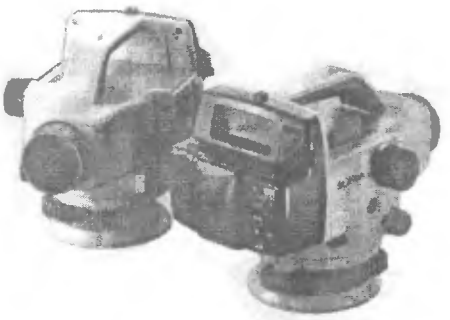
связующие точки на местности обозначают мощными кольями;

в отдельных случаях для придания большей устойчивости штатив нивелира устанавливают на специальные наклонно вбитые колья (рис. 39.6);

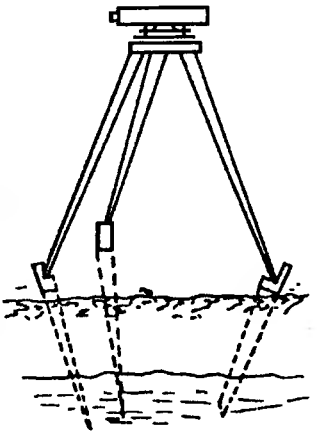
перед взятием отсчетов каждый раз контролируют правильность установки прибора по круглому уровню при подставке;

при очень неустойчивых грунтах иногда нивелирование производят два нивелировщика, когда один из них берет отсчет назад, а второй — вперед, не обходя нивелира;

всегда стремятся (когда есть возможность) производить нивелирование трасс дорог и поперечников на заболоченных участках местности в зимний период времени по замерзшему болоту (это, в частно-



Р и с. 39.5. Точный электронный нивелир PowerLewel SDL-30 фирмы «Sokkia» (Япония)



Р и с. 39.6. Схема установки прибора при геометрическом нивелировании заболоченных участков местности

сти, относится к изысканиям дорог на участках непроходимых болот).

Поперечники снимают с шагом через 100—200 м, охватывая ширину от 30 до 100 м в зависимости от категории дороги, глубины болота и рельефа его минерального дна. Реперы на участках перехода болот закладывают на возвышенных местах и на берегах болот в стороне от трассы за пределами полосы отвода. Реперы закладывают в плотный минеральный грунт, где не ожидается просадок грунта или его смещений.

Одной из главных задач обследования болот является сбор следующих данных:

происхождение болота;

состав торфа и условия его залегания (строение, мощность, плотность, степень разложения);

состав грунтов минерального дна;

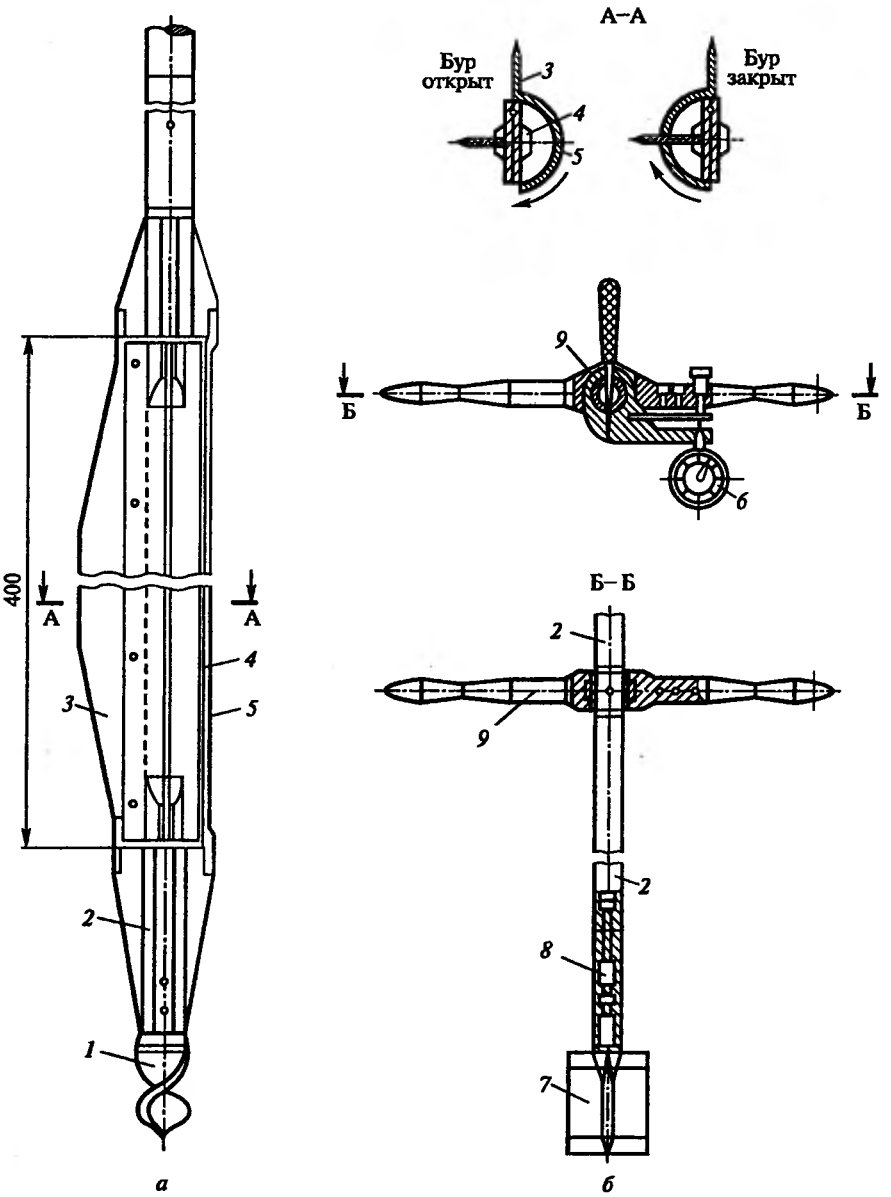
физико-механические характеристики пород;

рельеф минерального дна;

гидрологический режим болота;

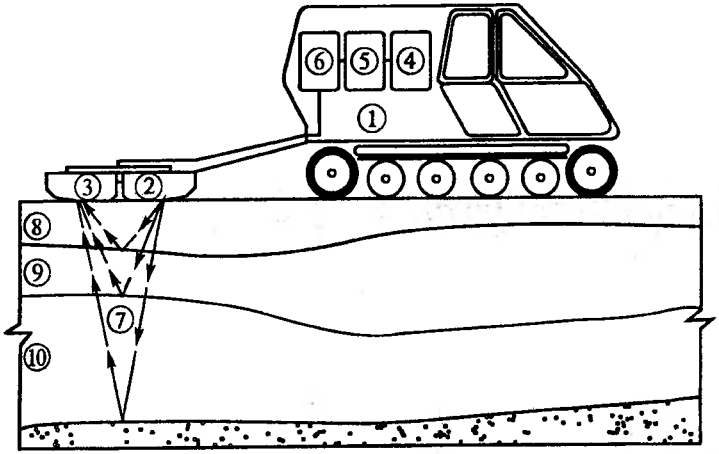
наличие вблизи перехода грунтов, пригодных для возведения земляного полотна (прежде всего крупнозернистых песчаных и гравелистых с высокими коэффициентами фильтрации).

Зондирование болот выполняют вручную буром геолога, торфяным буром ТБ-5 (рис. 39.7, *а*) или двухдюймовым ручным буровым комплектом без обсадных труб. Для взятия образцов торфа с ненару-



Р и с. 39.7. Инструменты для полевого испытания торфа:

а — торфяной бур ТБ-5 для взятия образцов торфа; *б* — сдвигомер-крыльчатка СК-8 для измерения сопротивления сдвигу; *1* — винт; *2* — полуконус; *3* — нож; *4* — сердечник; *5* — ложка; *6* — индикатор; *7* — крыльчатка; *8* — устройство для учета трения штанг о грунт; *9* — измерительная головка с рукояткой



Р и с. 39.8. Принципиальная схема георадара:

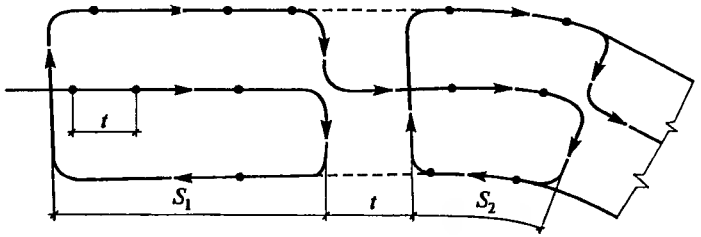
① — вездеход; ② — передающая антенна; ③ — приемная антенна; ④ — блок управления; ⑤ — блок отображения; ⑥ — блок интерпретации; ⑦ — радиосигнал; ⑧, ⑨, ⑩ — слои грунта с различными физико-механическими свойствами

шенной структурой бурят опорные скважины с обсадными трубами. На каждом поперечнике в трех—пяти местах берут образцы для определения вида торфов и ориентировочной оценки их свойств. Определение физико-механических свойств слабых грунтов при использовании их в основании насыпей производят чаще всего непосредственно в полевых условиях, применяя ручные приборы: П-4 (пенетрометр — прибор для измерения степени уплотнения), СК-8 (сдвигомер-крыльчатка — прибор для определения сопротивления сдвигу) (рис. 39.7, *б*).

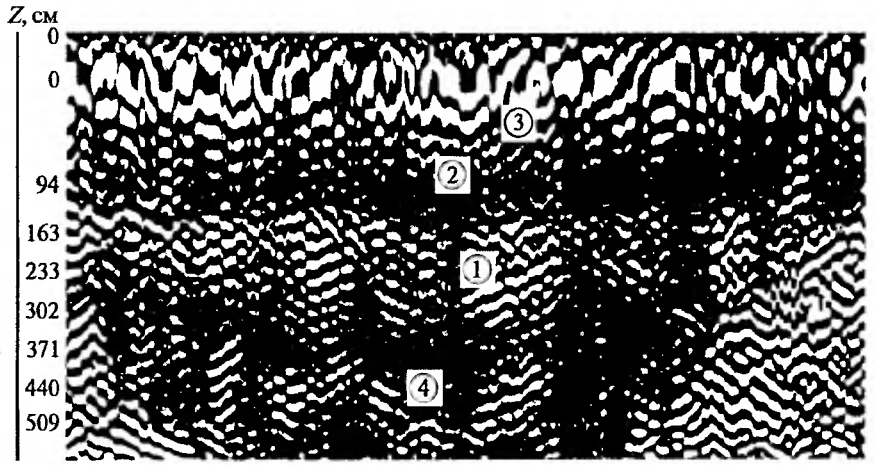
Болота зондируют или бурят с проникание в минеральное дно на глубину от 0,5 до 3 м. При зондировании и бурении в полевой журнал записывают послойные характеристики торфов с указанием степени разложения, плотности, влажности и ботанического состава. Одновременно отбирают образцы для лабораторных испытаний.

В последние годы при обследовании болот, как в России, так и в зарубежной практике, стали широко применять чрезвычайно эффективный метод подповерхностной радиолокации с использованием георадаров — приборов радиолокационного зондирования при инженерно-геологических изысканиях на участках горизонтально-слоистых сред, к которым относятся и болота (рис. 39.8).

Профилирование болот с помощью георадаров осуществляют в режиме реального времени в комплекте с GPS-топопривязчиками,



Р и с. 39.9. Схема движения изыскательского комплекса по полосе варьирования трассы



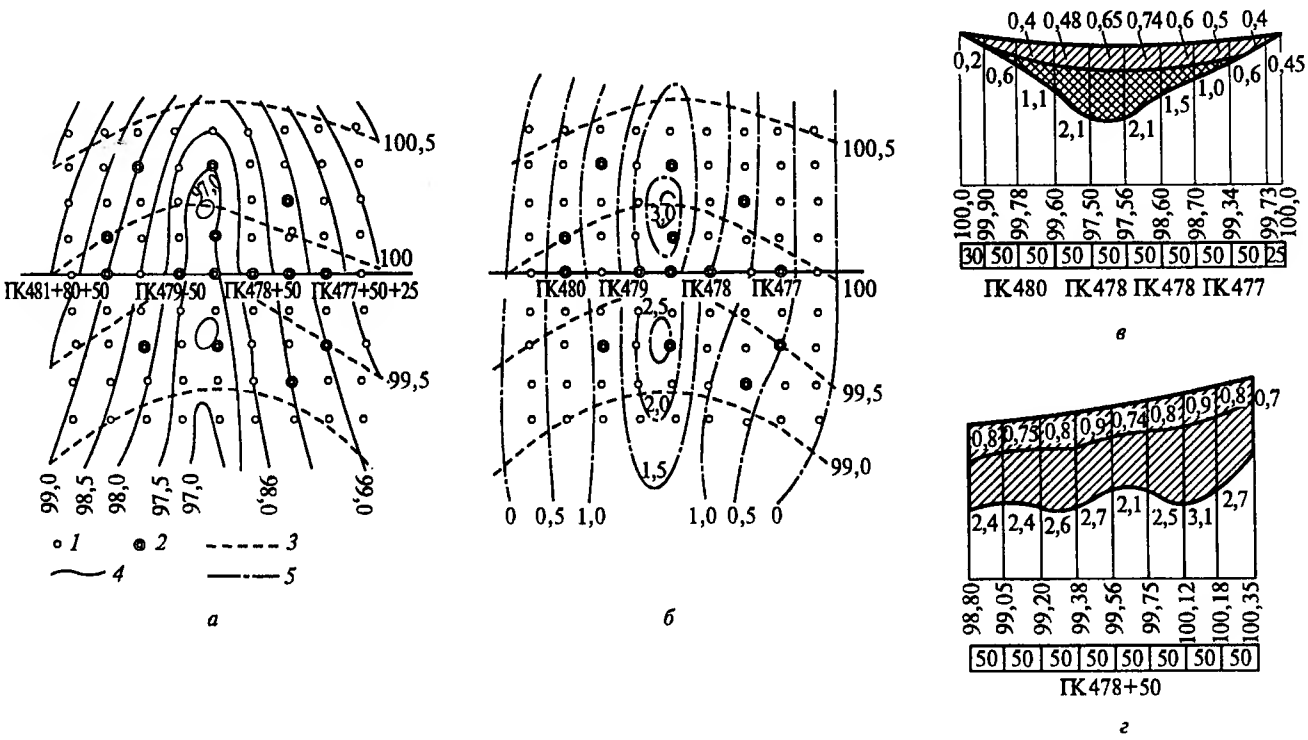
Р и с. 39.10. Радиограмма по ходу движения георадара

позволяющими сразу получать траекторию движения георадара по болоту (рис. 39.9).

В результате радиолокационного зондирования получают радиограммы по ходу движения георадара (рис. 39.10).

Радиограмма дает исчерпывающую информацию не только о положении поверхностей геологических напластований и минерального дна, но и о физико-механических свойствах геологических пород (①—④). Эта информация оказывается особенно надежной, в случае если радиолокационное зондирование сопровождается обычным бурением опорных скважин с отбором образцов и их лабораторными испытаниями.

Рельеф минерального дна — важнейшая информация, получаемая при изысканиях дорог на болотах, также может быть получена с минимальными затратами труда и времени с помощью радиолокационного зондирования (рис. 39.11).



Р и с. 39.11. План, продольный и поперечный профили болота:

а — план болота с горизонталями его дна и поверхности; *б* — изолинии толщины слоев торфа; *в* — продольный профиль трассы; *г* — профиль болота по поперечному к трассе направлению; *1* — зондировочные скважины; *2* — буровые скважины; *3* — горизонтали поверхности болота: *4* — горизонтали дна болота; *5* — линии равных толщин слоя болота

39.4. Конструкции земляного полотна дорог на болотах

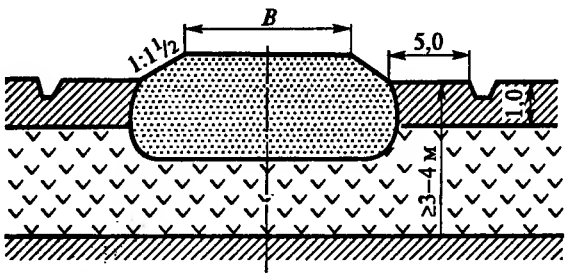
Учитывая малые уклоны поверхности болот, продольный профиль дорог на болотах проектируют либо в виде горизонтальных участков, либо участков с весьма малыми продольными уклонами. При этом земляное полотно проектируют в насыпях с величиной руководящей отметки, определяемой из условия минимального возвышения поверхности покрытия над уровнем длительно стоящих поверхностных вод (СНиП 2.05.02—85, табл. 21), либо из условия незаносимости снегом (СНиП 2.05.02—85, п. 6.33). Конструкцию земляного полотна назначают в зависимости от категории дороги, типа и глубины болота, физико-механических свойств торфа и грунтов минерального дна, а также в зависимости от капитальности дорожной одежды.

Наиболее надежным проектным решением является возведение насыпей непосредственно на прочном минеральном дне. Такое решение оказывается экономически целесообразным при глубине болота до 4,0 м для дорог с усовершенствованными капитальными покрытиями и до 2,0 м на дорогах с усовершенствованными облегченными покрытиями.

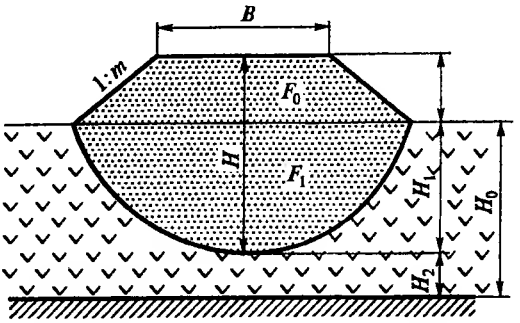
Выторфовывание болот 1-го типа из сплошного торфа устойчивой консистенции производят экскаваторами, средствами гидромеханизации или взрывами на выброс. Крутизну откосов земляного полотна ниже поверхности болота назначают в зависимости от плотности торфа (рис. 39.12).

На дорогах с переходными и низшими типами покрытий на болотах с торфами устойчивой консистенции земляное полотно можно возводить с использованием несущей способности торфа с частичным выторфовыванием (рис. 39.13) либо без выторфовывания (рис. 39.14).

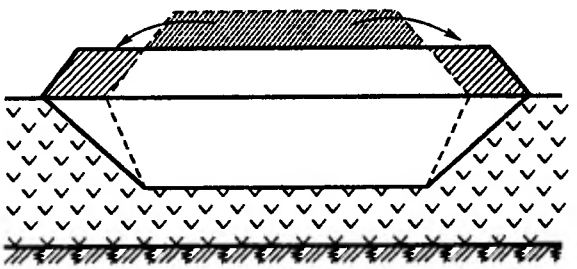
Торф, являясь упругим материалом, при проезде автомобилей сжимается под насыпью и она прогибается. Прогиб дорожной конструкции не должен превышать опасной для ее прочности величины.



Р и с. 39.12. Выторфовывание на неполную глубину



Р и с. 39.13. Схема погружения насыпи в болото без выторфовывания

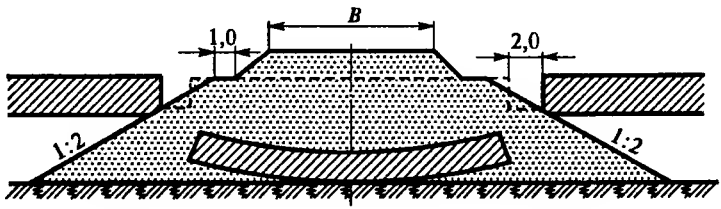


Р и с. 39.14. Отсыпка насыпи на болоте по способу перегрузки

По этой причине толщина торфа, оставляемого под насыпью, не должна после уплотнения превышать для покрытий переходного типа 1/3 и для покрытий низшего типа 1/2 толщины минеральной части насыпи.

При проектировании земляного полотна на болотах с частичным выторфовыванием либо без выторфовывания требуется выполнение обязательного расчета скорости осадки насыпи, с тем чтобы при разработке проекта организации строительства решить вопрос о сроках, когда можно приступать к строительству дорожной одежды (см. п. 22.6). Часто консолидация осадки торфяного основания насыпи занимает столь длительное время, что частичное выторфовывание является вынужденной мерой для ускорения консолидации осадки насыпи, которая происходит тем быстрее, чем на большую глубину делается выторфовывание.

Для обеспечения высокой скорости осадки насыпи на болотах при сохранении торфяного основания применяют эффективную конструкцию на песчаных сваях-дренах диаметром 20—30 см, размещаемых через 1,5—3 м в шахматном порядке по квадратной сетке (см. п. 22.6), что позволяет сократить процесс консолидации осадки



Р и с. 39.15. Посадка насыпи на минеральное дно болота вместе со сплавиной

насыпи в 20—30 раз. Действие вертикальных дрен основано на сокращении пути фильтрации воды, выжимаемой из основания и благодаря существенно большему (в 30—35 раз) значению коэффициента фильтрации в горизонтальном направлении по сравнению с вертикальным.

Аналогичный эффект достигается при устройстве продольных песчаных дрен на болотах 2-го и 3-го типов с торфом сравнительно жидкой консистенции. Зажатый между песчаными дренами торф постепенно осушается и уплотняется под действием веса насыпи.

Ускорение осадки достигают также при возведении насыпей способом перегрузки, который применяют на болотах, имеющих приблизительно одинаковую по глубине плотность. Способ состоит в том, что вначале среднюю по ширине часть насыпи отсыпают на большую, чем по проекту, высоту. После погружения насыпи в торф до полной осадки верхнюю часть ее снимают и из снятого грунта отсыпают боковые части насыпи до полного проектного профиля (см. рис. 39.14). Такой способ возведения насыпей на болотах позволяет сократить время консолидации в 1,5—2 раза.

Для обеспечения продольного водоотвода на дорогах через болота могут устраиваться канавы глубиной 0,6—0,8 м на расстоянии не ближе 2 м от подошвы насыпи с продольными уклонами не менее 5‰ и обязательным выводом воды в пониженные места.

В конструкциях насыпей с посадкой на минеральное дно на болотах 2-го и 3-го типов, а также насыпей, под которыми оставлен торф и при этом не обеспечен коэффициент устойчивости откосов, предусматривают устройство берм.

Насыпи на болотах сплавинного типа возводят с погружением на минеральное дно после удаления верхнего слоя торфа. Часто экономически оправданной оказывается отсыпка насыпи с погружением сплавины на дно (рис. 39.15).

Дороги низших категорий, а также временные дороги иногда строят на поверхности торфа при достаточной его толщине непосредственно на сплавине. Для распределения веса насыпи на большую

площадь поверхности болота и предотвращения сосредоточенных просадок насыпь отсыпают на бревенчатые настилы без устройства боковых водоотводных канав, ослабляющих сплавину.

Глубокие болота нередко оказывается целесообразным пересекать железобетонными эстакадами, что в ряде случаев позволяет заметно сократить сроки строительства автомобильной дороги, обеспечить большую надежность сооружения и лучшее его эстетическое восприятие.

При большом поперечном уклоне минерального дна болота для предотвращения сползания насыпи производят полное выторфовывание и выравнивание дна болота, устраивают уступы и контрбанкеты.

Насыпи на болотах всегда стремятся возводить из дренирующих грунтов. Для пропуска ручьев, поверхностных вод и для выравнивания уровней воды с обеих сторон насыпей на болотах устраивают водопропускные сооружения. При выборе типа водопропускного сооружения обычно предпочтение отдают мостам. Мосты целесообразно размещать у края болота, что упрощает работы по сооружению опор и насыпей подходов.

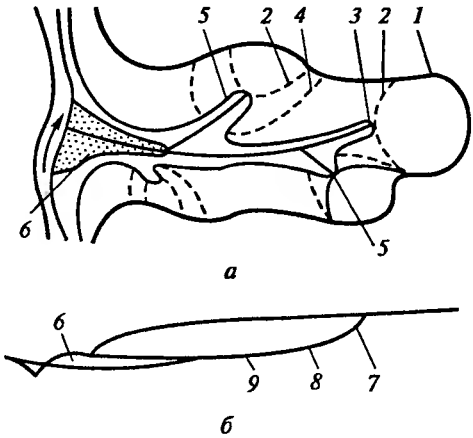
Глава 40

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В РАЙОНАХ СКЛОНОВОЙ ЭРОЗИИ И ОВРАГООБРАЗОВАНИЯ

40.1. Эрозия почв и образование оврагов

Поверхностные воды, образующиеся в результате выпадения дождей и таяния снега, могут приводить к эрозии почв — их размыву и процессу *оврагообразования.* Образование оврагов широко распространено в лесостепной и степной зонах России. Процессу оврагообразования обычно в существенной мере способствуют негативные техногенные воздействия на водосборные бассейны: сведение лесов, безграмотное землепользование (распашка склонов балок, направление при пахоте борозд вниз по склону), выпас скота на склонах, ведущий к уничтожению травяного покрова, некачественное проектирование и строительство системы поверхностного дорожного водоотвода и т.д.

Эрозионные процессы начинают проявляться при крутизне склонов 0,5—2°, усиливаются на склонах с крутизной 2—6° и становятся интенсивными при крутизне 6—10°.



Р и с. 40.1. Схематический план и продольный профиль оврага:

а — план; *б* — продольный профиль оврага: *1* — границы бассейна оврага; *2* — границы бассейна отвершка оврага в момент съемки плана; *3* — главная вершина оврага; *4* — границы бассейна отвершка в начале роста; *5* — боковые отвершки; *6* — конус выноса; *7* — обрыв у растущей вершины оврага; *8* — размываемая часть русла; *9* — транзитное русло

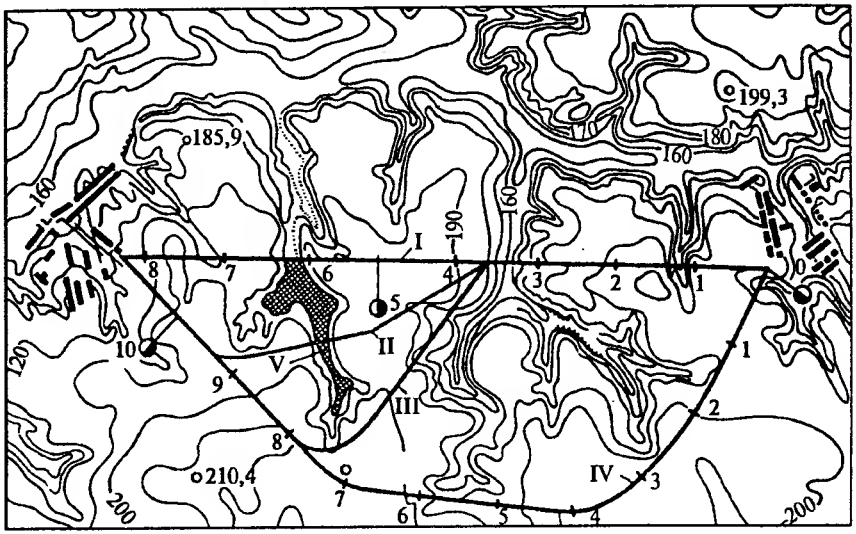
В ходе своего формирования овраги проходят несколько закономерных стадий (рис. 40.1). На первой стадии формирования на крутом участке склона образуется промоина треугольного поперечного сечения. На второй стадии происходит углубление промоины с уменьшением продольного уклона ее дна. У вершины формируется обрыв, высота которого может достигать 5—10 м. Промоина расширяется и ее поперечное сечение приобретает трапецеидальное очертание. К концу второй стадии в нижней части оврага уклон уменьшается до величины, при которой не происходит размывов дна и образуется транзитное русло, в котором продукты размыва, поступающие сверху, транзитом переносятся по его дну. В устье оврага, где скорости течения падают на столько, что поток не в состоянии переносить все поступающие сверху продукты размыва, и образуется конус выноса.

На третьей стадии происходит дальнейший рост оврага по направлению к водоразделу и расширяется его поперечное сечение за счет размыва берегов. По боковым тальвегам, по которым вода поступает в овраг с боковых, частных водосборов, образуются ответвляющиеся овраги — *отвершки* (см. рис. 40.1).

Овраг растет до тех пор, пока не достигнет грунтов, не поддающихся размыву, или пока питающий его водосбор не уменьшится вблизи водораздела до таких размеров, при которых объемы поступающей в овраг воды сократятся настолько, что размыв прекратится.

На четвертой стадии склоны оврага принимают устойчивое очертание и зарастают кустарником и травой. Овраг превращается в *балку*.

Овраги на территории России занимают значительные площади. Степень подверженности территории процессам оврагообразования



Р и с. 40.2. Трассирование вариантов трассы в овражистой местности:
I—IV — варианты трассы; V — придорожное водохранилище

принято оценивать *модулем эрозионности* — общей протяженностью овражистой сети на 1 км^2 территории. Модуль эрозионности территории России в среднем лежит в пределах от 0,5 до 1,2 (рис. 40.2).

Оврагообразование наносит огромный ущерб экономике страны и прежде всего сельскому хозяйству. Большие экономические потери от процессов оврагообразования несет и дорожное хозяйство, как на стадии проектирования и строительства автомобильных дорог, так и в процессе эксплуатации сушествующей дорожной сети в районах интенсивного оврагообразования.

Развитие эрозионных процессов в значительной степени зависит от климатических условий, распределения осадков по временам года и от их интенсивности. Рост овражистой сети особенно заметен при затяжных дождях и интенсивных кратковременных ливнях. Наиболее интенсивно процессы эрозии протекают в лёссах и лёссовидных суглинках. В отдельных случаях овраги бывают очень большими — глубиной до нескольких десятков метров и протяженностью до 10—20 км.

40.2. Особенности проектирования плана автомобильных дорог в районах склоновой эрозии и оврагообразования

Практика проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог в овражистой местности выработала некоторые правила трассирования автомобильных дорог, обеспечивающие при-

емлемую стоимость строительства и безопасные условия их эксплуатации в течение многих лет.

Рациональное положение трассы в овражистой местности зависит от конфигурации овражной сети, интенсивности эрозионных процессов и категории дороги. Во всех случаях при развитой сети оврагов целесообразен водораздельный ход в обход оврагов, если, конечно, это не сопряжено с сильным удлинением трассы и большой ее извилистостью (см. рис. 40.2).

Сельскохозяйственные дороги и дороги общего пользования низших категорий, для которых стоимость строительства является решающим фактором, чаще всего трассируют с использованием этого принципа, располагая трассу на расстоянии не ближе 50—100 м от вершин или отвершков. При этом обязательно предусматривают комплекс противоэрозионных мероприятий, обеспечивающих замедление или прекращение роста оврагов. При относительно невысокой интенсивности движения некоторое удлинение трассы и связанные с этим перепробеги транспорта могут не сказаться слишком сильно на увеличении приведенных затрат.

Автомобильные дороги высоких категорий часто вынуждают трассировать их по возможности по кратчайшим направлениям, не допуская сильного удлинения трассы и перепробегов транспортных потоков большой интенсивности. Это во многих случаях вынуждает пересекать овраги с соответствующим увеличением объемов земляных работ и числа водопропускных сооружений. В случае вынужденного пересечения трассой оврагов также требуется выполнение комплекса противоэрозионных мероприятий по их укреплению. Увеличение стоимости строительства в этих случаях оправдано заметным снижением ежегодных транспортно-эксплуатационных расходов.

Несмотря на то, что ширина оврага и отверстие водопропускного сооружения уменьшаются по мере смещения трассы к вершине оврага, все же располагать трассу слишком близко к вершине непосредственно в зоне размыва нецелесообразно, а лучше пересекать овраг в пределах зоны транзита продуктов размыва.

При пересечении трассой дороги оврагов часто наилучшим решением оказывается строительство виадуков, перекрывающих каждый овраг от бровки до бровки.

При трассировании дороги по водоразделу между двумя оврагами обязательно предусматривают укрепление отвершков против передвижения их в сторону дороги.

При проложении трассы вдоль речной долины с пересечением впадающих в реку оврагов не следует прокладывать дорогу по конусам выноса, которые часто характеризуются крайне неустойчивым

рельефом, а отверстия установленных здесь водопропускных сооружений могут быть занесены наносами. Поэтому целесообразно пересекать овраги несколько выше в пределах зоны транзита.

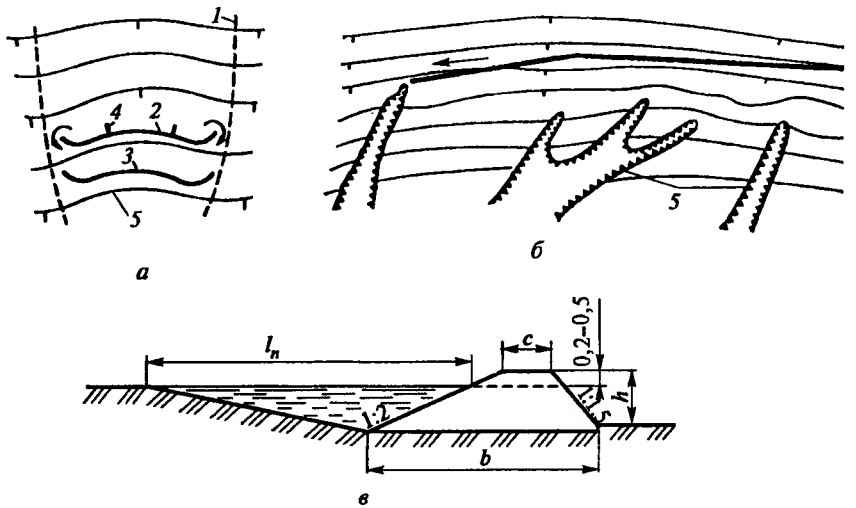
При пересечении широких и глубоких балок для уменьшения объемов земляных работ нередко приходится развивать трассу по склонам.

40.3. Мероприятия по защите земляного полотна дорог в овражистой местности

Активные мероприятия по закреплению оврагов преследуют три цели: уменьшение объемов и замедление притока воды к оврагу, укрепление вершины оврага и отвершков и закрепление его русла и склонов.

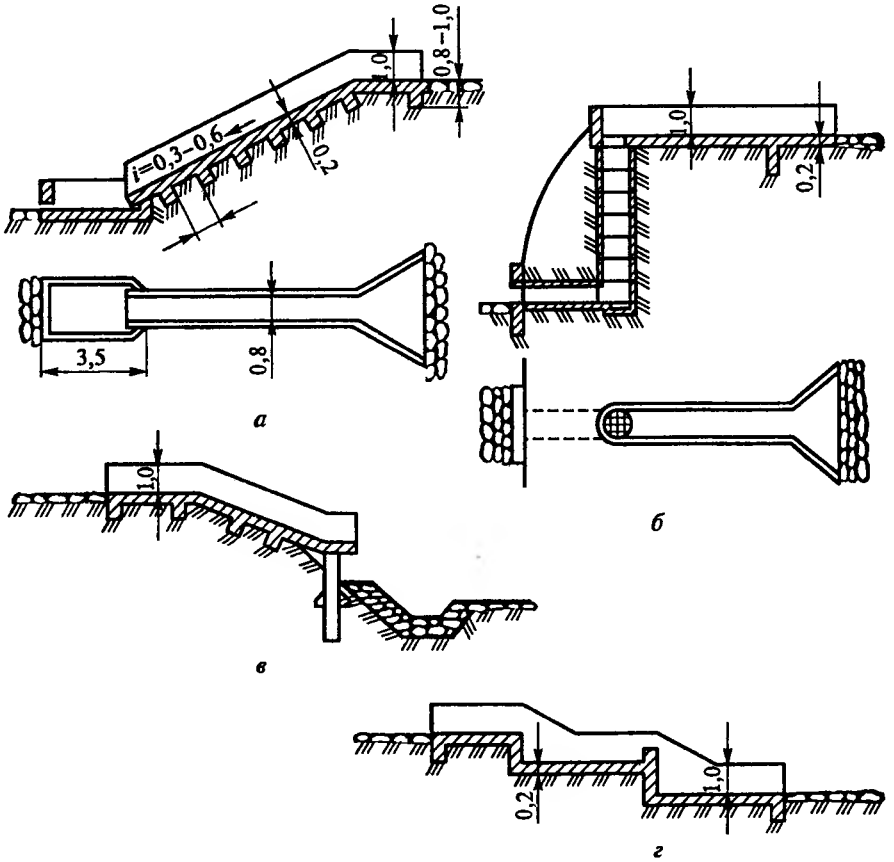
Для уменьшения объемов и замедления притока воды к оврагу часто целесообразным оказываются агротехнические мероприятия: распахивание почвы при подготовке к посевной поперек склонов (вдоль горизонталей), полосное размещение культур, засев трав на крутых склонах и создание лесных полос.

Для уменьшения либо предотвращения поступления воды к вершинам оврагов и отвершкам нередко устраивают систему земляных



Р и с. 40.3. Схемы расположения водозадерживающих и водоотводящих валов:

а — размещение водозадерживающих валов у вершины оврага; *б* — валы, отводящие воду к головному сооружению одного из оврагов; *в* — поперечное сечение водозадерживающего вала; *1* — граница бассейна; *2* — открытая перемычка; *3* — глухая перемычка; *4* — шпоры; *5* — вершина оврага



Р и с. 40.4. Схемы сооружения для закрепления вершины оврага:

а — быстроток; *б* — бетонный перепад с шахтным водосбросом; *в* — консольный водосброс; *г* — перепады

валов, замедляющих и задерживающих сток или отводящих его в один из отвершков с закрепленной вершиной. Для задержания поверхностного стока могут устраиваться два-три водозадерживающих вала высотой 1—2 м и шириной поверху 0,5—2,5 м, размещая их вдоль горизонталей (рис. 40.3).

Во избежание перелива валы должны возвышаться на 0,2—0,5 м над максимальным уровнем воды, которая может перед ним накопиться. Максимальный уровень воды определяют гидрологическими расчетами на полное удержание объема стока при прохождении паводка (ливневого или талых вод) с ВП = 10%. Водозадерживающие валы трассируют вдоль горизонталей, загибая их концы вверх по

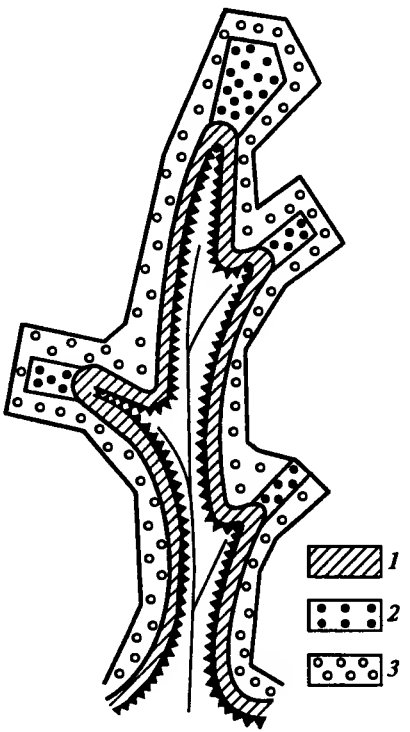
склону. Валы могут быть глухими, когда вода из прудка может уходить только в результате перелива через гребень или в результате впитывания в грунт, и открытыми, когда вода может обтекать концы валов.

Ближайший к вершине оврага вал должен располагаться не ближе чем на 10—15 м. Через каждые 100 м длины водозадерживающего вала устраивают поперечные шпоры, прерывающие течение воды вдоль вала.

Для перехвата воды и для того, чтобы направить ее в головное приемное сооружение, вблизи вершины оврага устраивают направляющие водосборные валы, укрепленные с верховой стороны. Если рядом расположено несколько отвершков, защитное сооружение строят на одном из них, подводя воду к нему от других отвершков по укрепленным канавам.

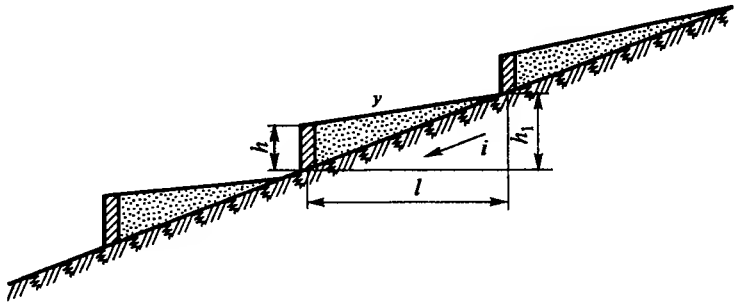
Для укрепления головной части оврага с целью обеспечения сброса на его дно ливневых и талых вод устраивают специальные сооружения в виде: быстротоков и водобойных колодцев (рис. 40.4, *а*), водоспусков (шахтных водосбросов) из железобетонных труб диаметром 0,5—1,0 м (рис. 40.4, *б*), консольных водосбросов (рис. 40.4, *в*), перепадов (рис. 40.4, *г*).

По опыту строительства и эксплуатации укрепительных сооружений головной части оврагов быстротоки целесообразно применять при расходах до 15 м^3/с и высоте уступа до 40 м, шахтные водосбросы — при высоте падения до 15 м, консольные водосбросы при скальном дне — при расходах до 15 м^3/с и разности высот до 40 м, при нескальных грунтах дна их применяют при расходах ≤ 1 м^3/с и разности высот до 5 м. Стойки консольных водосбросов заглубляют не менее чем на 2 м ниже дна ожидаемой воронки местного размыва.



Р и с. 40.5. Схема размещения противоэрозионных насаждений:

1 — полоса луга (3—10 м); *2* — кустарниковые посадки на водоотводящих лощинах; *3* — древесно-кустарниковые посадки (20—50 м)



Р и с. 40.6. Образование ступенчатого русла оврага после устройства запруд

Эффективным способом защиты русел оврагов от дальнейшего размыва является строительство запруд высотой до 0,7 м и перепадов, уменьшающих скорость течения по дну оврага. Их устраивают, как правило, капитального типа из сборных бетонных элементов. Расстояние между запрудами определяют в зависимости от уклона дна оврага из условия, чтобы верх нижней запруды был на уровне дна расположенной выше запруды. Между запрудами откладываются наносы, что приводит к образованию ступенчатого профиля с уклонами ступеней, при которых поток не размывает дно русла оврага (рис. 40.6).

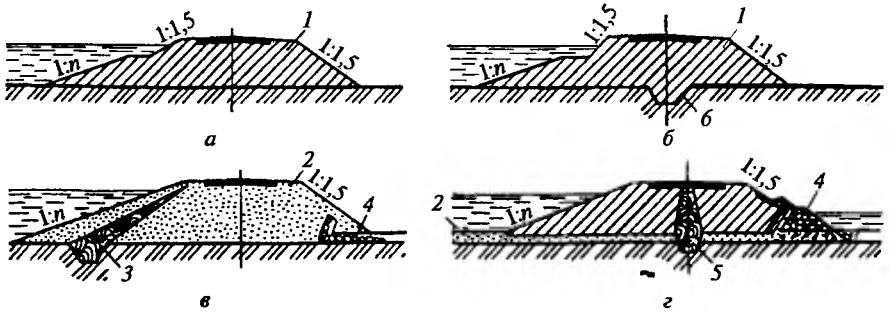
Ниже каждой запруды на расстоянии 2—3 м дно оврага укрепляют для недопущения появления местных размывов и потери устойчивости запруд.

Одним из обязательных мероприятий по закреплению оврагов является посадка деревьев и кустарника у вершин, склонов и берегов полосами шириной по 15—20 м (рис. 40.5).

После проведения активных мероприятий по предотвращению роста оврага и размыва его дна высаживают лес и кустарник по склонам и в русле для окончательного его закрепления. Защита оврагов лесопосадками требует нескольких лет и в ряде случаев посадка леса, начатая в ходе строительства дороги, завершается уже при ее эксплуатации.

В овражистых районах особое внимание уделяют надлежащему укреплению боковых водоотводных и нагорных канав на участках дорог со значительными продольными уклонами. Некачественно запроектированное и построенное укрепление канав может спровоцировать появление оврага вдоль дороги.

Эффективным методом борьбы с эрозионными процессами, препятствующим росту оврагов, является строительство в овраге одного



Р и с. 40.7. Поперечные профили земляных плотин:

а — из однородных грунтов; *б* — с противофильтрационным зубом; *в* — с экраном; *г* — с водонепроницаемым грунтом; *1* — супесь, суглинок; *2* — песок; *3* — экран; *4* — дренаж; *5* — водонепроницаемое ядро; *6* — противофильтрационный зуб

или нескольких искусственных водоемов. Устройство придорожных прудов и водоемов особенно целесообразно в степных и лесостепных районах России при глубине оврага, не превышающей 10—15 м. Сооружение придорожных прудов и водоемов, а также их необходимых объемов обосновывают гидрологическими расчетами из условия накопления объема воды во время весеннего половодья, обеспечивающего потребление в течение лета.

При устройстве придорожного водоема овраг пересекают по возможности в наиболее узком месте, перпендикулярно общему направлению оврага. Бровку плотины назначают на 0,75—1,0 м выше расчетного уровня подпертой воды. В случае совмещения плотины с дорогой ширину плотины поверху принимают равной ширине земляного полотна проектируемой дороги.

Коэффициент заложения верхового (напорного) откоса плотины принимают равным в зависимости от высоты плотины и рода грунта, из которого она возведена, от 1:2 до 1:3, а низового — от 1:1,75 до 1:2,25. Возможные конструкции поперечного профиля земляного полотна плотины представлены на рис. 40.7.

Верховой (напорный) откос со стороны пруда защищают плоским капитальным укреплением. Во избежание перелива через плотину при проходе высоких паводков и поддержания уровня воды не выше требуемого устраивают перепускную трубу — монах с надежно укрепленным нижним бьефом.

На сильно водопроницаемых лёссовых или песчаных грунтах придорожные водоемы в оврагах не устраивают.

Глава 41

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В ЗАКАРСТОВАННЫХ РАЙОНАХ

41.1. Процессы карстообразования

Карстообразованием называют процесс развития пустот под поверхностью земли в виде полостей, подземных ходов и пещер разного объема вследствие выщелачивания горных пород — гипса, известняка, мела, доломита, мергеля и каменной соли в результате совместного действия подземных и проникающих поверхностных вод.

Происходящие обрушения и проседания кровель подземных полостей вызывают образование на земной поверхности многочисленных воронок, рытвин и борозд. Обычно диаметр карстовых воронок составляет от 3 до 50 м, а глубина до 15—20 м. Своеобразный карстовый ландшафт местности указывает на наличие карстовых явлений, что учитывают при трассировании дорог.

В России карстовые процессы распространены в ряде районов европейской части страны, на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке (рис. 41.1).

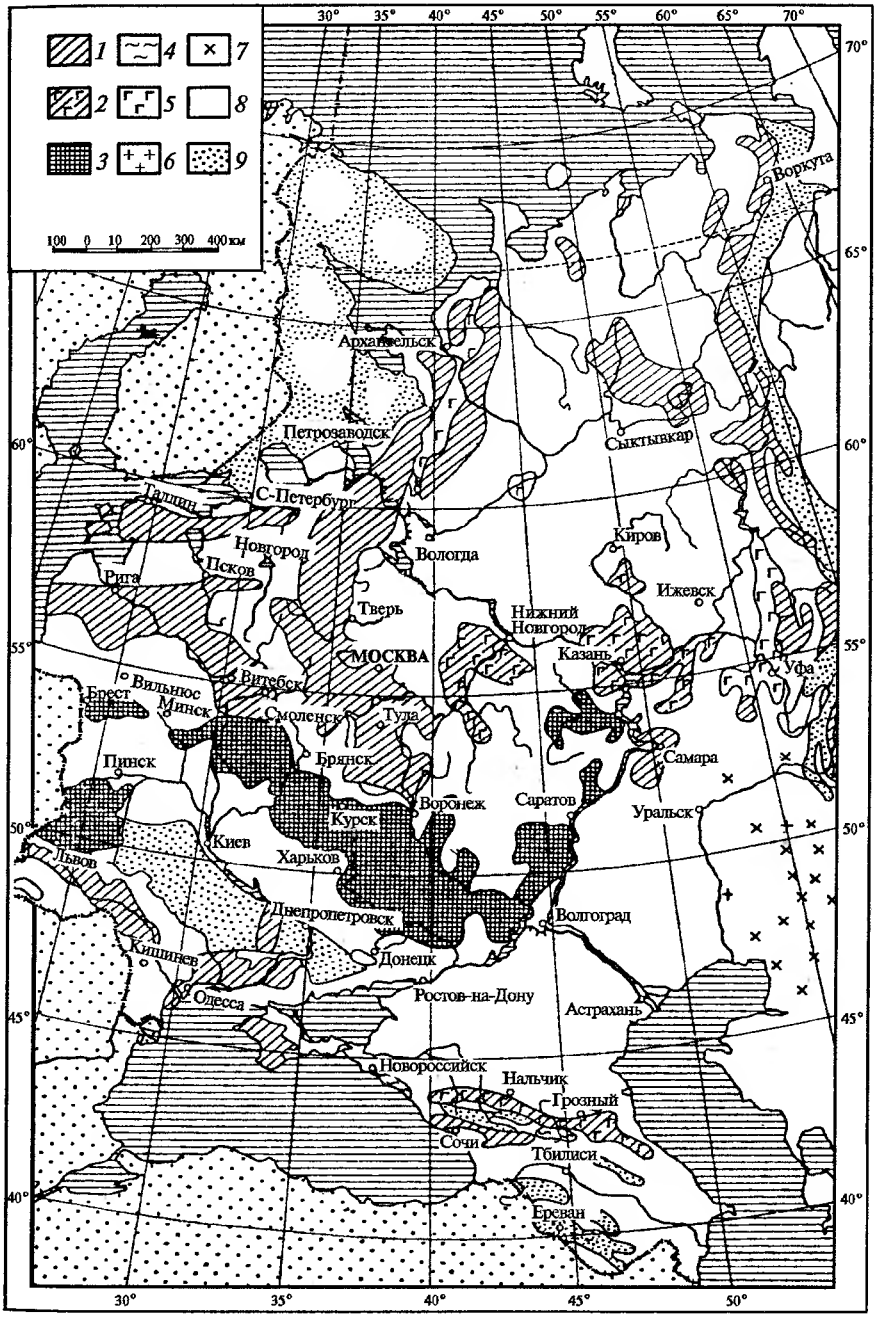
Строительство автомобильных дорог в закарстованных районах сопряжено с опасностью их разрушения в связи с развитием карстовых процессов и обрушением кровель карстовых полостей, пересекаемых дорогой. Поэтому в ходе изысканий автомобильных дорог в закарстованных районах всегда стремятся установить интенсивность карстовых процессов, которая зависит прежде всего от состава горных пород и степени их трещиноватости, от растворимости пород, химического состава грунтовых вод и рельефа местности.

По степени опасности дорожного строительства карст принято делить на два принципиально разных типа:

I — карст в легкорастворимых породах: в сульфатных (гипсовых), сульфатно-карбонатных и в каменной соли. На участках местности, приуроченных к этому вида карста, в связи с высокой скоростью карстообразования, как правило, ежегодно наблюдается появление новых карстовых воронок и просадок;

Р и с. 41.1. Схематическая карта распространения карстовых процессов в европейской части территории бывшего СССР, на Урале и Кавказе:

1 — известняки, мраморы, доломиты; *2* — сульфатно-карбонатные породы; *3* — мел, мергельно-меловая толща; *4* — карбонатный флиш; *5* — гипсы, ангидриды; *6* — соль; *7* — соляные купола; *8* — осадочные породы; *9* — изверженные, метаморфические, вулканогенные породы


1
2
3
4
5
6
7
8
9
100 0 10 200 300 400 км
30° 35° 40° 45° 50° 55° 60° 65° 70°
70°
65°
60°
55°
50°
45°
40°
Воркута
Архангельск
Петрозаводск
Сыктывкар
Таллин
С-Петербург
Киров
Новгород
Вологда
Псков
Рига
Ижевск
Тверь
Нижний Новгород
МОСКВА
Казань
Уфа
Витебск
Вильнюс
Брест
Минск
Смоленск
Тула
Самара
Пинск
Брянск
Воронеж
Саратов
Уральск
Курск
Киев
Харьков
Львов
Днепропетровск
Волгоград
Кишинев
Донецк
Одесса
Ростов-на-Дону
Астрахань
Новороссийск
Нальчик
Грозный
Сочи
Тбилиси
Ереван

II — карст в труднорастворимых карбонатных породах: в известняках, доломитах, в мелу и в обломочных породах с карбонатным заполнителем, где процессы карстообразования протекают значительно медленнее и новые элементы карстового ландшафта порой не появляются десятилетиями.

Характеристикой интенсивности карстообразования может служить количество новых карстовых воронок, образующихся в течение года на 1 км^2 площади исследуемой территории (табл. 41.1).

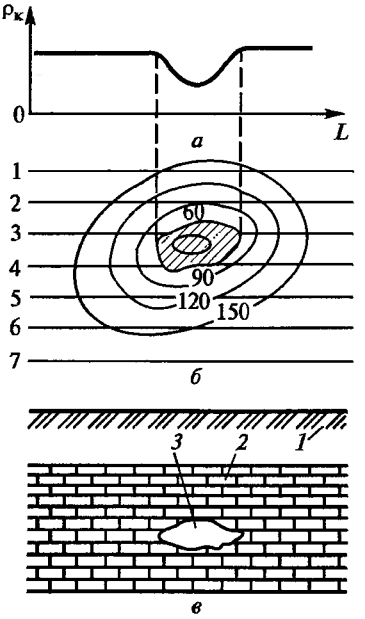
Таблица 41.1. **Категории местности по интенсивности карстообразования**

Категории местности по интенсивности карстообразования	Характеристика устойчивости рельефа	Количество новых карстовых воронок, образующихся на 1 км^2
I	Весьма неустойчивый	5—10 в год
II	Неустойчивый	1—5 в год
III	Среднеустойчивый	Один раз в 10—20 лет
IV	Устойчивый	Один раз в 20—50 лет
V	Весьма устойчивый	За 50 лет не зарегистрировано

Возраст карстовых образований при изысканиях определяют по растущим на склонах воронок деревьям, по степени задернованности откосов воронок, по форме их краев и по степени заполнения их грунтом.

В ходе инженерно-геологических обследований в закарстованных районах и выявления участков местности, неблагоприятных для проложения вариантов трасс автомобильных дорог, изучают характерные геологические напластования, их мощность, состав и степень трещиноватости водорастворимых пород, связь частого расположения карстовых воронок с геологическим строением местности. Изучают режимы грунтовых вод, степень их агрессивности и источники питания.

В настоящее время для изучения закарстованных районов широко применяют арсенал современных методов геофизической разведки. При этом чаще всего применяют электроразведку, сейсморазведку, гравиметрию и микромагнитную съемку. При изысканиях автомобильных дорог в закарстованных районах наиболее часто применяют методы электроразведки: электропрофилирование (ЭП), вертикальное электрозондирование (ВЭЗ), при детальных исследова-



Р и с. 41.2. Выявление карстовых полостей методом электроразведки:

а — изменение кривой электропрофиля над карстом; *б* — карта изолиний равных сопротивлений; *в* — геологический разрез местности; $\rho_к$ — кажущееся сопротивление; *1* — грунт, $\rho = 300$ Ом/м; *2* — известняк, $\rho = 800$ Ом/м; *3* — карстовая полость

ниях применяют все виды геофизических исследований скважин — каротажа (ГИС) и межскважинное сейсмическое просвечивание (СП).

Для выявления наличия опасных для дороги подземных карстовых полостей используют методы электроразведки, заключающиеся в измерении электрического сопротивления залегающих на глубине пород. Если внутри толщи породы имеется карстовая полость, то кривая сопротивления породы резко изменяется (рис. 41.2).

С целью проведения детальных исследований карстовых процессов местности при электропрофилировании в местах резкого изменения кривых сопротивления пород бурят скважины с отбором образцов пород для их лабораторных анализов, а сами скважины используют для электро- или сейсмического просвечивания — каротажа.

Для относительно безопасного проложения трассы автомобильной дороги по закарстованной местности необходимо, чтобы поверхностный грунтовый слой имел мощность не менее 8—10 м.

41.2. Особенности проектирования автомобильных дорог в закарстованных районах

Строительство дорог в закарстованной местности может привести к ускорению процесса карстообразования в результате строительства высоких насыпей и изменения режима поверхностного и подземного стока. Это обстоятельство всегда учитывают при изысканиях и проектировании автомобильных дорог в закарстованных районах, предусматривая в ряде случаев инженерные мероприятия по борьбе с карстовыми процессами.

Практика строительства и эксплуатации автомобильных дорог в закарстованных районах выработала некоторые обязательные правила изысканий и проектирования дорог в этих районах:

в районах III—V категорий местности по интенсивности карстообразования (см. табл. 41.1) с затухшими карстовыми процессами и устойчивым рельефом сельскохозяйственные дороги и дороги низших категорий проектируют и строят без учета карстовых явлений;

при изысканиях и проектировании дорог высоких категорий участки местности I и II категорий по интенсивности карстообразования (см. табл. 41.1) с интенсивными карстовыми процессами и неустойчивым рельефом следует по возможности обходить. Часто относительно небольшое смещение трассы позволяет существенно снизить вероятность повреждения дороги карстовыми процессами. При изысканиях для выявления участков местности с интенсивными процессами карстообразования чрезвычайно эффективно использовать аэрофотосъемку, поскольку на аэрофотоснимках карстовые воронки очень хорошо видны;

при невозможности обхода закарстованного участка местности трассу прокладывают по водоразделам и высоким речным террасам. На таких повышенных участках рельефа карстовые процессы менее ярко выражены, чем в нижней части склонов, где вода собирается с больших водосборных площадей;

дороги проектируют в невысоких насыпях, обходя участки сосредоточения карстовых воронок, при условии выполнения в пределах придорожной полосы работ, направленных на уменьшение поступления количества воды в толщи водорастворимых пород;

предусматривают комплекс инженерных мероприятий по борьбе с карстовыми процессами.

Наиболее часто в пределах придорожной полосы предусматривают следующие инженерные мероприятия по борьбе с карстовыми процессами и снижению их интенсивности:

планировку придорожной полосы и отвод воды из пониженных мест рельефа;

отказ от строительства водопропускных труб с малыми отверстиями (для исключения большого напора в связи с аккумуляцией). Вместо труб предпочтение отдают малым мостам;

укрепление русел водоотводных канав;

засыпку карстовых воронок водонепроницаемым грунтом;

заполнение через буровые скважины (тампонирование) карстовых полостей и трещин цементными растворами;

обрушение взрывами неустойчивых кровель над карстовыми полостями;

устройство перехватывающих дренажей, прерывающих поступление грунтовых вод к земляному полотну;

заполнение песком или каменной наброской карстовых полостей и глубоких трещин;

пересечение участков интенсивного карстообразования эстакадами с заложением опор ниже толщи пород, подверженных карстовым процессам.

Глава 42

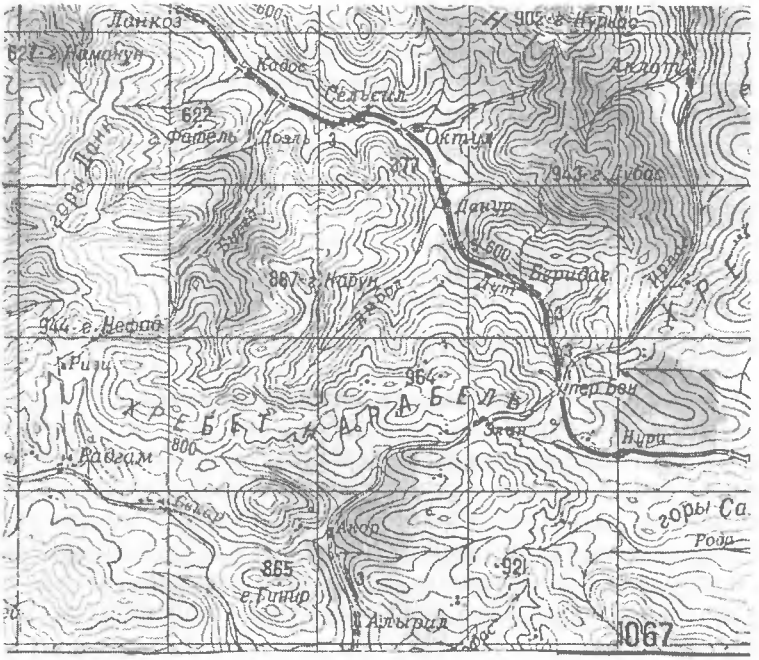
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

42.1. Особенности горных районов

Горные районы занимают существенные площади территории России. В горных районах в связи с невысокой плотностью сети железных дорог и малым числом аэродромов основные объемы перевозок осуществляются по автомобильным дорогам. Однако проектирование и строительство автомобильных дорог в горных районах имеет специфические особенности и часто связано с решением ряда сложных проблем.

Горный рельеф характеризуется значительными перепадами высот на относительно коротких расстояниях, крутыми склонами гор и обрывами, глубокими извилистыми долинами бурных рек.

Сложное геологическое строение горных районов, часто сильно меняющееся на коротких расстояниях, интенсивное неравномерное во времени выпадение атмосферных осадков и наличие в связи с этим большого количества бурных водотоков, обладающих огромной разрушительной силой, приводят к эрозии горных пород. Вследствие этого происходит интенсивный перенос больших объемов продуктов выветривания по крутым склонам, перенос их многочисленными горными потоками и аккумуляция в пониженных местах. Неустойчивость форм рельефа и горных геологических напластований приводит к появлению многочисленных оползней, осыпей, обвалов, селевых потоков, что определяет сильное удорожание строительства автомобильных дорог в связи с необходимостью строительства большого количества искусственных сооружений и проведение других инженерных мероприятий по обеспечению устойчивости полотна дорог на горных склонах. Сильное удорожание стоимости строительства автомобильных дорог в горной местности определяют также большие объемы земляных работ, к тому же часто проводимые в скальных грунтах, а также необходимость строительства разного рода многочисленных искусственных сооружений: водопропускных труб, мос-



Р и с. 42.1. Перевальный участок горной дороги

тов, подпорных и одевающих стенок, лавинозащитных галерей, тоннелей и т.д.

Необходимость развития трассы автомобильных дорог по склонам приводит к сильному ее удлинению с соответствующим возрастанием строительной стоимости дорог.

Эксплуатационные и транспортные расходы горных дорог существенно превосходят те же затраты в равнинной местности.

По условиям проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог различают следующие характерные геоморфологические зоны горных районов:

предгорные районы;

долины горных рек;

горные склоны;

водораздельные (перевальные) седловины или плато.

Наибольшие проблемы возникают при прохождении трассами дорог перевальных участков высокогорных районов.

Природные условия горных районов резко меняются на коротком протяжении с четким проявлением вертикальной зональности — изменением природно-климатических условий по мере возвышения

над уровнем моря: средняя температура воздуха понижается на 0,5 °С на каждые 100 м высоты, атмосферное давление падает в среднем на 1 мм ртутного столба на каждые 15 м высоты, годовые суммы атмосферных осадков взрастают на 40—60 мм на каждые 100 м высоты и т.д.

Затраты на земляные работы и строительство искусственных сооружений на дорогах в горных районах оказываются в среднем в три раза выше, чем в пересеченной и равнинной местности.

В отличие от других типов местности направление трассы горных дорог определяется главным образом расположением горных хребтов и отрогов, которые являются водоразделами бассейнов горных рек. Переход дороги с одного бассейна в другой осуществляется через пониженные места хребтов — седловины.

Проектирование дорог в каждой из характерных геоморфологических зон горных районов имеет свои специфические особенности. Проход автомобильной дороги через горную цепь состоит из нескольких характерных этапов: проложение трассы вверх по долине горной реки, подъем с развитием трассы по горным склонам к седловине горного хребта и переход через горный хребет в долину другой реки (рис. 42.1).

42.2. Трассирование автомобильных дорог по долинам горных рек

Трассирование автомобильных дорог по долинам горных рек в большинстве случаев удобно, поскольку продольные уклоны долин обычно меньше предельно допустимых для дорог и населенные пункты расположены по горным долинам (рис. 42.2).

Большие скорости течения горных рек (до 4 м/с и выше) могут вызывать существенные размывы дна и склонов долины, поэтому при строительстве дорог в стесненных условиях долин горных рек часто для укрепления берегов и откосов земляного полотна требуется проведение дорогостоящих укрепительных работ.

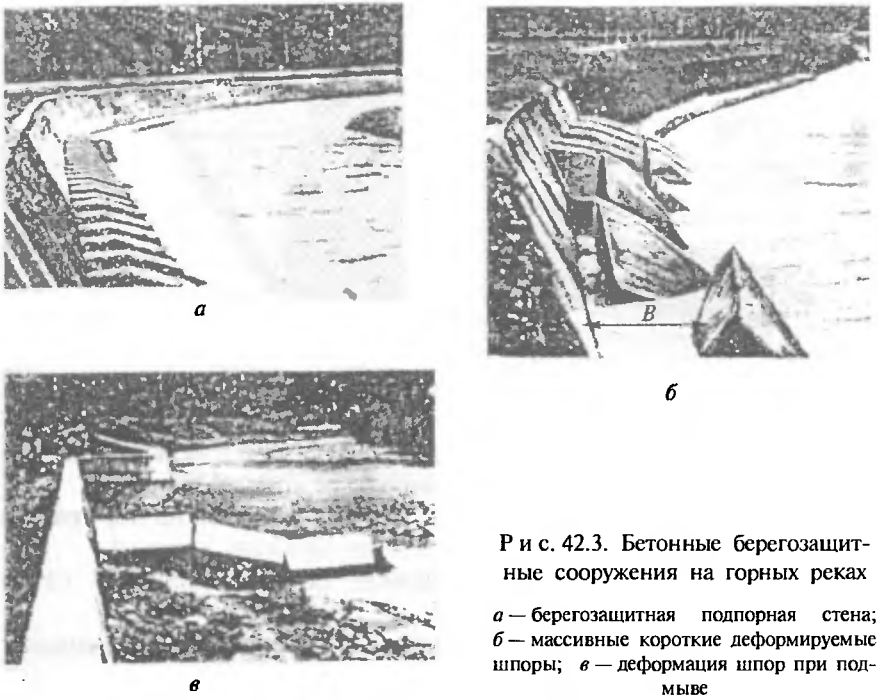
Направление трассы горных дорог в плане определяется извилистостью речной долины, впадающими в реку притоками, неустойчивыми склонами долины, наличием скальных выступов — прижимов, которые приходится проходить глубокими скальными выемками, короткими тоннелями или переносить трассу дороги с берега на берег (см. рис. 42.1).

Для долинных ходов характерно наличие большого числа кривых минимальных радиусов в плане, мостов на боковых притоках, нередко пересекаемых в их устьевой части по конусам выноса, косогорных участков с неустойчивыми склонами. При строительстве дорог в до-

Р и с. 42.2. Долинный участок автомобильной дороги

линах горных рек часто приходится выполнять большие объемы земляных работ (нередко в скальных грунтах), устраивать многочисленные подпорные и одевающие стенки, строить специальные инженерные сооружения для защиты от возможных снежных лавин и камнепадов и т.д.

При гидрологических расчетах учитывают исключительную изменчивость водного режима горных рек (большие коэффициенты вариации максимальных расходов и уровней) и возможность подтопления полотна дорог высокими водами. Поэтому по возможности стремятся размещать полотно дороги выше расчетного уровня высокой воды, с тем чтобы исключить возможность подмыва земляного полотна.



а

б

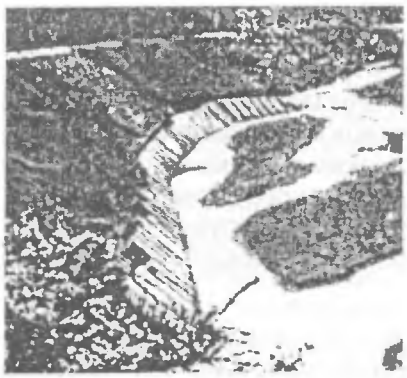
в

Р и с. 42.3. Бетонные берегозащитные сооружения на горных реках

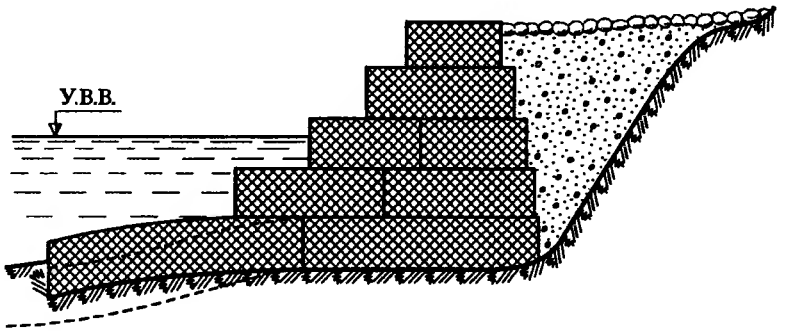
а — берегозащитная подпорная стена; *б* — массивные короткие деформируемые шпоры; *в* — деформация шпор при подмыве

В практике железнодорожного и автодорожного строительства разработано много способов укрепления берегов русел горных рек и откосов земляного полотна:

капитальными плоскими укреплениями (сборными железобетонными плитами) (см. рис. 31.13, *в*);



Р и с. 42.4. Укрепление берега горной реки сползающими массивами



Р и с. 42.5. Габионная кладка

берегозащитными железобетонными стенами с укреплением подошвы короткими массивными шпорами (рис. 42.3);

сползающими бетонными блоками, оседающими по мере размыва (рис. 42.4);

габионами (т.е. камнем в ящиках из металлической сетки) (рис. 42.5);

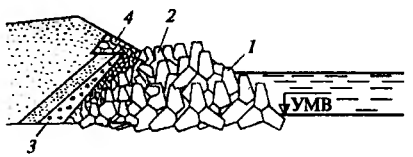
фигурными бетонными элементами (тетраподами, тетраэдрами и т.д.), сцепляющимися друг с другом и опускающимися при подмыве (рис. 42.6).

различными способами защиты подошв насыпей от подмыва (см. рис. 31.14).

Для обхода лавиноопасных участков, а также участков с неустойчивыми склонами (оползни, осыпи, камнепады, сели) нередко трассу переносят с одного берега на другой. Для обеспечения вписывания кривых в плане допустимых радиусов часто приходится устраивать косые мосты на цилиндрических столбчатых опорах из свай-оболочек большого диаметра.

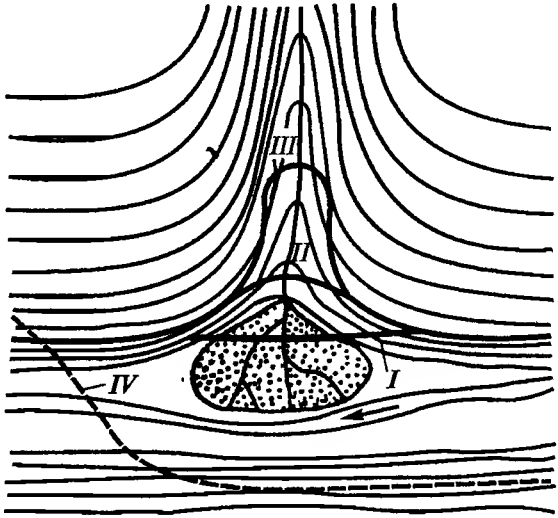
На пересечениях впадающих в реку боковых притоков рассматривают следующие возможные варианты трассирования (рис. 42.7):

пересечение бокового притока по конусу выноса (линия *I*). Существенным недостатком такого варианта пересечения является необходимость пересечения периодически меняющего свое положение блуждающего русла, что вынуждает строить мосты с большими отверстиями;



Р и с. 42.6. Укрепление берега горной реки тетраподами:

1 — тетраподы массой до 10 т; *2* — тетраподы весом до 2 т; *3* — обратный фильтр; *4* — каменная призма



Р и с. 42.7. Варианты пересечения водотока при проложении трассы по речной долине

пересечение несколько выше конуса выноса в зоне транзита (линия *II*). Несмотря на некоторое удлинение трассы, в этом случае удается построить мост меньшей длины и получить трассу с достаточно большими радиусами в плане;

пересечение с глубоким заходом в долину обеспечивает еще большее сокращение отверстия моста и уменьшение объемов земляных работ на подходах (линия *III*). Однако такое решение достигается за счет сильного удлинения трассы с соответствующими перепробегами автомобилей и существенного ухудшения геометрических параметров трассы;

перенос трассы на другой берег (линия *IV*). Такое решение связано с необходимостью строительства двух косых мостов и оправдано лишь при интенсивных селевых выносах на боковом притоке или неустойчивых склонах долины.

Наилучший вариант трассы устанавливают на основе технико-экономического сравнения вариантов.

При трассировании дорог по склонам речной долины обязательно снимают поперечники на ширину, необходимую для размещения земляного полотна дороги. Поперечники, как правило, снимают методом тригонометрического нивелирования (электронными тахеометрами) либо методом наземно-космической съемки с использованием приемников спутниковой навигации GPS или ГЛОНАСС. Обрывистые

скальные склоны снимают безотражательными электронными тахеометрами либо с использованием наземной стереофотограмметрии — фототеодолитных съемок и наземного лазерного сканирования.

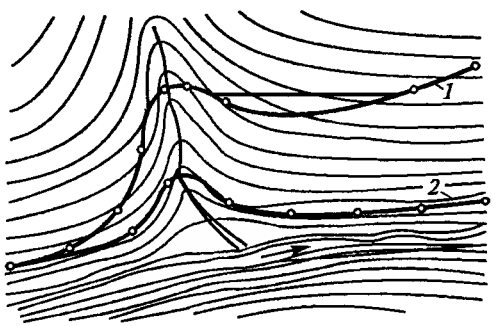
42.3. Трассирование горных дорог по склонам. Перевальные участки дорог

Переходные участки от долинных ходов к перевалам, как правило, характеризуются большими продольными уклонами местности, существенно превышающими допустимые для дорог. Для проектирования продольного профиля с уклонами, не превышающими допустимые, приходится развивать трассу по склонам. В отличие от долинных ходов на участках развития трассу прокладывают на большей ее длине с уклонами, близкими к предельно допустимым, иногда с заходами в боковые долины и используя каждую возможность набора высоты (рис. 42.8).

Подходы к перевалам характеризуются большими продольными уклонами, большим числом кривых в плане, наличием обратных кривых —*серпантин*, большими объемами земляных работ — преимущественно скальных и наличием специальных инженерных сооружений — лавинозащитных галерей и тоннелей.

На перевальных участках наиболее ярко проявляются климатические особенности высокогорных районов. Проектирование геометрических элементов автомобильных дорог осуществляют с учетом особенностей работы автомобильных двигателей в высокогорных районах.

На больших высотах происходит заметное снижение мощности двигателей автомобилей из-за уменьшения количества кислорода и топлива, попадающего в цилиндры, а также из-за ухудшения процесса сгорания топлива в результате падения давления в цилиндрах в конце сжатия. Негативно сказывается также на работе двигателей



Р и с. 42.8. Развитие трассы с заходом в долину впадающего водотока в верхней части долинного хода:

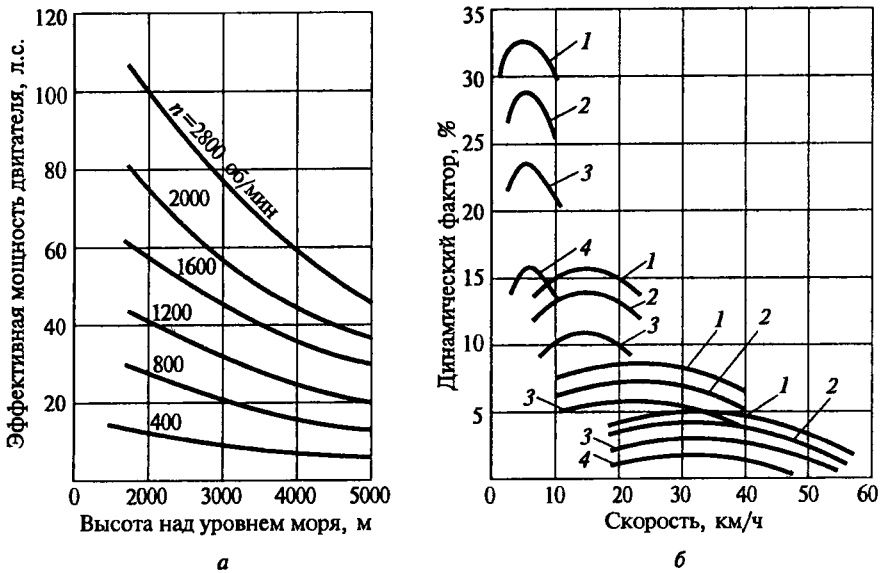
1 — трассирование с заходом в боковую долину; *2* — трассирование вдоль речной долины

ухудшение их охлаждения в связи с понижением точки кипения воды. Показатели эффективности использования автомобилей с карбюраторными двигателями заметно снижаются по мере поднятия над уровнем моря (табл. 42.1).

Таблица 42.1. **Эффективность использования автомобилей с карбюраторными двигателями на разных высотах над уровнем моря**

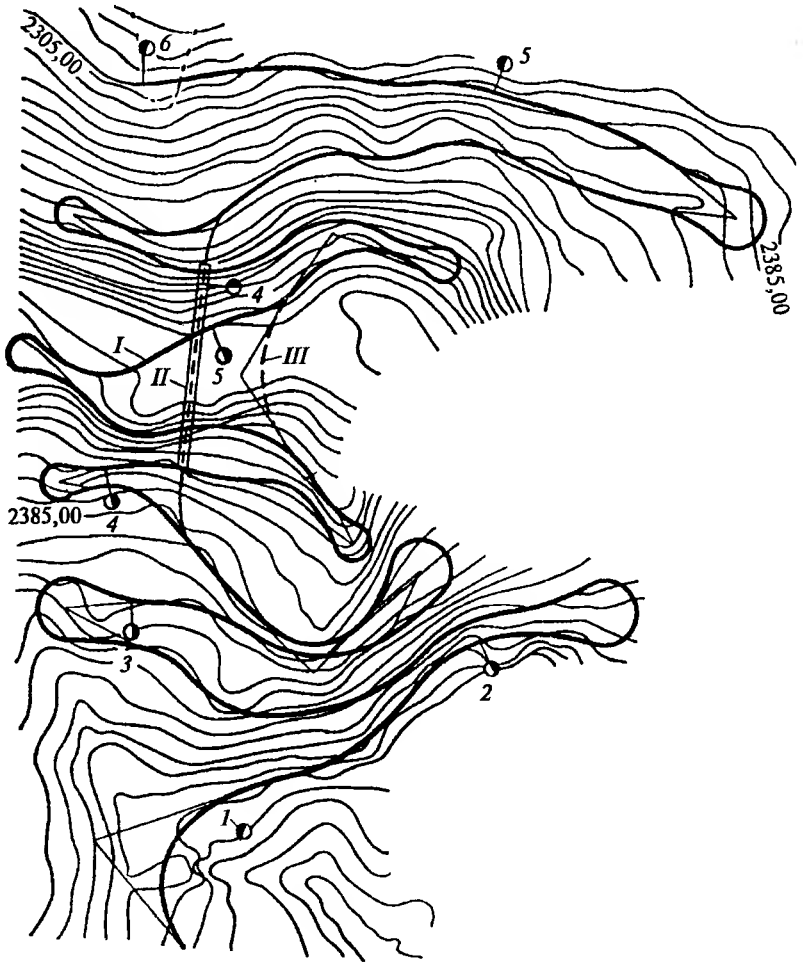
Высота над уровнем моря, м	Снижение эффективной мощности двигателя, %	Увеличение расхода топлива, %	Снижение производительности перевозок, %
1000	11,3	9,0	17
2000	21,5	24,5	35
3000	30,8	34,0	50
4000	39,2	38,1	70
5000	46,7	40,0	85

При тяговых расчетах автомобилей на высотах, превышающих 2000 м, необходимо учитывать снижение мощности двигателей (рис. 42.9).



Р и с. 42.9. Изменение тяговых характеристик автомобиля с карбюраторным двигателем по мере увеличения высоты дороги над уровнем моря:

а — изменение внешней характеристики карбюраторного двигателя; *б* — динамические характеристики двигателя; *1* — высота на уровне моря; *2* — высота 2000 м над уровнем моря; *3* — то же, 3000 м; *4* — то же, 4500 м

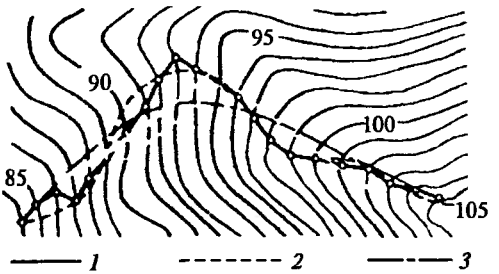


Р и с. 42.10. Варианты перевальной трассы:

I — с развитием трассы серпантинами; *II* — с устройством тоннеля; *III* — с устройством глубокой выемки; *1—6* — указатели километров

Предельно допустимый уклон на перевальных участках горных дорог назначают на 10—20‰ меньше, чем для участков трассы в равнинной местности.

Для пересечения горных хребтов выбирают перевалы — седловины с наименьшими высотами, расположенные наиболее близко к заданному общему направлению трассы и имеющие удобные для ее развития подходы. В малоизученных районах для установления наибо-



Р и с. 42.11. Развитие трассы по склону с уклоном, близким к предельно допустимому:

1 — линия заданного уклона; *2* — трасса наибольшего приближения к линии заданного уклона; *3* — сглаженная трасса

лее рационального перевального участка целесообразно использовать материалы космических съемок.

Основная особенность перевальных ходов автомобильных дорог состоит в необходимости искусственного удлинения трассы, поскольку фактические уклоны местности по заданному кратчайшему направлению значительно превышают допустимые (рис. 42.10).

Трассу развивают не с предельно допустимым уклоном, а с меньшим на 10—15‰ уклоном, называемым *руководящим* (рис. 42.11). Это связано с неизбежным последующим сокращением длины трассы при окончательной ее укладке и сглаживании.

Откладывая раствором циркуля заложение, соответствующее заданному (руководящему) уклону, последовательно между каждыми двумя смежными горизонталями строят ломаную линию заданного уклона с последующей аппроксимацией ее увязанными геометрическими элементами трассы дороги, параметры которых соответствуют требованиям СНиП 2.05.02—85.

Трассирование дороги на перевальных участках всегда ведут от перевала к долинам. На верхней части склона трассу часто развивают серпантинами (см. рис. 42.10). Трассирование ведут по крупномасштабным топографическим картам, топографическим планам и материалам аэрокосмических съемок с последующим выносом трассы на местность.

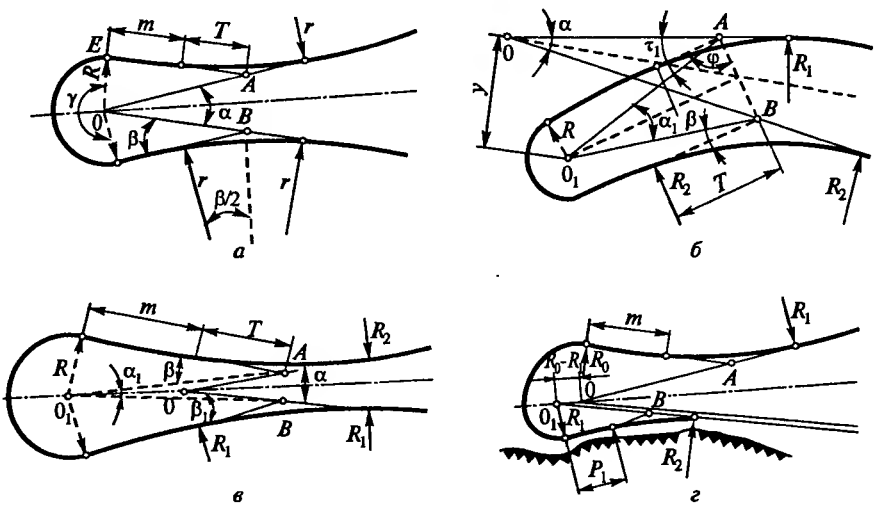
42.4. Проектирование серпантин

В ряде случаев место развития трассы на крутом косогоре оказывается ограниченным и приходится прокладывать зигзагообразную трассу. Вписывание кривых в образовавшиеся острые углы поворота становится невозможным, так как длина такой кривой оказывается несоизмеримо меньше, чем сумма тангенсов, и продольный уклон дороги на участке кривой оказывается значительно больше предельно допустимого. В таких случаях применяют кривые, описываемые с

Р и с. 42.12. Общий вид серпантины

внешней стороны угла поворота, называемые *серпантинами* (рис. 42.12).

Серпантина состоит из основной кривой, стягиваемой центральным углом γ, и обратных (вспомогательных) кривых. Между концами обратных кривых и основной кривой серпантины оставляют расстояние, достаточное для размещения переходных кривых, отгонов виражей и уширения проезжей части (рис. 42.13).



Р и с. 42.13. Серпантины:

а — первого рода; *б* — второго рода; *в* — первого рода со смещенным центром основной кривой; *г* — несимметричная первого рода

Расстояние между вершинами обратных кривых $A—B$ («шейка») серпантины при малой величине острого угла α определяют условиями размещения земляного полотна.

Проектирование серпантины состоит в установлении значений отдельных ее элементов и в проверке возможности размещения на местности земляного полотна.

Для расчета элементов серпантины при определении длины трассы (рис. 42.13, *а*) задают значения радиусов основной R и обратных r кривых, прямой вставки m и находят угол поворота обратных кривых β. Длина тангенса обратной кривой:

$$T = r \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}.$$

Расстояние от вершины угла обратной кривой до начала основной кривой $AE = T + m$.

Из треугольника AOE находим

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{R}{T+m} = \frac{R}{r \operatorname{tg}\frac{\beta}{2} + m}.$$

Из этого уравнения находим

$$\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{-m \pm \sqrt{m^2 - R(2r+R)}}{2r+R}.$$

Расстояние от вершины угла обратной кривой до вершины угла серпантины:

$$AO = \frac{T+m}{\cos\beta} = \frac{R}{\sin\beta}.$$

Центральный угол γ, стягивающий основную кривую серпантины:

$$\gamma = 360^\circ - 2(90^\circ - \beta) - \alpha = 180^\circ + 2\beta - \alpha.$$

Длина основной кривой серпантины:

$$K = \frac{\pi R \gamma}{180^\circ}.$$

Полная длина серпантины:

$$S = 2(K_o + m) + K,$$

где K_o — длина обратной кривой, м.

Этих данных достаточно для разбивки серпантины на местности. Серпантину, у которой обратные кривые расположены выпуклостями в обратные стороны, радиусы их равны, а длины вставок между ними одинаковы, называют *симметричной серпантинной первого рода* (см. рис. 42.13, *а*).

При проектировании серпантин основное внимание уделяют устойчивости земляного полотна, а также безопасным и комфортабельным условиям движения автотранспорта при условии обеспечения по возможности наименьших объемов строительных работ. Для размещения серпантин выбирают относительно пологие участки устойчивых склонов, стремясь обеспечивать для разбивки основной кривой возможно больший радиус. Очертания серпантины в плане стремятся приспосабливать к рельефу местности. Для этих целей нередко устраивают серпантины с обратными кривыми, обращенными выпуклостью в одну сторону. В этом случае получают *серпантины второго рода* со смещенным центром основной кривой (см. рис. 42.13, *б*), а также *несимметричные серпантины* (см. рис. 42.13, *в, г*) с разными радиусами основных и обратных кривых. Детальное проектирование серпантин ведут по крупномасштабным топографическим планам местности, располагая их в соответствии с конкретными особенностями рельефа. Наиболее рациональное расположение серпантин устанавливают на основе сравнения вариантов (рис. 42.14).

Геометрические элементы серпантин назначают в зависимости от расчетной скорости движения (табл. 42.2).

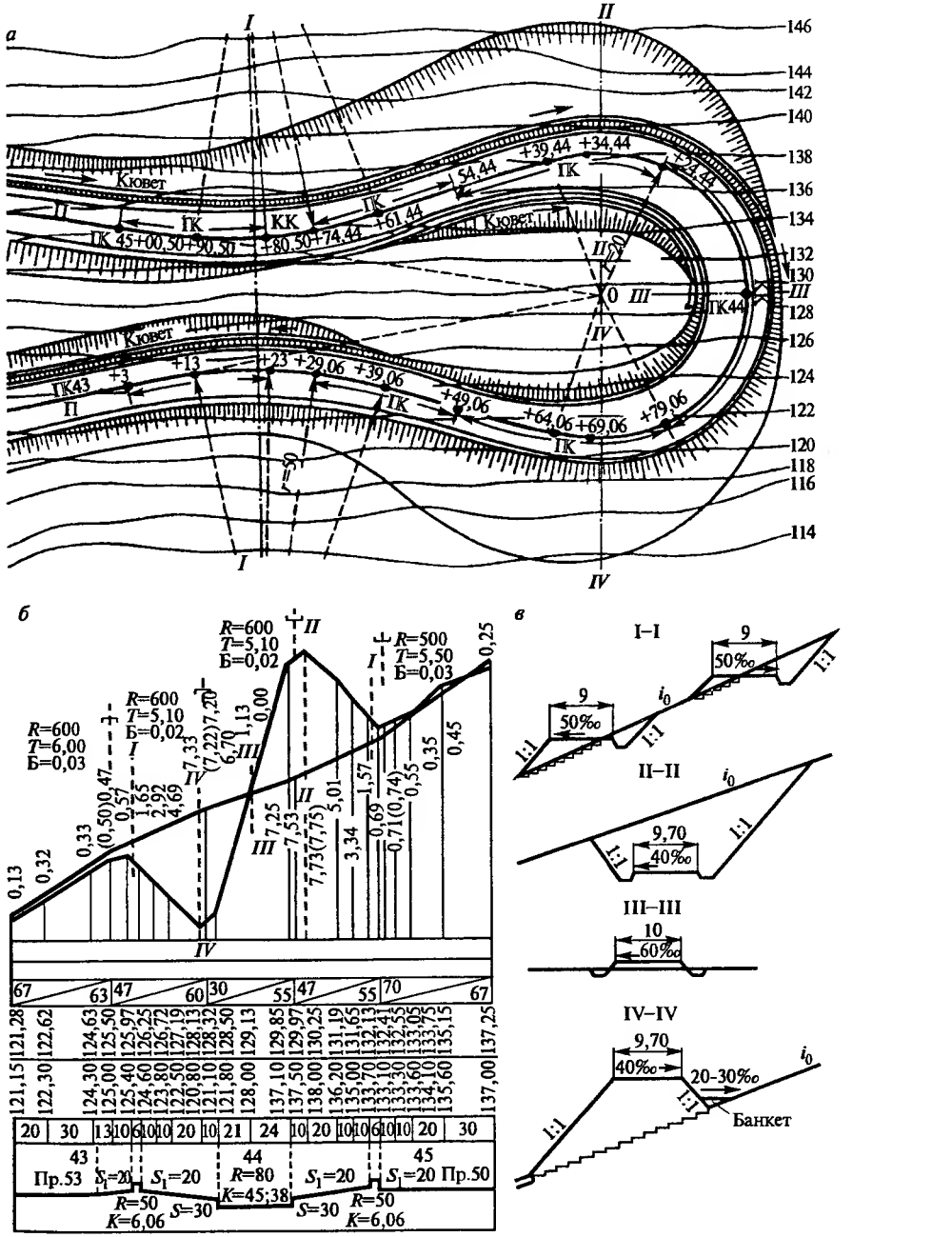
Таблица 42.2. **Значения элементов серпантин**

Элементы серпантины	Значения элементов серпантин при расчетной скорости движения, км/ч		
	30	20	15
Минимальный радиус основной кривой, м	30	20	15
Уклон виража, ‰	60	60	60
Длина переходной кривой, м	30	25	20
Уширение проезжей части, м	2,2	3,0	3,5
Наибольший продольный уклон, ‰	30	35	40

Расстояние между концом вспомогательной кривой одной серпантины и началом вспомогательной кривой соседней серпантины

Рис. 42.14. Проект серпантины:

а — план серпантины с решением системы поверхностного водоотвода; *б* — продольный профиль; *в* — поперечные профили в характерных местах; П — прямая; ПК — переходная кривая; КК — круговая кривая


а
I
II
III
IV
Кювет
ПК
ПК 45+00,50+90,50
+80,50+74,44
+61,44
+54,44
+39,44
+34,44
+24,44
ПК44
ПК43
+3
+13
+23
+29,06
+39,06
+49,06
+64,06
+69,06
+79,06
50
146
144
142
140
138
136
134
132
130
128
126
124
122
120
118
116
114
б
R=600
T=5,10
Б=0,02
R=600
T=6,00
Б=0,03
R=500
T=5,50
Б=0,03
0,13
0,32
0,33
(0,50)0,47
0,57
1,65
2,92
4,68
7,33
(7,22)7,20
6,70
1,13
0,00
7,25
7,53
7,73(7,75)
5,01
3,34
1,57
0,69
0,71(0,74)
0,55
0,35
0,45
0,25
67 63 47 60 30 55 47 55 70 67
121,28 122,62 124,63 125,50 125,97 126,25 126,72 127,19 128,13 128,32 128,50 129,13 129,85 129,97 130,25 131,19 131,65 132,13 132,41 133,05 133,75 135,15 137,25
121,15 122,30 124,30 125,00 125,40 124,60 123,80 122,50 120,80 121,10 121,80 128,00 137,10 137,50 138,00 136,20 135,00 133,70 133,10 133,60 134,10 135,60 137,00
20 30 13 10 6 10 10 20 10 21 24 10 20 10 10 6 10 10 20 30
43
Пр.53
S1=20
S1=20
44
R=80
K=45;38
S1=20
45
S1=20 Пр.50
R=50
K=6,06
S=30
S=30
R=50
K=6,06
в
I–I
9
50‰
i0
1:1
II–II
9,70
40‰
III–III
10
60‰
IV–IV
20-30‰
Банкет

должно быть возможно большим, но не меньше для дорог II и III категорий 400 м; для дорог IV категории — 300 м; для дорог V категории — 200 м. Однако даже в этом случае серпантины имеют невысокие транспортно-эксплуатационные качества вследствие низких скоростей движения и затрудненных условий движения автопоездов. Поэтому при изысканиях горных дорог всегда стремятся по возможности избегать устройства серпантин.

42.5. Поперечные профили горных дорог

Земляное полотно горных дорог на большей части их протяжения сооружают на косогорах. Для обеспечения устойчивости насыпи от сползания по косогору при поперечном уклоне местности более 1:5 после удаления дерна делают уступы шириной 1—4 м, которым придают поперечный уклон в низовую сторону 10—20‰ (рис. 42.15).

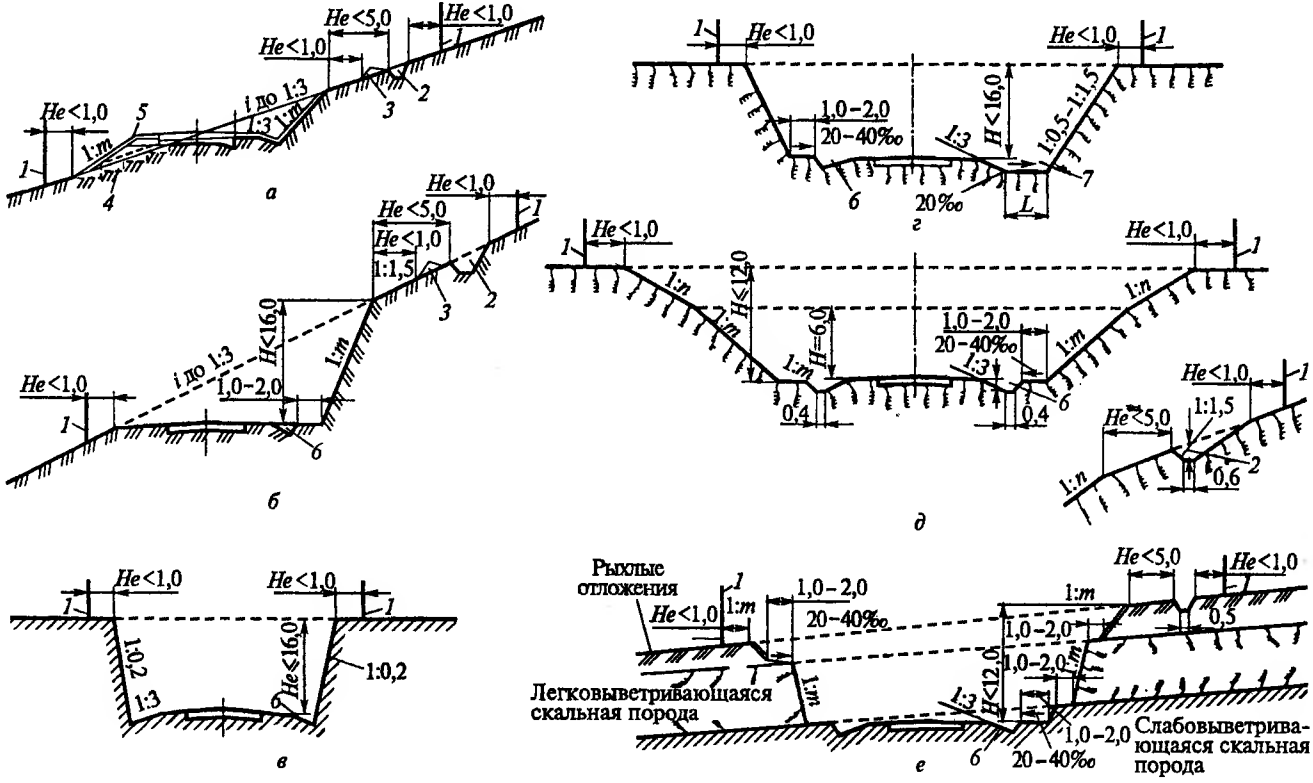
Откосам насыпей и выемок земляного полотна горных дорог придают заложения в соответствии с прочностью горных пород. В изверженных скальных породах откосы выемок назначают близкими к вертикальным. В осадочных породах допускаемая крутизна откоса зависит от направления и угла падения пластов. При изменении вида и строения пород по глубине крутизну откоса назначают переменной. При использовании типовых проектов земляного полотна крутизну откосов назначают в соответствии с табл. 42.3.

Если откосы обладают прочностью, обеспечивающей устойчивость при большой крутизне заложения, но подвержены выветриванию, у их подошвы устраивают закюветные полки шириной до 2,0 м, предназначенные для накапливания продуктов выветривания, которые периодически удаляются в процессе эксплуатации дороги.

Для назначения правильной величины заложения откосов выемок особое значение имеют данные инженерно-геологических изысканий и наблюдений за состоянием естественных обнажений и откосов на существующих дорогах, а также данные о предполагаемом способе производства работ в скальных породах.

Р и с. 42.15. Поперечные профили земляного полотна горных дорог в выемках:

а — полунасыпь-полувыемка; *б* — дорога в полке при слабых выветривающихся породах; *в* — выемка в прочных горных породах; *г* — выемка в слабых легковыветривающихся породах с треугольными канавами-резервами; *д, е* — выемка в горных породах разной прочности; *1* — граница полосы отвода; *2* — нагорная канава; *3* — банкет высотой не более 0,6 м; *4* — уступы для устойчивости насыпной части; *5* — укладываемый на откос растительный грунт; *6* — боковой лоток глубиной до 0,3 м; *7* — уширенный кювет-резерв


а
Не<1,0
Не<5,0
1:m
i до 1:3
1:3
1
2
3
4
5
б
Не<1,0
Не<5,0
1:1,5
H<16,0
i до 1:3
1,0–2,0
1:m
1
2
3
6
в
Не<1,0
1:0,2
1:3
H<16,0
1:0,2
г
1
Не<1,0
1,0–2,0
20–40‰
1:3
H<16,0
1:0,5–1:1,5
20‰
L
6
7
д
1
Не<1,0
1:n
1:m
H≤12,0
H=6,0
1,0–2,0
20–40‰
1:3
0,4
0,6
6
Не<5,0
1:1,5
2
е
Рыхлые отложения
Легковыветривающаяся скальная порода
Слабовыветривающаяся скальная порода
1
Не<1,0
1:m
1,0–2,0
20–40‰
H<12,0
1:3
Не<5,0
0,5
6

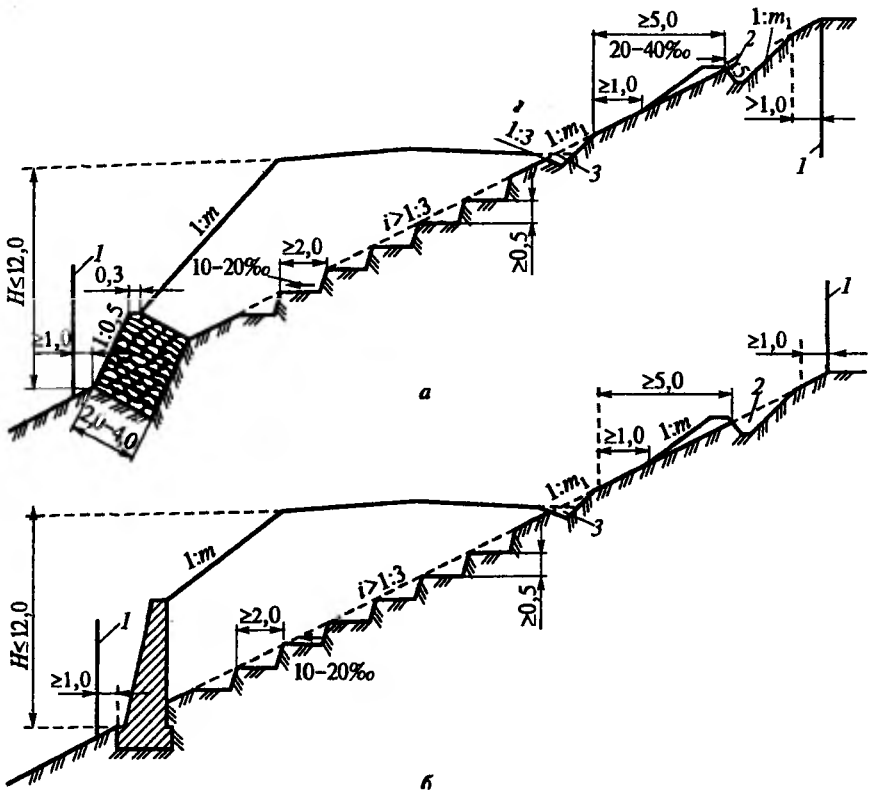
При разработке выемок взрывным способом ранее монолитная прочная скала на большом расстоянии от центра взрыва оказывается пронизанной густой сетью трещин, это способствует ее интенсивному выветриванию и осыпанию. В таких случаях в монолитных прочных породах коэффициенты заложения откосов выемок следует назначать как для трещиноватых выветривающихся пород.

Таблица 42.3. **Заложение откосов в горных породах**

Горные породы	Предельная высота откоса, м	Заложение откоса в горных породах	
		монолитные в выемке	разрушенные в насыпях
Слабовыветривающиеся, скальные, нетрещиноватые	Выемка 16	1:0,2	—
	Насыпь 6	—	1,1—1,3
	Насыпь 12:		
	нижние 6	—	1:1,5—1:3
	верхние 6	—	1,3—1,5
Легковыветривающиеся, неразмокающие, трещиноватые	Выемка 16	1:0,5—1:1,5	—
То же, подверженные размоканию	Выемка 6	1:1	—
	Выемка от 6 до 12	1:1,5	—
Крупнообломочные	Выемка 12	1:1—1:1,5	—
	Насыпь 12	—	1:1,5
Песчаные, глинистые	Выемка 12	1:1—1:1,5	—
	Насыпь 12:	—	1:1,5
	нижние 6	—	1:1,75—1:2
	верхние 6	—	1:1,5—1,1,75

Кюветы в скальных грунтах делают треугольного сечения с заложением внутреннего откоса 1:3. Глубину и ширину кюветов определяют гидравлическими расчетами.

При расположении дороги на косогоре в полувыемки-полунасыпи с поперечной компенсацией объемов работ теоретически обеспечивается минимум объемов земляных работ. Однако при возведении насыпной части земляного полотна теряются большие объемы грунта, скатывающиеся вниз по крутым склонам. Разделка склона ступенями не всегда обеспечивает необходимую устойчивость насыпной части земляного полотна. В результате неравномерных осадок в покрытии часто появляются продольные трещины, а в сейсмических районах при землетрясениях насыпная часть земляного полотна вообще может сползти вниз по склону. Поэтому в настоящее время при строительстве горных дорог отказываются от конструкции земляного



Р и с. 42.16. Поперечные профили насыпей на устойчивых косогорах круче 1:3:

а — с устройством каменного низового банкета; *б* — с подпорной стенкой; *1* — граница полосы отвода; *2* — нагорная канава; *3* — лоток глубиной 0,3—0,5 м

полотна по типу полувыемки-полунасыпи, а полностью размещают земляное полотно в открытой с одной стороны выемке — в полке. Поперечный профиль в полке, несмотря на некоторое увеличение объемов земляных работ, обеспечивает полную устойчивость земляного полотна дорог на горных склонах.

На крутых склонах при устройстве насыпей объемы земляных работ существенно возрастают, так как внешние откосы располагаются под небольшим углом к склону. Поэтому на косогорах с уклоном 1:3 и круче прибегают к устройству с низовой стороны капитальных подпорных стен или банкетов из сухой кладки (рис. 42.16).

Банкет сооружают из камней невыветривающихся пород размером до 0,4 м. Подпорные стенки делают из бутовой кладки, бетона или железобетона. Размеры их определяют расчетом.

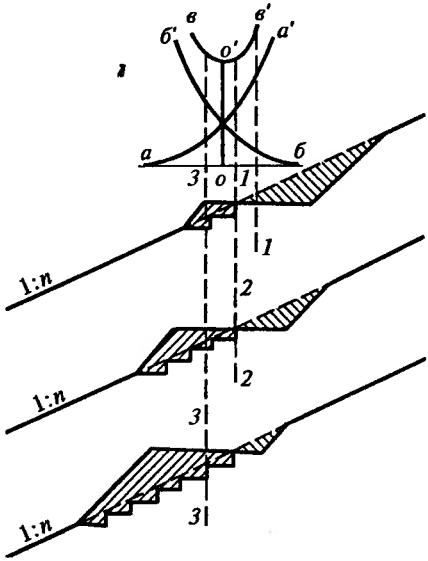
42.6. Продольный профиль горных дорог

В отличие от равнинных участков местности, где продольный профиль автомобильной дороги и величины рабочих отметок дают полное представление о конструкции земляного полотна, в горной местности при трассировании дороги по косогору рабочая отметка не характеризует конструкцию земляного полотна и объемы земляных работ. Это связано с тем, что при одной и той же величине рабочей отметки при различной крутизне косогора бровкам земляного полотна могут соответствовать выемки, насыпи и подпорные стенки. Из-за частых изменений рельефа склонов рабочие отметки земляного полотна существенно меняются даже на небольшом протяжении участка дороги. Поэтому при проектировании дорог в горной местности положение земляного полотна на косогоре контролируют таким образом, чтобы достигалось устойчивое положение земляного полотна, по возможности без устройства подпорных стен с преимущественным расположением его на полке.

При одной и той же отметке оси дороги в зависимости от положения ее по отношению к косогору стоимость земляного полотна, представляющего собой полувыемки-полунасыпи, существенно меняется. Можно найти такое положение оси дороги, при котором стоимость сооружения земляного полотна будет иметь наименьшее значение (рис. 42.17). Однако необходимость обеспечения устойчивости насыпной части полувыемки-полунасыпи часто вынуждает отдавать предпочтение при проектировании горных дорог расположению земляного полотна полностью на полке, особенно в сейсмических районах. Стараются также добиваться такого расположения проектной линии, при котором не требуется строительства на большом протяжении подпорных стен, что приводит к заметному увеличению стоимости строительства.

Поскольку поперечные уклоны местности могут существенно меняться на коротком протяжении, рациональное положение проектной линии продольного профиля находят после ряда попыток. На косогорных участках снимают полосу вдоль трассы, строят крупномасштабный топографический план и по нему в камеральных условиях окончательно уточняют положение дороги.

Нанося проектную линию горной дороги, все время проверяют получающееся положение земляного полотна на поперечных профилях местности, построенных в масштабе 1:100—1:200. При этом пользуются построенными в том же масштабе прозрачными шаблонами поперечных профилей земляного полотна на косогоре. Для учета раз-



Р и с. 42.17. Определение положения оси дороги на косогоре, при котором земляное полотно имеет наименьшую стоимость:

а-а' — стоимость выемки; *б-б'* — стоимость насыпной части земляного полотна; *в-в'* — суммарная стоимость земляных работ; *о-о'* — оптимальное положение оси дороги; *1, 2, 3* — положения оси дороги

личного геологического строения местности используют набор прозрачных шаблонов для поперечников с откосами различной крутизны. Наилучшее положение проектной линии находят подбором.

При проектировании с предельными продольными уклонами значения их уменьшают на кривых малых радиусов в плане, что связано с появлением дополнительных уклонов на виражах, с возрастанием сопротивления движению автомобилей вследствие бокового увода шин и ухудшением условий управления.

Кроме того, для автомобилей, следующих по внутренней полосе проезжей части, продольный уклон увеличивается в результате сокращения длины пути.

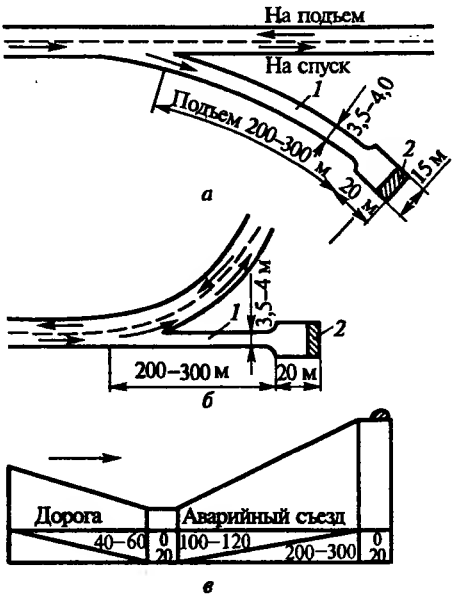
Размеры смягчения максимальных продольных уклонов принимают следующими:

Радиус кривой в плане, м	30	35	40	45	50
Необходимое снижение максимального уклона, ‰	30	25	20	15	10

Смягчение продольного уклона начинают за 5—10 м до начала кривой.

На пересечении глубоких горных долин и ушелий нередко рассматривают варианты пересечения эстакадой.

Действующими нормами проектирования на участках сложного рельефа при соответствующем технико-экономическом обоснова-



Р и с. 42.18. Схема аварийного съезда с горной дороги:

а — план на прямом участке; *б* — план на кривой; *в* — продольный профиль; *1* — аварийный съезд; *2* — песчаный вал

нии на прямых в плане участках трассы допускается увеличивать предельные продольные уклоны на 15—20‰, для того чтобы снизить объемы работ и стоимость строительства.

На затяжных подъемах при продольных уклонах более 60‰ необходимо предусматривать участки с уклонами до 20‰, из расчета размещения на них не менее 3—5 грузовых автомобилей, располагая эти участки через 1,5—2,5 км при высотах над уровнем моря 1000 м и через 1,1—1,5 км при высоте 4000 м.

На затяжных спусках горных дорог могут происходить дорожно-транспортные происшествия с тяжелыми последствиями, связанные с отказом тормозов автомобилей. В этих случаях, если позволяет рельеф местности, предусматривают противоаварийные (тормозные) съезды (рис. 42.18).

Автомобиль с отказавшими тормозами при движении на подъем по съезду, имеющему покрытие с большим коэффициентом сопротивления качению, постепенно снижает скорость. Противоаварийные съезды устраивают прежде всего на участках, где в конце затяж-

ных спусков расположены кривые малых радиусов в плане, а также на прямых участках спуска в среднем через 0,8—1,0 км.

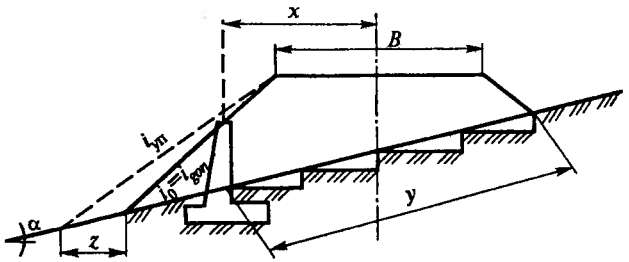
При проектировании продольного профиля решают вопросы поверхностного водоотвода — рассчитывают отверстия мостов и труб, проектируют нагорные и водоотводные канавы. Сечения их определяют гидравлическими расчетами. Предусматривают укрепление их откосов и дна от размывов, за исключением случаев, когда канавы проложены в скальных грунтах.

42.7. Проектирование оптимального земляного полотна на косогорах

Автомобильные дороги в горной местности на значительном своем протяжении проходят по косогорам. Строительная стоимость косогорных участков горных дорог весьма высока и в значительной степени зависит от конструкции поперечного профиля земляного полотна и от расположения оси дороги в плоскости поперечника. Строительная стоимость погонного метра дороги на косогоре должна быть минимальной при одновременном обязательном обеспечении условия устойчивости земляного полотна против сползания. Устойчивость земляного полотна на косогоре может быть обеспечена разными способами: изменением положения оси дороги относительно поверхности косогора, устройством низовых подпорных стенок или контрбанкетов, уположением низового откоса насыпи, снятием растительного слоя грунта, нарезкой на откосе ступеней и т.д. Конкретная конструкция земляного полотна может быть представлена в виде комбинации нескольких мероприятий по обеспечению устойчивости одновременно. Стоимость земляного полотна и эффективность мероприятий по обеспечению устойчивости земляного полотна на косогоре оказываются различными.

Таким образом, проблема проектирования земляного полотна на косогоре представляет собой технико-экономическую задачу оптимизации с использованием в качестве целевой функции строительной стоимости и комплекса технических ограничений, связанного с обеспечением устойчивости насыпи против сползания по косогору (рис. 42.19).

Задача проектирования оптимального земляного полотна горных дорог на косогорных участках местности была решена канд.техн.наук К.П. Дхакалом.



Р и с. 42.19. Расчетная схема поиска оптимальной конструкции земляного полотна на косогоре:

x — местоположение подпорной стенки; y — длина нарезки основания ступенями; z — величина уположения; B — ширина земляного полотна; i_0 — первоначальный уклон откоса; $i_{уп}$ — уклон уположенного откоса

Математическая формулировка задачи сводится к следующему:

$$\begin{cases} \psi(X,Y,Z) = \Delta C^x + \Delta C^y + \Delta C^z \Rightarrow \min, \\ \Delta K^x + \Delta K^y + \Delta K^z = \text{const}, \\ X \geq \dfrac{B}{2}, \\ Z \geq 0, \end{cases} \qquad (42.1)$$

где ΔC^x — приращение стоимости в результате устройства подпорной стены на расстоянии X от оси дороги относительно стоимости отправного решения C_0; ΔC^y — то же, в результате нарезки ступеней в основании на длине Y; ΔC^z — то же, в результате уположения откоса насыпи на величину Z; ΔK^x — приращение коэффициента устойчивости против сползания насыпи по косогору в результате устройства подпорной стены на расстоянии X от оси дороги относительно коэффициента устойчивости отправного решения K_0; ΔK^y — то же, в результате нарезки ступеней в основании на длине Y; ΔK^z — то же, в результате уположения откоса насыпи на величину Z.

Решение системы уравнений (42.1) упрощается в связи с тем, что переменные X и Y связаны между собой соотношением:

$$Y = \frac{X}{\cos\alpha} + C,$$

где X — местонахождение подпорной стены; Y — длина части поперечника склона, на которой производят нарезку основания ступенями; α — поперечный уклон косогора; C — константа.

Систему уравнений (42.1) решают, последовательно задаваясь величиной уположения откоса Z, и для каждого случая находят местоположение подпорной стены X, а также вычисляют значение целевой функции $\psi(X, Y, Z)$.

Из массива полученных значений переменных X, Y, Z устанавливают значения X^*, Y^*, Z^*, соответствующие минимуму целевой функции:

$$\psi(X, Y, Z) \Rightarrow \min.$$

Таким образом, определяют оптимальную конструкцию земляного полотна при фиксированной высоте бровки земляного полотна.

Расчет конструкции выемки земляного полотна представляет собой вариантное проектирование, в основе которого лежат два варианта конструкции: один — с устройством подпорной стены, второй — в виде обычной выемки без подпорной стены. Вариант с меньшей строительной стоимостью считают оптимальным. Это связано с тем, что в выемке нецелесообразно варьировать положением подпорной стены и она устраивается непосредственно у боковой канавы.

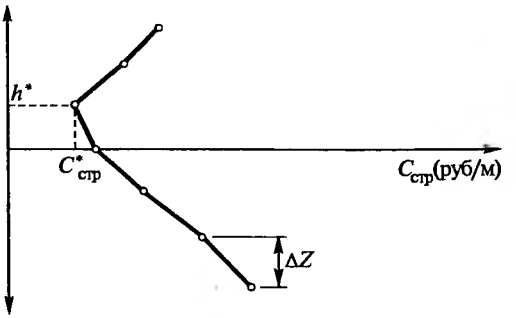
Поскольку ось земляного полотна на косогоре может быть расположена в разных точках поперечника, то с изменением местоположения оси относительно поверхности косогора меняются рабочая отметка и соответственно конструкция и строительная стоимость земляного полотна. Оптимальное положение оси земляного полотна на косогоре соответствует минимуму его строительной стоимости. Определение такого положения оси с выходом на оптимальную величину рабочей отметки возможно двумя способами:

перемещением оси в горизонтальном направлении при фиксированной отметке (геодезической высоте) бровки земляного полотна;

перемещением оси в вертикальном направлении при фиксированном положении ее в плане.

В связи с тем что в узкой зоне варьирования свойства грунта основания и поперечный уклон косогора можно считать неизменными, оптимальную рабочую отметку земляного полотна можно найти любым из двух перечисленных способов. Однако поскольку при перемещении оси трассы в горизонтальном направлении требуется перепроектирование плана трассы, иногда с необходимостью выполнения повторных изысканий, то поиск оптимальной рабочей отметки целесообразно производить перемещением оси в вертикальном направлении при фиксированном плане трассы (рис. 42.20).

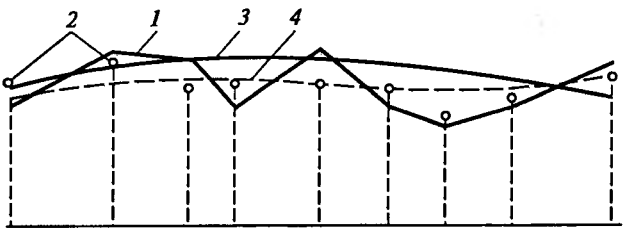
Шаг перемещения оси задают сообразно рельефу местности. К первой точке положения оси прибавляют шаг перемещения ΔZ и вычисляют строительную стоимость $C_{стр}$. Если строительная стои-



Р и с. 42.20. Определение оптимальной рабочей отметки перемещением оси земляного полотна в вертикальном направлении

мость уменьшилась, то вновь прибавляют шаг ΔZ и так до тех пор, пока строительная стоимость не начнет возрастать. Положение оси, соответствующее минимальному значению строительной стоимости, является оптимальным. Если в результате прибавления шага перемещения ΔZ к первой точке положения оси строительная стоимость увеличилась, перемещение осуществляют в противоположном направлении и т.д. При определении оптимальной рабочей отметки осуществляется автоматическое формирование конструкции земляного полотна: для насыпи; для выемки; для полувыемки-полунасыпи.

Новая технология проектирования оптимального продольного профиля горных дорог на косогорах с использованием модифицированного метода «граничных итераций» состоит в том, что строится ломаная, соединяющая оптимальные точки положения оси земляного полотна, получаемые изложенным выше способом. В отличие от метода «граничных итераций» (см. § 18.7), где отправным решением



Р и с. 42.21. Проектирование оптимального продольного профиля с использованием модифицированного метода «граничных итераций»:

1 — черный профиль; *2* — точки оси оптимального земляного полотна; *3* — проектная линия до оптимизации; *4* — окончательная проектная линия

является модель черного профиля с равным строительным шагом (20 м), при проектировании оптимального продольного профиля горных дорог на косогорах отправным проектным решением является ломаная, соединяющая оптимальные точки положения оси земляного полотна (рис. 42.21).

Как показало экспериментальное проектирование, использование математического аппарата оптимизации при проектировании продольного профиля горных дорог на косогорах позволяет снижать объемы строительных работ до 13—18%.

42.8. Тоннели

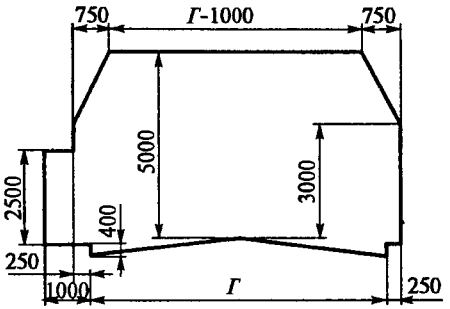
При пересечении коротких крутых выходов скальных пород, а также на высокогорных перевальных участках, подверженных снежным заносам и лавинам, с целью заметного сокращения длины перевального участка дороги вместо дальнейшего развития трассы по склонам нередко оказывается экономически целесообразным строительство тоннелей. При исключительно высокой стоимости строительства, многодельности и сложности строительства тоннельного варианта реализация последнего часто оказывается оправданной существенным улучшением условий последующей эксплуатации дороги. Обычно на перевальных участках рассматривают несколько разных вариантов тоннелей разной длины с различным их расположением по высоте.

Обычно тоннели, учитывая их высокую строительную стоимость и большие сроки строительства, проектируют для двух полос движения. На дорогах I категории строят тоннели для четырехполосного движения, а иногда и двухъярусные тоннели с двухполосным движением в каждом ярусе.

Автодорожные тоннели проектируют в соответствии с требованиями СНиП II-44—78.

При проектировании плана предпочтение отдают расположению автодорожных тоннелей на прямолинейных участках дорог. В случае необходимости радиусы кривых в плане для автодорожных тоннелей должны быть не менее 250 м и в исключительных случаях при технико-экономическом обосновании — не менее 150 м.

Наибольший уклон проектной линии продольного профиля допускается сохранять в тоннеле длиной менее 300 м. При длине тоннеля 300 м и более уклон в тоннеле не должен превышать значения наибольшего уклона для основных участков автомобильной дороги, умноженного на следующие коэффициенты при длине тоннеля: от 0,3



Р и с. 42.22. Габариты приближений конструкций автодорожных тоннелей

до 1 км — 0,9; свыше 1 до 3 км — 0,85; свыше 3 км — 0,8—0,75 (в зависимости от длины тоннеля).

Продольный профиль тоннелей длиной до 300 м проектируют односкатным, а длиной более 300 м — двускатным (в горном тоннеле — с подъемом его к середине) с уклонами не менее 3 и не более 40‰. При длине тоннеля до 500 м в трудных топографических и инженерно-геологических условиях допускается увеличение продольного уклона до 60‰.

Габарит приближений конструкций автодорожных тоннелей устанавливают в зависимости от категории дороги и принимают в соответствии с рис. 42.22 и табл. 42.4.

Т а б л и ц а 42.4. **Габариты приближения конструкций автодорожных тоннелей**

Категория автомобильной дороги	Число полос движения в тоннеле	Расстояние *Г* между бортовыми камнями, мм
I	4	16 000 + С
II	3	12 000
III	2	8 000
IV	2	7 000
V	2	7 000

П р и м е ч а н и я: 1. Расстояния *Г* между бортовыми камнями автомобильных дорог I категории при двух- и трехполосном движении указаны для каждого напрааления движения при раздельных тоннелях.

2. Расстояние *Г* между бортовыми камнями, указанное для тоннелей с четырехполосным движением, включает в себя ширину *С* разделительной полосы между разными направлениями движения, принимаемую не менее 1200 мм.

3. Размеры поперечного сечения тоннеля на кривых участках автомобильных дорог следует принимать с учетом уширения.

4. Тротуар шириной 1000 мм предназначен для служебного пешеходного движения, а также для использования в аварийных ситуациях.

Число полос движения в тоннелях на автомобильных дорогах I категории обосновывают путем сравнения технико-экономических показателей конкурирующих вариантов проектных решений. Тоннели на дорогах II—IV категорий проектируют для двух полос движения.

Тоннели должны быть защищены от проникания в них поверхностных и подземных вод. В них также предусматривают устройство лотков и труб для отвода воды к порталам и сброса ее за пределы тоннеля. Дно лотков и труб в пределах горизонтальной разделительной площадки должно иметь уклон не менее 3‰. При одностороннем продольном уклоне исключают попадание воды в тоннель из верховой портальной выемки.

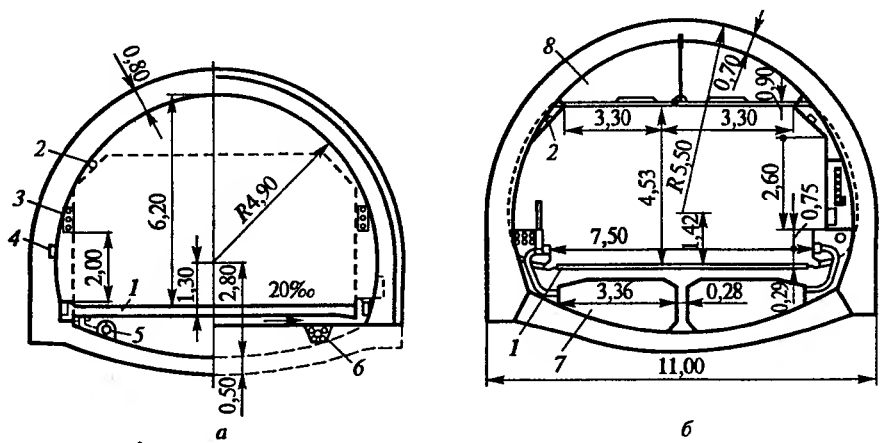
В районах с суровыми климатическими условиями предусматривают мероприятия по предотвращению замерзания воды в дренажных устройствах и образования наледей на проезжей части.

Проезжую часть автодорожных тоннелей проектируют с цементобетонным монолитным или сборным, а также с шероховатым асфальтобетонным осветленным покрытием.

На подходах к автодорожным тоннелям устанавливают дорожные знаки, регламентирующие режим движения транспортных средств.

Систему вентиляции транспортных тоннелей с естественным или механическим побуждением предусматривают в зависимости от длины тоннеля (рис. 42.23):

с естественным побуждением — при длине тоннеля менее 150 м;



Р и с. 42.23. Поперечный профиль тоннеля на автомобильной дороге:

а — с естественным побуждением; *б* — с механическим побуждением; *1* — покрытие; *2* — осветительные приборы; *3* — светофор; *4* — телефонный аппарат; *5* — водосток; *6* — дренаж; *7* — свежий воздух; *8* — загрязненный воздух

с естественным побуждением при обосновании расчетами — при длине тоннеля свыше 150 до 400 м;

с механическим побуждением — при длине тоннеля свыше 400 м.

Питание электроэнергией силовых и осветительных нагрузок предусматривают от энергетических систем или промышленных, коммунальных и других электростанций. При отсутствии вблизи тоннеля источников электроснабжения необходимой мощности при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается проектировать собственные электростанции, сооружаемые вблизи тоннеля.

В автодорожных тоннелях предусматривают общее электрическое стационарное освещение с обеспечением горизонтальной освещенности на уровне верха покрытия проезжей части не менее значений, приведенных в табл. 42.5.

Таблица 42.5. **Горизонтальная освещенность тоннелей, лк**

Режим освещения	Расстояние от въездного портала тоннеля с односторонним движением или от порталов со встречным движением, м					Расстояние от выездного портала тоннелей с односторонним движением, м				
	0	25	50	75	100 и более	100 и более	75	50	25	0
Дневной	750	600	400	200	30	30	100	150	250	400
Ночной	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

Примечание. Значения освещенности указаны на уровне верха покрытия проезжей части: при двух и трех полосах движения — по оси тоннеля; при четырех полосах движения и более — по оси проезда в каждом направлении.

В автодорожных тоннелях длиной более 1000 м устанавливают громкоговорители местного вещания, расстояния между которыми определяют расчетом. Оповещение ведется из помещения дежурного.

Порталы автодорожных тоннелей для регулирования движения оборудуют световыми сигналами, управляемыми дистанционно из помещения дежурного.

В автодорожных тоннелях протяженностью более 300 м предусматривают заградительную сигнализацию, предназначенную для включения устанавливаемых перед порталами светофоров, запрещающих въезд транспортных средств в случае создания аварийной

ситуации в тоннеле. Кнопки заградительной сигнализации располагают по длине тоннеля через 60 м возле телефонных аппаратов.

В автодорожных тоннелях длиной 300 м и более предусматривают телефонную связь с помещениями технического надзора. Телефонные аппараты устанавливают у обоих порталов, а также в тоннеле на расстоянии не более 150 м один от другого. Противопожарные средства предусматривают для тоннелей длиной более 300 м.

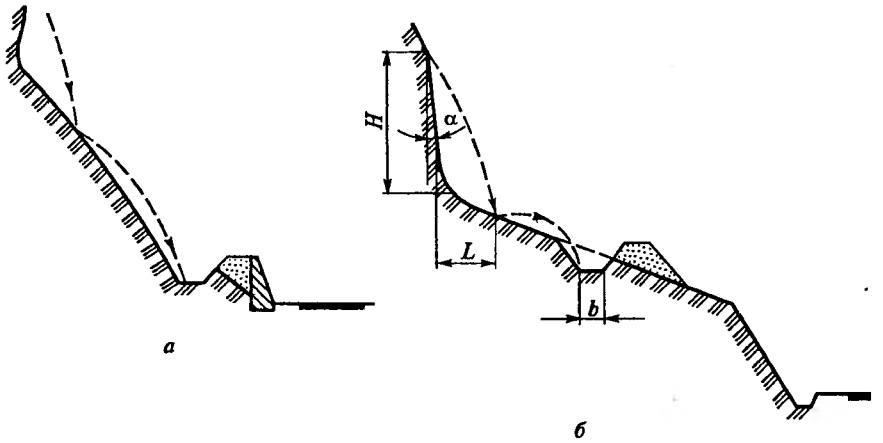
42.9. Трассирование горных дорог по участкам осыпей и камнепадов

При трассировании дорог по долинам горных рек нередко приходится пересекать *осыпи* — отложения мелкообломочных продуктов распада горных пород, подверженных выветриванию. Осыпи скапливаются у подошв крутых склонов в виде конусов, состоящих из природного щебня с небольшой примесью грунтовых частиц. В верхней части в зависимости от крупности частиц и их петрографического состава осыпи имеют крутизну до 40—45°, соответствующую углу естественного трения материала откоса в водонасыщенном состоянии. В нижней части осыпь обычно имеет более пологие откосы.

В зависимости от интенсивности поступления материалов выветривания различают осыпи действующие, затухающие и затухшие. Затухшие осыпи зарастают травой, кустарником и небольшими деревьями. Искусственная посадка их может служить средством борьбы с относительно слабо подвижными осыпями.

Материал осыпей, даже слабо подвижных, находится в состоянии неустойчивого равновесия. Подрезка нижней части осыпей откосами выемок, сейсмические толчки, перегрузка весом насыпей дорог нередко приводит к активизации осыпей. Относительно малоподвижные осыпи нередко используют для размещения в их нижней части невысоких насыпей дорог. Сползающие в реки шлейфы осыпей, сложенных из крупнообломочного материала с высокими коэффициентами фильтрации, можно пересекать дорогой. При пересечении действующих осыпей перед полотном дорог возводят улавливающие стенки для задержания осыпающихся обломков. Улавливающие стенки обычно устраивают из сухой кладки высотой 1,5—2 м, шириной 0,8—1 м поверху и глубиной заложения в естественный грунт не менее чем на 0,5 м.

При относительно небольшой интенсивности поступления материала осыпей улавливающие стенки периодически наращивают либо



Р и с. 42.24. Улавливающие валы и стенки:

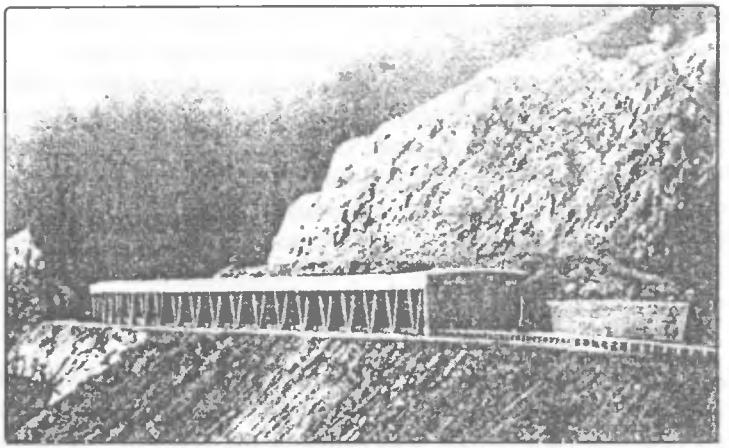
а — улавливающая стенка у бровки дороги; *б* — улавливающий ров с валом в пределах пологого участка косогора. Пунктиром показана траектория падения камней

устраивают выше по течению дополнительные стенки. На интенсивных осыпях, шлейф которых достигает берега реки, часто оказывается целеєообразным обходить их, перенося трассу на другой берег реки, для чего требуется строительство двух косых мостов. В редких случаях интенсивные осыпи проходят тоннелями.

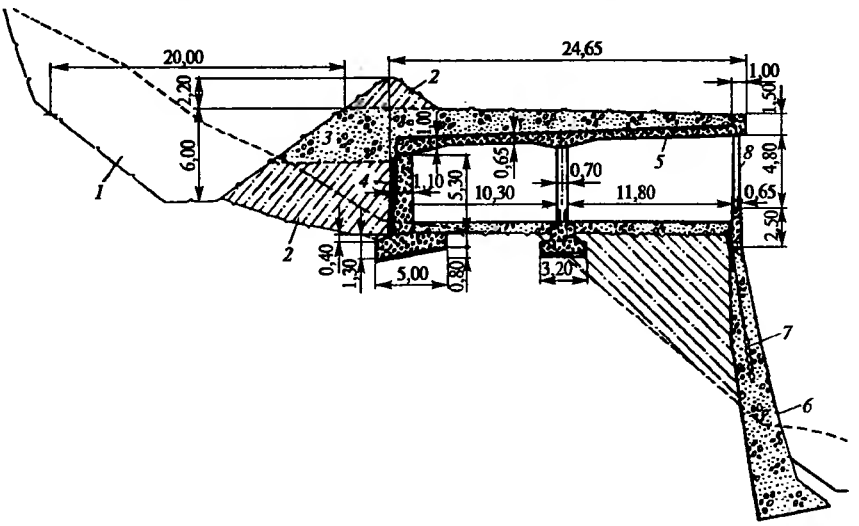
Материал осыпей обычно пригоден для возведения земляного полотна дорог, а в большинстве случаев и для сооружения дорожной одежды и приготовления цементобетона. В ряде случаев вместо устройства улавливающих стенок осыпь убирают вообще, используя материал ее для возведения земляного полотна прилегающих участков насыпей.

На некоторых участках горных дорог верховые склоны подвержены *камнепадам*, т.е. внезапным обрушениям обломков горных пород. Причиной камнепадов является чрезмерная крутизна естественных склонов, на которых не могут удерживаться обломки, потерявшие связь с основным горным массивом. Появление обвалов определяется: разрушением горных пород процессами выветривания; подрезкой склонов при возведении земляного полотна; трещиноватостью горных пород, вызванной как тектоническими воздействиями, так и в ходе земляных работ взрывными методами; расширением замерзающей воды в трещинах горных пород и т.д.

Участки возможных камнепадов всегда стремятся обходить. При невозможности этого обеспечивают в ходе эксплуатации автомо-



а



б

Р и с. 42.25. Защитные галереи на участках камнепада:

а — общий вид; *б* — поперечное сечение галереи: *1* — улавливающий ров; *2* — обычный грунт; *3* — гравийная смесь; *4* — дренажный слой; *5* — галерея из сборных железобетонных элементов; *6* — низовая подпорная стенка; *7* — анкер, закрепляющий продольную бетонную балку; *8* — металлическая стойка

бильной дороги текущий контроль за состоянием опасных склонов, вызывая в необходимых случаях искусственные обвалы.

На участках дорог с систематическим падением мелких камней на склонах вблизи дороги устраивают металлические решетчатые щиты, а для защиты от падения крупных камней устраивают улавливающие рвы с валом или камнеулавливающие стенки (рис. 42.24).

На дорогах высоких категорий с интенсивным движением в ряде случаев строят защитные галереи (рис. 42.25).

42.10. Пересечение селевых конусов выноса

Большие массы разрушенных рыхлых горных пород, накапливающиеся на крутых склонах и на дне ущелий, при интенсивных ливнях или при прорыве расположенных выше плотин искусственных водоемов или ледниковых озер могут образовывать кратковременные грязевые или грязекаменные потоки, называемые *селями*. Селевые потоки — это смесь воды, грунта и камней с общей плотностью 1,2—1,9 т/м^3, стекающая по логам, долинам и руслам рек со скоростью до 5—6 м/с. У выхода из лога, где уклон уменьшается, сель растекается, скорость его резко падает и из него выпадают наносы, образуя конус выноса. Селевые потоки, обладающие огромной разрушительной силой, возникают внезапно, действуют в течение весьма короткого времени, не превышающего нескольких часов, но общий объем грязекаменных материалов, смываемых за один сель, может достигать нескольких десятков тысяч кубических метров с 1 км^2 водосборной площади. Размер переносимых селем валунов порой достигает 1—1,5 м в поперечнике.

Защита от селей является трудной проблемой, для решения которой приходится возводить сложные, дорогостоящие инженерные сооружения.

При проектировании дорог чаще всего приходится иметь дело с относительно небольшими селевыми потоками, возникающими около устьев сравнительно коротких ущелий с крутыми склонами и значительными уклонами, впадающими в долины рек, вдоль которых трассируются дороги. Отложения в виде постепенно нарастающих конусов выноса образуются при растекании грязекаменного потока по долине, где после выхода из ущелья уклоны уменьшаются, а скорости течения значительно падают.

В зависимости от относительного количества воды, содержащейся в селевом потоке, последний движется или как однородная вязкая масса (грязевые или грязекаменные потоки), или как турбулентный бурный поток, влекущий с собой твердые материалы, содержание

которых может достигать 20—40% общего объема (водокаменные потоки).

В селевом потоке относительно мелкие камни перемещаются во взвешенном состоянии, а более крупные — перекатыванием по дну или короткими скачками. При этом камни в селе могут задерживаться выступами дна и бортов тальвега, вследствие чего создаются временные заторы, после прорыва которых сель с еще большей скоростью движется вниз по дну. Ориентировочно можно считать, что размеры влекомых камней в селевом потоке прямо пропорциональны квадрату скорости, а общая масса твердой фазы потока пропорциональна скорости в шестой степени.

Скорость селевого потока можно определить по формуле

$$v = kh_{ср}^{2/3} i^{1/2},$$

где $h_{ср}$ — средняя глубина потока, м; i — уклон лога; k — коэффициент, зависящий от средней крупности наносов селевого потока D:

D, см	19	17	15	13	12	10
k	10	20	50	100	200	500

Приближенно можно считать, что скорость (м/с) селевого потока составляет

$$v = 5\sqrt{D}.$$

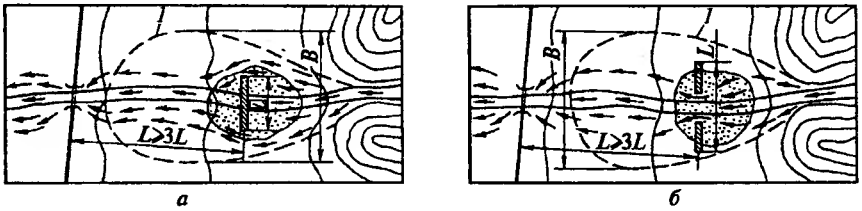
Установив уровень селевого потока и его скорость, легко определяют селевой расход.

Проф. Е.В. Болдаков рекомендовал для определения максимального расхода селевого потока Q (м^3/с) и объема выноса W (тыс. м^3) упрощенные формулы СоюздорНИИ:

$$Q = \psi(Kh)^m F^n k,$$

$$W = KhF\gamma_{ос},$$

где K — коэффициент увеличения слоя стока за счет включения в поток камня и грунта. Для грязекаменных потоков $K = 1{,}7$, для водокаменных $K = 1{,}2$; h — слой стока; ψ — морфологический коэффициент, зависящий от уклона; F — площадь водосбора; k — коэффициент гидравлической шероховатости лога. Значения коэффициента k принимают для грязекаменных потоков равным 10, для водокаменных 5; m и n — показатели степени; $\gamma_{ос}$ — коэффициент неравномерности осадков.



а *б*

Р и с. 42.26. Наносозадерживающие дамбы:

а — сплошные; *б* — прерывистые; *1* — граница конуса выноса

Селевые потоки всегда стремятся пересекать в пределах транзитного, устойчивого русла. Обычно селевой поток перекрывают одним пролетом моста с возвышением низа пролетного строения над уровнем высоких вод не менее 1 м.

Если долина реки, в которую впадает селевой поток, имеет достаточную ширину, возможно проложение трассы дорог вдоль русла реки за пределами конуса выноса. При вынужденном пересечении селевого потока по конусу выноса трассу прокладывают по возможности по низовой его части за пределами зоны отложения крупных камней, однако с перекрытием мостом блуждающего русла. Мосты проектируют на столбчатых опорах из свай-оболочек большого диаметра, условия работы которых мало меняются при резком изменении направления русла.

Отверстия мостов в связи с неустойчивостью русла приходится назначать бóльшими, чем это требуется по гидравлическому расчету, поскольку, как показывает опыт, отверстия малых мостов и труб на селевых выносах быстро забиваются наносами.

Если дорога строится на конусе выноса или между конусом выноса и рекой, в которую впадает селевой поток, с верховой стороны иногда устраивают наносозадерживающие дамбы (сплошные или прерывистые), которые, замедляя движение селевого потока, вызывают отложение наносов (рис. 42.26).

Сплошные дамбы устраивают при ширине русла селевого потока, превышающей 100 м. Необходимая длина дамбы L определяется шириной русла селевого потока B, относительной крупностью наносов $D_{ср}/B$ и необходимой долей объема наносов, задерживаемой дамбой k:

$$L = \beta B, \qquad (42.2)$$

где β — коэффициент стеснения русла дамбой, назначаемый в зависимости от предусматриваемой доли наносов, задерживаемых дамбой:

Задерживаемые наносы k, %	100	75	50
Коэффициент стеснения β	0,55—0,65	0,40—0,45	0,30—0,35

Большие величины коэффициента стеснения русла относятся к случаям, когда $D_{ср}/B > 0{,}01$. Дамбу располагают от дороги на расстоянии не менее тройной ее длины. Прерывистые дамбы применяют при ширине русла до 100 м. Общую их длину определяют по формуле (42.2), а отверстие рассчитывают на пропуск расхода расчетной вероятности превышения. В поперечном профиле дамбе придают трапецеидальное очертание с шириной поверху 0,5—2 м в зависимости от интенсивности селевого потока и крупности переносимых наносов.

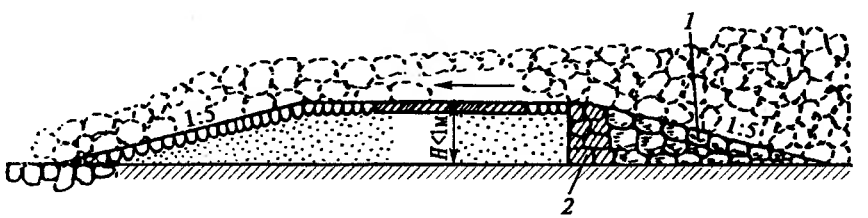
При пересечении селевых потоков дорогами низших категорий при малой интенсивности движения транспорта допускается пропуск селевого потока через дорогу по лотку, устраиваемому в уровне проезжей части (рис. 42.27).

На дорогах с большой интенсивностью движения при пересечении сравнительно небольших селевых потоков с расходами не более 20 м^3/с при крупности камней по объему не более 0,3—0,4 м^3, подходящих к дороге с большими уклонами, проектируют селедуки, пропускающие селевые потоки над дорогой (рис. 42.28).

Ширину лотка селеспуска принимают равной 4—6 м, а высоту боковых стенок 3—4 м.

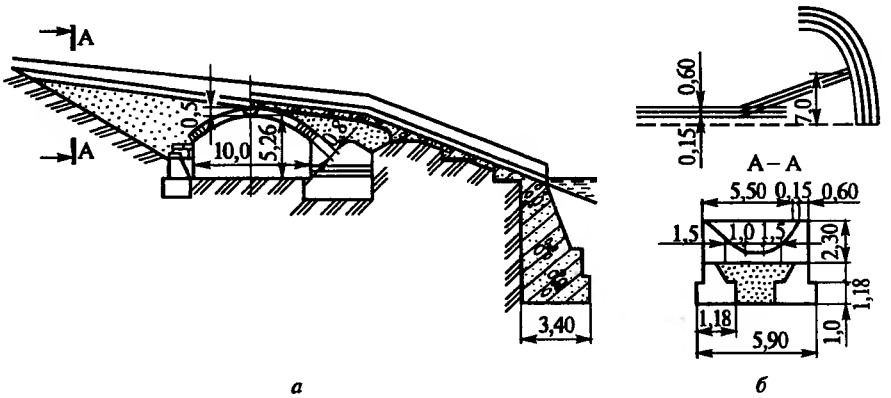
Опыт эксплуатации селедуков показывает, что они хорошо работают лишь при обязательном соблюдении ряда условий: при тщательном сопряжении лотка в верхнем бьефе с дном лога без уменьшения существующего продольного уклона; при наличии дамб, плавно направляющих селевой поток на селедук; при условии, что направляющие стенки не имеют крутых изгибов в плане с углами по отношению к оси потока более 10—15°.

По согласованию с местными организациями, в проектах целесообразно предусматривать комплекс мероприятий по предупреждению образования селей. Для прекращения эрозии склонов необходи-



Р и с. 42.27. Устройство для перепуска через дорогу для селя:

1 — каменная наброска; *2* — стенка из сухой кладки



Р и с. 42.28. Конструкция селедука:

а — общая схема; *б* — план концевого участка

мо запрещать вырубку лесов и уничтожение кустарников, вводить грамотную технологию обработки почвы, осуществлять посадку деревьев и кустарников, террасировать склоны, предусматривать продуманную систему поверхностного водоотвода. Для уменьшения разрушительной энергии селевых потоков и задержания наносов в русле селевого водотока предусматривают систему специальных запруд (барражей) в виде массивных бетонных и каменных стен высотой 2—5 м. Барражи размещают вдоль тальвега с таким расчетом, чтобы уклон линии, соединяющей подошву верхнего барража и верх нижнего, был не более 60—80‰. Для пропуска ливневых и талых вод в нижней части запруд предусматривают отверстия.

42.11. Проектирование дорог на оползневых склонах

Оползнями называют участки земной поверхности, на которых из-за неустойчивого положения земляных масс происходит их смещение и движение под действием силы тяжести по некоторой поверхности скольжения.

Оползни имеют большое распространение на территории России: в Поволжье, на Черноморском побережье Кавказа, в Пермском крае и т.д. Оползни, захватывающие значительные площади, наносят большие экономические потери многим отраслям хозяйства, в том числе и дорожной отрасли. Дорожным организациям обычно приходится сталкиваться с оползнями относительно небольшой площади, проявляющими себя в основном в пределах придорожной полосы.

Успешная борьба с оползневыми явлениями весьма непростая задача, требующая к тому же значительных капитальных вложений. Эта задача может быть решена только на основе детального изучения всех причин, вызывающих появление оползней, и в результате правильного выбора инженерных мероприятий по закреплению подвижных склонов.

Главной причиной оползней является несоответствие крутизны склона или образующих его напластований прочностным свойствам или состоянию слагающих его пород. Оползневый процесс может активизироваться в результате воздействия грунтовых или поверхностных вод, уменьшающих сопротивление грунтов сдвигу по поверхности скольжения и увеличивающих общий вес подверженного оползанию массива.

Строительство дорог по недостаточно продуманным проектам может заметно активизировать оползневые процессы в результате: подрезки склонов при устройстве выемок, при разработке карьеров, дополнительной пригрузке склонов весом насыпей, при застоях воды в сооружениях поверхностного дорожного водоотвода.

В зависимости от геологического строения склона влияние проникающей влаги на оползневые процессы может происходить по-разному:

образование сплывов, когда верхние однородные глинистые водонасыщенные слои стекают как вязкая масса;

обрушение больших грунтовых однородных массивов вследствие увеличения их веса в результате влагонасыщения по образующимся поверхностям скольжения;

оползание грунтовых массивов по фиксированным наклонным водонепроницаемым поверхностям скольжения, когда просачивающаяся вода, насыщая нижние слои, вызывает потерю сцепления в глинистых грунтах;

оползни, возникающие на крутых берегах рек и морей в результате их подмыва текущей водой и при волнобое.

Для типовых оползней выделяют следующие элементы (рис. 42.29):

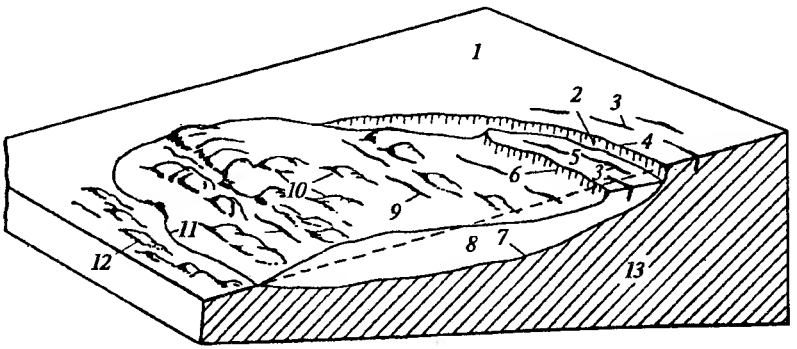
поверхность скольжения — поверхность, по которой происходит смещение грунтового массива (тела оползня);

главный уступ (*стенка срыва*) — крутая поверхность, оконтуривающая оползневый цирк;

тело оползня — оползневый массив;

подошва оползня — линия выхода поверхности скольжения внизу.

Коэффициент устойчивости оползневых массивов не остается постоянным во времени и существенно меняется как в течение одно-



Р и с. 42.29. Схема строения оползня:

1 — оползневый цирк; *2* — главный уступ (стенка срыва); *3* — трещины разрыва; *4* — бровка срыва; *5* — вершина оползня; *6* — внутренний уступ; *7* — поверхность скольжения; *8* — тело оползня; *9* — трещины вспучивания; *10* — неровности рельефа поверхности оползня; *11* — подошва оползня; *12* — деформация основания оползня; *13* — коренной массив

го года, так и ряда лет, что связано с периодами увлажнения и просыхания грунта, изменяющими общий вес грунтовых массивов и сопротивление сдвигу.

Как показывают многочисленные наблюдения, оползни повторяются периодически. После очередной подвижки оползня и занятия грунтовым массивом нового устойчивого положения, на несколько лет наступает период относительной стабильности, но в очередной период повышенного увлажнения местности (многоводный период) в результате существенного снижения коэффициента устойчивости происходит очередная подвижка оползневого склона, а затем наступает очередной период затухания оползневого процесса. Продолжительность оползневого цикла в разных регионах составляет от 5 до 20 лет, что связано, по-видимому, с ходом солнечной активности (5—6-летний, 11-летний, 22-летний циклы солнечной активности и т.д.) и соответствующей сменой засушливых периодов и периодов интенсивного выпадения атмосферных осадков. Поэтому на геологическом разрезе оползня всегда можно обнаружить следы нескольких последовательных подвижек оползневого массива.

Типичными внешними признаками оползневых склонов являются такие, как:

характерный рельеф местности со следами прошлых подвижек (с оползневыми чашами-цирками);

выходы грунтовых вод на косогорах, сложенных глинистыми и мергелистыми напластованиями;

бесформенная поверхность склона с наклонными в разные стороны деревьями и кустарником («пьяный лес»);

застой воды во впадинах;

широкие, протяженные и глубокие трещины вдоль склона косогора.

Рациональное положение трассы дорог на оползневых склонах выбирают после детального их обследования:

изучения зоны распространения оползневых явлений;

изучения инженерно-геологического строения оползневых склонов;

изучения особенностей поверхностного и подземного стока.

При выполнении изысканий дорог в районах с распространенными оползневыми явлениями всегда целесообразно выполнять аэрокосмические съемки, а при инженерно-геологических изысканиях широко привлекать арсенал геофизических методов обследования местности.

На основе собранных в ходе изысканий материалов устанавливают причины возникновения оползневых явлений, намечают инженерные мероприятия по устранению причин возникновения оползней, оценивают устойчивость оползневых склонов и намечают варианты рационального размещения трассы дороги на местности.

В большинстве случаев, когда это возможно, наиболее целесообразным оказывается обход оползневых склонов с верховой стороны. При проектировании дорог на оползневых склонах учитывают дополнительные нагрузки на склон от земляного полотна и транспортных потоков, которые могут активизировать оползневые процессы. При вынужденном прохождении по оползневому склону трассу размещают, по возможности, в нижней его части.

Главная идея проектирования мероприятий по повышению устойчивости оползневых склонов, по которым проходит дорога, сводится к устранению основных причин, провоцирующих активизацию оползневых процессов и в первую очередь предотвращение проникновения воды в грунтовую толщу. К мерам предупредительного характера относятся:

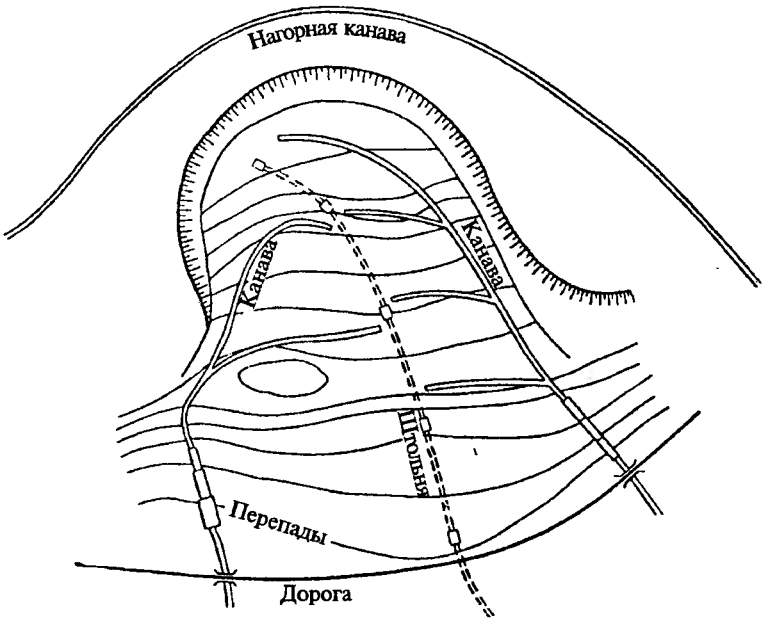
организация продуманной системы водоотвода;

охрана насаждений;

соблюдение необходимых агротехнических правил;

запрещение строительных работ, нарушающих устойчивость склонов.

Общими противооползневыми мероприятиями при дорожном строительстве являются:

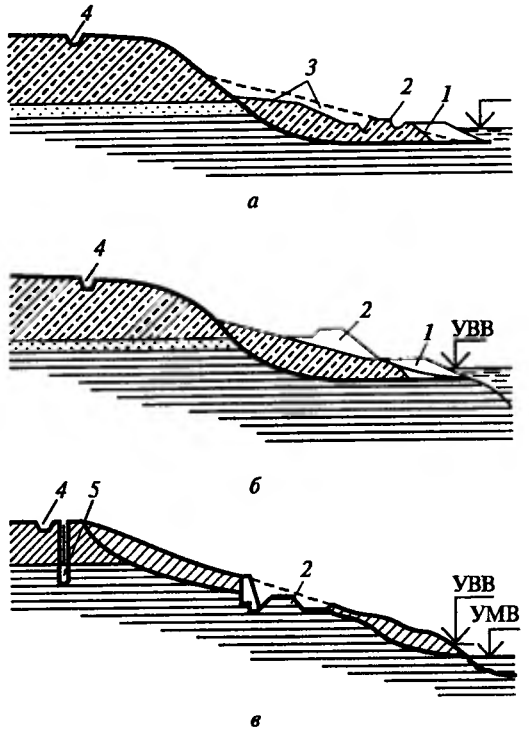


Р и с. 42.30. Поверхностный и подземный водоотводы на оползне

устройство системы поверхностного водоотвода как на площади самого оползня, так и обязательно выше и ниже его. Поверхностный водоотвод заключается в перехвате воды, поступающей с вышележащего склона нагорной канавой или рядами водоотводных канав с укрепленным водонепроницаемым дном и стенками. Воду отводят в ближайшие водотоки. В необходимых случаях осуществляют планировку поверхности оползня для устранения впадин, где может задерживаться вода (рис. 42.30);

устройство дренажей для перехвата и отвода подземных вод, движущихся в толще оползневого массива (см. рис. 42.30). В зависимости от глубины залегания водоносных горизонтов устраивают как открытые дренажи (прорези), так и закрытые (штольни), перехватывающие воду из водоносных пластов и выводящие ее за пределы оползня;

устройство в подошве оползня удерживающих сооружений: подпорных стен, контрбанкетов и дренажных контрфорсов (каменных упоров) (рис. 42.31). Дренажные контрфорсы, удерживая ползущий откос, так же как подпорная стена и контрбанкет, одновременно дренируют оползневый массив грунта;



Р и с. 42.31. Мероприятия для повышения устойчивости оползающего массива:

а — уполаживание склона; *б* — устройство контрбанкета; *в* — сооружение подпорной стенки; *1* — контрбанкет; *2* — дорога; *3* — частичная срезка для разгрузки склона; *4* — нагорная канава; *5* — перехватывающий дренаж

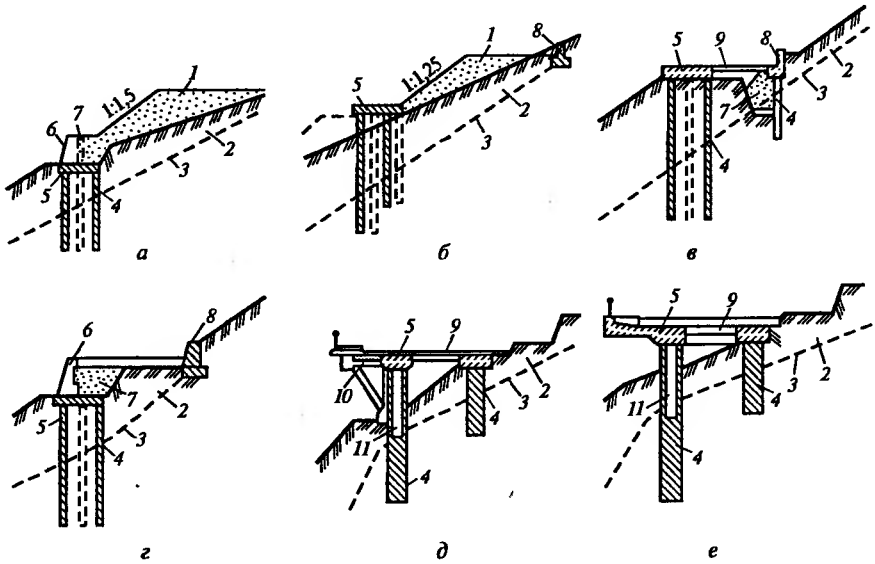
разгрузка оползневого склона путем частичной срезки грунта в пределах активной части оползня с перемещением его в нижнюю пассивную зону (см. рис. 42.31, *а*);

укрепление ползущих откосов берегов рек и морей от размыва и волнобоя;

повышение сцепления оползневого массива с поверхностью скольжения инъектированием вяжущих материалов или электрохимическим способом;

сооружение анкерных удерживающих сооружений из забивных железобетонных, буронабивных свай или буровых свай из свай-оболочек большого диаметра (рис. 42.32).

Устройство анкерных свайных сооружений позволяет закреплять оползни мощностью до 15—18 м. Ряды свай располагают поперек оползающего массива грунта. В зависимости от давления устраивают



Р и с. 42.32. Схемы закрепления земляного полотна бетонными сваями на оползневом склоне:

а — насыпь с низовой подпорной стенкой на свайном ростверке; *б* — насыпь с опорным свайным ростверком у подошвы; *в, г* — дорога на полке со свайным ростверком, соединенным горизонтальной анкерной тягой с верховой подпорной стенкой; *д, е* — противооползневые конструкции в виде балконов и эстакад; *1* — насыпь; *2* — оползающий массив грунта; *3* — поверхность скольжения; *4* — буронабивные железобетонные сваи; *5* — железобетонный ростверк; *6* — низовая подпорная стенка; *7* — дренаж; *8* — верховая подпорная стенка; *9* — анкерная тяга; *10* — железобетонный балкон; *11* — сваи-заполнители

два ряда свай и более, размещая их по сетке квадратов или в шахматном порядке. Расстояния между рядами свай и отдельными сваями в ряду определяются расчетом в зависимости от типа грунта из условия недопущения прорезания грунта в межсвайном пространстве.

Основной особенностью мероприятий по закреплению оползней является их комплексный характер, требующий одновременного их выполнения. Выборочное выполнение отдельных мероприятий обычно не дает ожидаемого эффекта.

42.12. Защита дорог от снежных лавин

В горных районах, где выпадает и накапливается много снега, частым и опасным явлением являются лавины, которые сильно влияют на безопасность движения и условия эксплуатации горных дорог в зимнее время. Поэтому при проектировании автомобильных дорог в

горной местности приходится учитывать это опасное природное явление.

Лавиной (*снежным обвалом*) называют падение больших масс снега, соскальзывающих с горных склонов. В России с лавинами дорожникам часто приходится встречаться на Кавказе, Тянь-Шане, Памире, Алтае и в Хибинах.

Лавины, скорость схода которых может достигать 30 м/с, обладают огромной разрушительной силой и могут повреждать и разрушать дорожные сооружения, встречающиеся на их пути, а образуемые ими снежные завалы — надолго прерывать движение транспорта по дорогам.

На горных склонах накапливающийся снежный покров всегда имеет слоистую структуру. Слои снега различной плотности часто разделяются корками твердого обледенелого снега, образующимися в результате смерзания снега при сильном ветре. В течение зимы в снежном покрове происходит перекристаллизация, в результате которой верхние слои уплотняются, а в нижних создается рыхлая прослойка из ледяных кристаллов, обладающая малым сопротивлением сдвигу.

По мере роста толщины снежного покрова и образования в нем ослабленных прослоек устойчивость снега на склонах уменьшается и при достижении некоторого критического равновесия оказывается достаточным самого незначительного воздействия (падения снежного козырька, порыва ветра, выстрела, громкой речи и т.д.), чтобы произошло обрушение больших масс снега.

Различают сухие и мокрые лавины. Сухие лавины образуются в периоды морозов и при их сходе сухой снег сильно распыляется, образуя снежное облако, движущееся вниз с большой скоростью.

Мокрые лавины образуются весной или во время сильных оттепелей. При этом нижние слои снега пропитываются водой, их сцепление с поверхностью земли или плотной снеговой прослойкой уменьшается и снежная масса сходит вниз, увлекая с собой камни и деревья, сломанные при движении.

Участки местности, по которым происходит сход снежных лавин, обычно характеризуются крутыми логами и тальвегами, имеющими в верховьях впадину — снегосборный бассейн, в котором происходит накопление больших масс снега. Пришедший в движение снег скользит по сравнительно узкому лавинному руслу — лотку.

По характеру движения снежных масс различают три типа лавин:

осовы (снежные оползни) — это соскальзывание снега с некоторого участка склона вне явно выраженного русла. Накапливанию и сползанию снега на таком склоне способствуют травяной покров и

южная экспозиция склона. Объем масс снега таких лавин обычно меньше, чем для других их типов;

лотковые лавины — это сход больших масс снега со снегосборного бассейна сначала по относительно узким лавинным руслам — логам с образованием у подошвы косогора снежного завала (конуса выноса);

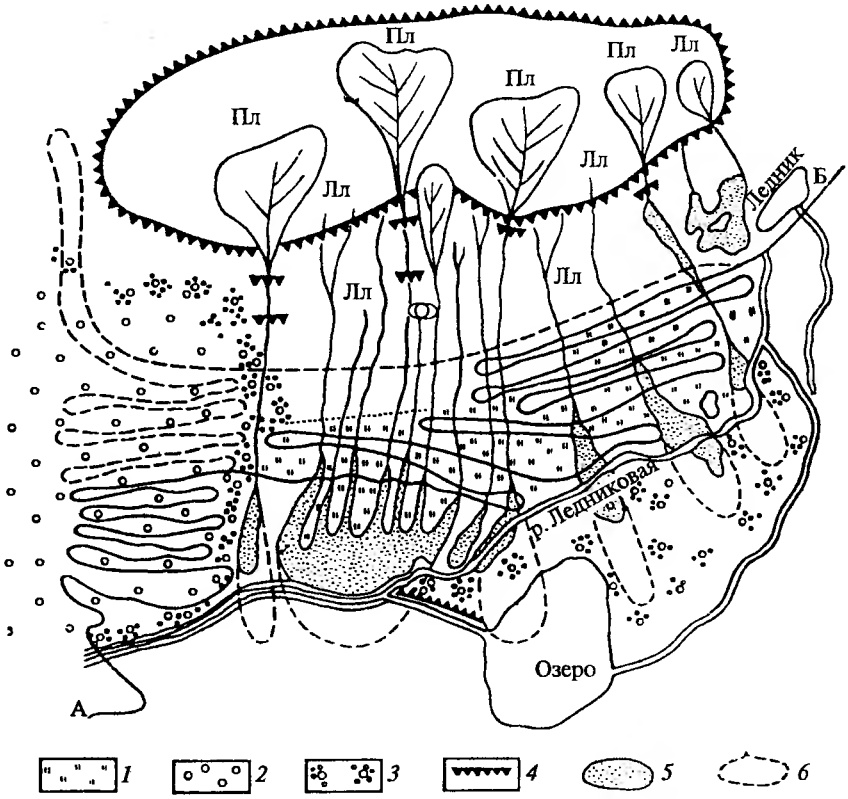
прыгающие лавины — это смещение масс снега по узким лавинным руслам, заканчивающимся крутым уступом, с которого лавина падает (прыгает) на дно долины.

Снежные завалы на дорогах, образующиеся в результате схода лавин, угрожают безопасности движения и нередко зимой надолго прерывают движение, поскольку уборка больших масс плотного снега требует значительных затрат средств и времени. Поэтому при изысканиях горных дорог всегда особое внимание уделяют выявлению участков возможного схода лавин на основе изучения картографических материалов, данных аэрокосмических съемок, непосредственных обследований местности, а также по результатам опроса местных жителей. При этом учитывают, что на крутых склонах с уклонами более 60° накоплений больших масс снега обычно не происходит, а наиболее лавиноопасными являются склоны с крутизной 25—45°.

Снежные лавины оставляют на местности характерные следы, по которым можно судить об их мощности и частоте схода. При частом сходе лавин лавинные лотки четко выработаны, отсутствует травяной покров и кустарник. В местах, где лавины сходят не каждый год, на склонах развивается угнетенная растительность: стелющийся кустарник, поваленные и сильно наклоненные тонкоствольные деревья. В местах редкого схода лавин может развиваться лиственный и смешанный лес со следами повреждений стволов деревьев. В безлесных местах могут лежать отдельные крупные каменные глыбы.

При изысканиях горных дорог всегда стремятся избегать прохождения трассой лавиноопасных мест. При невозможности обхода лавиноопасных участков трассу стараются прокладывать на такой высоте и через такие участки лавинных русел, где можно построить лавинозащитные галереи, а возможное число и общая их длина будут наименьшими.

На рис. 42.33 показаны два варианта прохождения трассы через лавиноопасный участок горной местности. В первом варианте, показанном сплошной линией, трасса развивается по склонам без учета условий прохождения через лавиноопасный участок местности. Во втором варианте, показанном пунктирной линией, трасса развивается по лесному массиву, не подверженному сходу лавин, а при прохождении лавиноопасного участка всего по одному разу пересекает ла-



Р и с. 42.33. Варианты трассы на участке снежных обвалов:

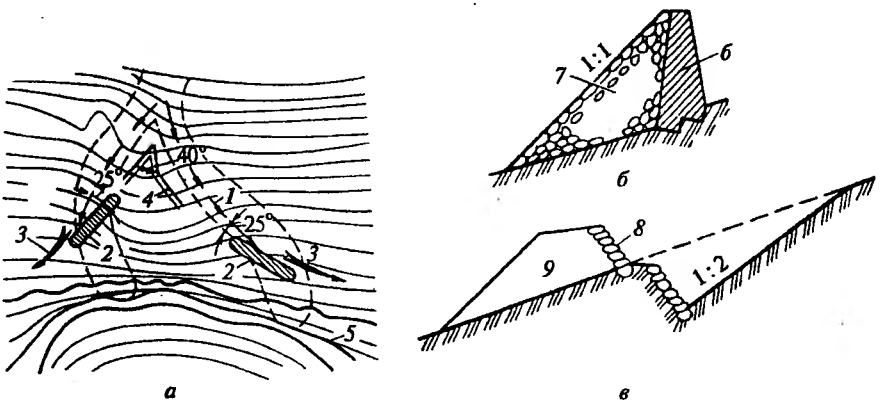
1 — альпийский луг; *2* — лес; *3* — кустарник; *4* — обрыв; *5* — конусы лавин; *6* — границы распространения воздушной волны. Сплошная линия — первый вариант трассы; пунктирная линия — второй вариант трассы; Пл — прыгающая лавина; Лл — лотковая лавина

винные русла и число лавинозащитных сооружений будет наименьшим.

Борьба со снежными завалами на горных дорогах, образующимися в результате схода лавин, и защита полотна дорог и сооружений на них сводится к реализации комплекса следующих мероприятий:

предупреждение накопления снега в ложбинах и на склонах путем устройства стенок и других защит для предупреждения сдувания снега с окружающей местности в лога;

предупреждение смешения масс снега путем лесопосадок на снегосборном бассейне, устройства рвов, валов, заборов, подпорных стен поперек ожидаемого движения снежных масс;



Р и с. 42.34. Схема защиты дороги от лавин лавиноотбойными дамбами:

а — план местности и расположение дамб; *б* — лавиноотбойная дамба; *в* — лавиноотбойная дамба со рвом; *1* — путь движения лавины; *2* — лавиноотбойная дамба; *3* — путь отклоненной лавины; *4* — лавинорез; *5* — дорога; *6* — подпорная стенка; *7* — каменная наброска с выкладкой верхнего ряда; *8* — одевающая выкладка крупным камнем; *9* — грунт

отведение при благоприятном рельефе местности снежных масс в сторону от дороги лавиноотбойными дамбами (рис. 42.34). Дамбы устраивают в виде мощных насыпей высотой до 10—15 м, располагаемых под углом не более 30° к направлению движения лавины;

пропуск лавины над дорогой по лавинозащитным галереям (рис. 42.35).

Такой способ защиты является наиболее надежным. Для того чтобы снежная масса проскакивала по кровле галереи без удара, над перекрытием галереи делают засыпку с таким расчетом, чтобы получилось естественное продолжение склона местности.

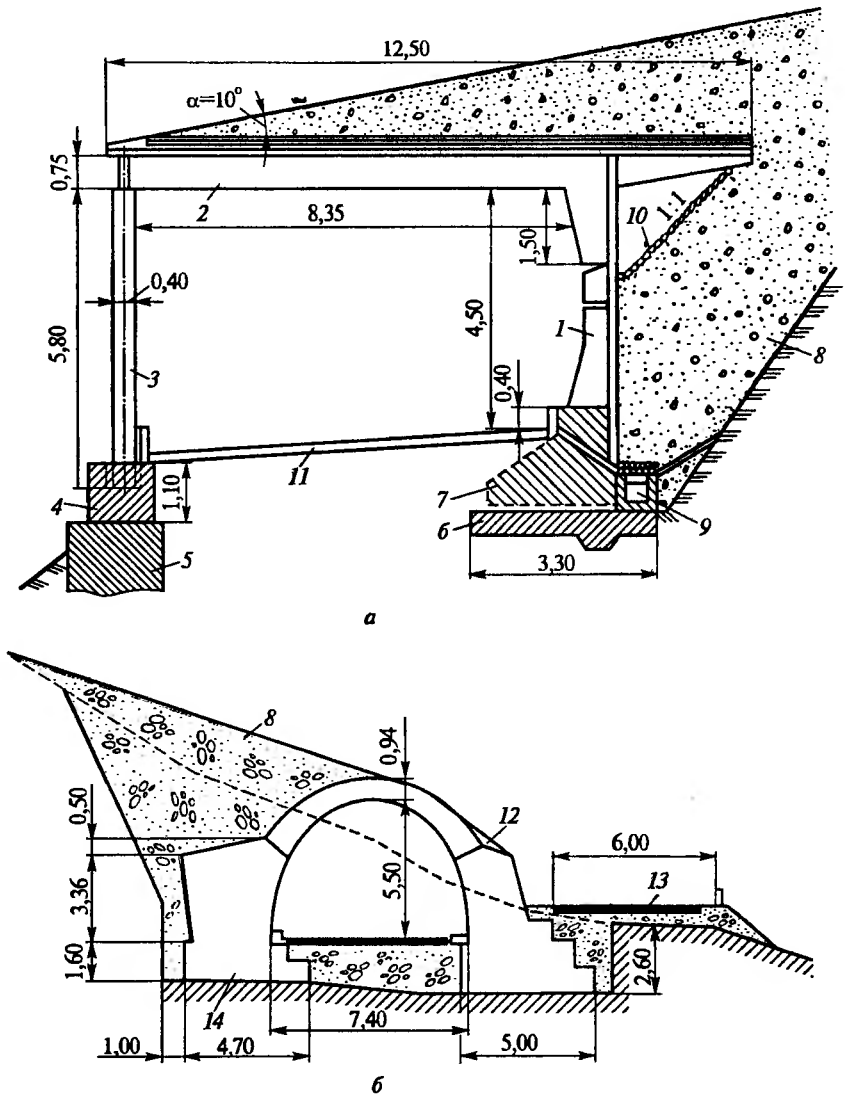
Противолавинные сооружения рассчитывают на горизонтальные и вертикальные составляющие нагрузки от удара и веса снежной массы.

Расчетную скорость движения лавины ориентировочно устанавливают по формуле

$$v = \sqrt{2gz},$$

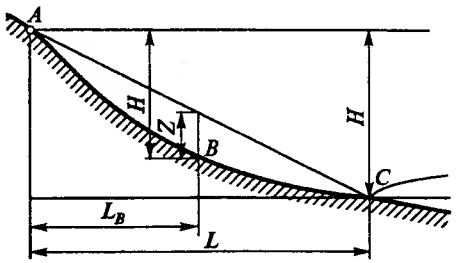
где $z = H_{\text{в}} - \frac{H}{L} l_{\text{в}}$ — высота пролета прыгающей лавины (рис 42.36).

Параллельное склону давление (Н/м^2) лавины на поверхность направляющих сооружений (лавинорезов, направляющих дамб, направляющих стенок) определяют так:



Р и с. 42.35. Конструкция противолавинных галерей:

а — балочная консольная; *б* — арочная; *1* — стойка верховой опоры; *2* — железобетонная балка; *3* — вертикальная или наклонная стойка; *4* — горизонтальная опорная балка; *5* — фундаментная подушка; *6* — фундаментная плита; *7* — фундамент верховых опор; *8* — засыпка; *9* — дренажный лоток; *10* — мощение; *11* — бетонное покрытие; *12* — тощий бетон; *13* — летний путь; *14* — устои галереи



Р и с. 42.36. Схема к определению скорости лавины:

A — точка отрыва лавины; *C* — край лавинных отложений

$$Q = \frac{\gamma v^2}{2g} \sin^2 \beta,$$

где β — угол между направлением движения лавины и поверхностью сооружения, град; γ — удельный вес снега, Н/м^3 (свежевыпавший снег $0{,}3 \cdot 10^4$ Н/м^3, старый снег $0{,}4 \cdot 10^4$ Н/м^3, мокрый снег $0{,}5 \cdot 10^4$ Н/м^3).

Давление лавины на перекрытие галереи:

$$Q_г = Q + \gamma h_л \cos\alpha,$$

где $h_л$ — толщина слоя лавины; α — угол наклона перекрытия галереи к горизонту.

42.13. Проектирование горных дорог в сейсмоопасных районах

Горные районы во многих случаях являются сейсмоопасными, поэтому при проектировании горных дорог необходимо учитывать появление дополнительных сейсмических нагрузок. В России сейсмичность учитывают по 12-балльной шкале. Действующие Строительные нормы и правила предписывают при сейсмичности района проектирования 7, 8 и 9 баллов при проектировании земляного полотна дорог и искусственных сооружений учитывать дополнительные сейсмические нагрузки. При землетрясениях силой 9 баллов и более возникают сдвиги и просадки насыпей на косогорах, оползания и обвалы верховых откосов выемок. При землетрясениях 6 баллов активизируются оползни, обвалы, осыпи, плывуны и сели.

Сейсмичность района проектирования и частоту землетрясений определяют по соответствующим картам районирования согласно СНиП II-7—81*. В ходе изысканий по местным природным условиям уточняют сейсмичность района проложения трассы.

При землетрясениях упругие колебания распространяются в горных породах из эпицентра в виде продольных, поперечных и поверхностных волн. Скорость распространения сейсмических волн тем больше, чем больше плотность горных пород. Поэтому в рыхлых, выветрелых грунтах скорость распространения волн меньше, чем в сплошных скальных породах. Поскольку амплитуда колебаний тем больше, чем меньше скорость распространения сейсмических волн, деформации и разрушения в рыхлых породах больше, чем в скальных.

Воздействия землетрясений на сооружения горных дорог отмечаются только при достаточной их силе, поэтому при силе землетрясений до 6 баллов дополнительные сейсмические нагрузки обычно не учитывают.

Возможные характер и величины повреждений сооружений горных дорог при сильных землетрясениях (более 6 баллов) зависят от типа поперечного профиля, высоты насыпей и глубины выемок, типа грунта основания и земляного полотна и рельефа местности.

Деформации насыпей заключаются в просадках, сбросах, трещинах, оползнях и потере устойчивости откосов. В выемках оползают и обрушиваются откосы, образуются трещины в полотне и покрытиях. Особенно подвержены сейсмическим деформациям полувыемки-полунасыпи.

Повреждениям и разрушениям в результате сейсмических воздействий подвержены и разного рода искусственные сооружения на дорогах: мосты, водопропускные трубы, подпорные стены, галереи, тоннели и т.д.

Сейсмические повреждения полотна дорог оказываются тем больше, чем выше насыпи и глубже выемки. Менее всего страдает полотно, возведенное на скальных и плотных породах, а более всего — на мягких и рыхлых основаниях.

При расчетах сооружений на дополнительные сейсмические нагрузки учитывают, что сейсмические силы инерции могут иметь любое направление в пространстве.

Расчетную величину сейсмических сил инерции определяют по формуле

$$S = \alpha G k_c,$$

где α — коэффициент, зависящий от динамических характеристик сооружений (для полотна дорог и обычных сооружений — 1, для высоких опор мостов и подпорных стен — 2); G — собственный вес сооружения; k_c — сейсмический коэффициент, определяемый в зависимости от расчетной сейсмичности:

Расчетная сейсмичнось, баллы	6	7	8	9
Значения k_c	0,01	0,025	0,05	0,1

Опыт эксплуатации горных дорог в сейсмоопасных районах выработал ряд правил проектирования и возведения дорожных сооружений. В частности, не рекомендуется:

пролагать трассу по рыхлым, выветрелым породам;

тип поперечного профиля на косогорах типа полувыемки-получасыпи вследствие возможного сползания насыпной части полотна вниз по косогору. Наиболее целесообразно располагать земляное полотно полностью на полке, врезанной в склон;

располагать трассу на неустойчивых склонах, вблизи скальных обрывов, у подножия крутых склонов;

устраивать насыпи на крутых косогорах (круче 1:3);

строительство высоких насыпей и глубоких выемок;

в районах с расчетной сейсмичностью 8 баллов и более на крутых косогорах (круче 1:3) низовые откосы насыпей целесообразно укреплять подпорными стенами, контрбанкетами из бутобетонной кладки или заменять насыпи эстакадами;

в районах с расчетной сейсмичностью 9 баллов и выше заложение откосов насыпей и выемок в нескальных грунтах целесообразно принимать более пологими, чем в несейсмических районах (в среднем на 1:0,25);

при возведении насыпей из грунтов с различными физико-механическим свойствами целесообразно переходить от тяжелых грунтов в основании к более легким в верхней части.

Глава 43

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗАСУШЛИВЫХ РАЙОНАХ

43.1. Особенности пустынных и полупустынных районов

Засушливые районы занимают значительные пространства юго-восточной части бывшего СССР и представлены в основном сероземными почвами, песками и солончаками.

Проектирование, строительство и эксплуатация дорог в пустынных и полупустынных районах имеет специфические особенности, зависящие от того, проходит ли дорога в орошаемых районах с плодородными почвами, в засоленных грунтах или в сыпучих песках.

Несмотря на то, что в засушливых районах общее количество выпадающих осадков относительно невелико (100—200 мм/год), но они приурочены к холодному периоду года, когда испарение незначительно и в связи с этим появляются обширные участки временно переувлажненных грунтов. Переувлажнение усиливается в районах искусственного орошения в результате полива плодородных полей и их весеннее-зимних промывок в целях борьбы с засолением.

При трассировании автомобильных дорог в районах поливного земледелия приходится приспосабливать их трассу с системой оросительных каналов: магистральных, подающих воду из водных источников (рек, водохранилищ и водоемов для водоснабжения); распределительных, распределяющих воду из магистрального канала между орошаемыми землями сельхозпроизводителями; временных оросительных каналов, устраиваемых на период полива; сбросных каналов, отводящих избытки воды с поливных участков; сети дренажных канав для отвода грунтовых вод.

В связи с высокими уровнями залегания грунтовых вод и неблагоприятным в связи с этим водным режимом земляного полотна специальные требования предъявляют к проектированию земляного полотна, обеспечивая необходимое возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод и уровнем воды в магистральных и оросительных каналах при прохождении дороги в непосредственной близости от них.

Необходимость вынужденного пересечения многочисленных каналов различного назначения требует проектирования и строительства большого числа водопропускных труб и мостов (6—10 на 1 км дороги).

В редких случаях при проектировании дорог в районах вновь осваиваемого орошения начертание сети каналов и трасс дорог взаимно увязывают между собой.

Содержание водорастворимых солей в засоленных грунтах существенно влияет на их физико-мехнические свойства, в частности происходит резкое снижение сопротивляемости грунтов внешним нагрузкам при их увлажнении. В зависимости от типа и степени засоленности грунтов к проектированию земляного полотна и дорожных одежд дорог на засоленных грунтах предъявляют различные требования.

Особенности климата и рельефа песчаных пустынь и полупустынь существенно усложняют условия строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Особые требования предъявляют к трассированию автомобильных дорог в районах подвижных песков обязатель-

но с учетом розы преобладающих ветров для обеспечения полотна дороги от песчаных заносов.

При проектировании дорог в песчаных пустынях особые требования предъявляют к конструкциям земляного полотна, предусматривая обтекаемые поперечные профили и укрепление откосов насыпей от выдувания.

В проектах автомобильных дорог в пустынных районах сразу предусматривают инженерные мероприятия по закреплению подвижных песков: посадкой на придорожной полосе защитных насаждений из песколюбивых деревьев и кустарников, устройством механической защиты — ограждений щитами, устройством устилочной защиты.

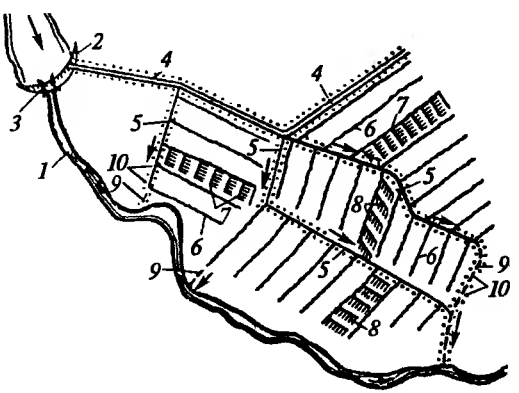
43.2. Проектирование дорог в районах искусственного орошения

Оросительные системы состоят из сети каналов-оросителей, водосборно-сбросной и дренажной сетей (рис. 43.1). Она включает в себя:

магистральные каналы, по которым вода подается от источников орошения (реки, водохранилища и т.д.) к поливным каналам;

распределительные каналы, получающие воду из магистральных каналов и делящие ее между сельхозпредприятиями и фермами, а также между отдельными поливными участками внутри каждого хозяйства. В зависимости от расположения относительно магистральных каналов различают распределители первого, второго порядков и т.д.;

временные оросительные каналы и борозды, выводные и поливные, устраиваемые только на период поливов для равномерного распределения воды из оросителей по поливному участку.



Р и с. 43.1. Схема оросительной системы:

1 — река; *2* — плотина; *3* — водозаборное сооружение; *4* — магистральный канал; *5* — распределительные каналы; *6* — временные оросительные каналы; *7* — выводные борозды; *8* — поливные борозды; *9* — водосборные каналы; *10* — насаждения вдоль каналов

Водосборно-сбросная сеть предназначена для сброса избыточных поверхностных вод из оросительной сети и с поливных участков.

Дренажная сеть, состоящая из коллекторов и дрен-собирателей, служит для регулирования уровня грунтовых вод на территории поливных участков.

Постоянные магистральные и распределительные каналы обслуживают большие поливные площади — 20—60 га и более.

Плодородные поливные земли обычно представляют исключительную ценность для сельского хозяйства и постоянный отвод этих земель под полотно дороги и искусственные сооружения требует самого тщательного обоснования.

Поэтому общие правила проектирования автомобильных дорог в районах поливного земледелия сводятся к следующему:

земляное полотно дорог обычно проектируют в виде невысоких 1—1,5 м насыпей исключительно из привозного грунта без закладки боковых резервов;

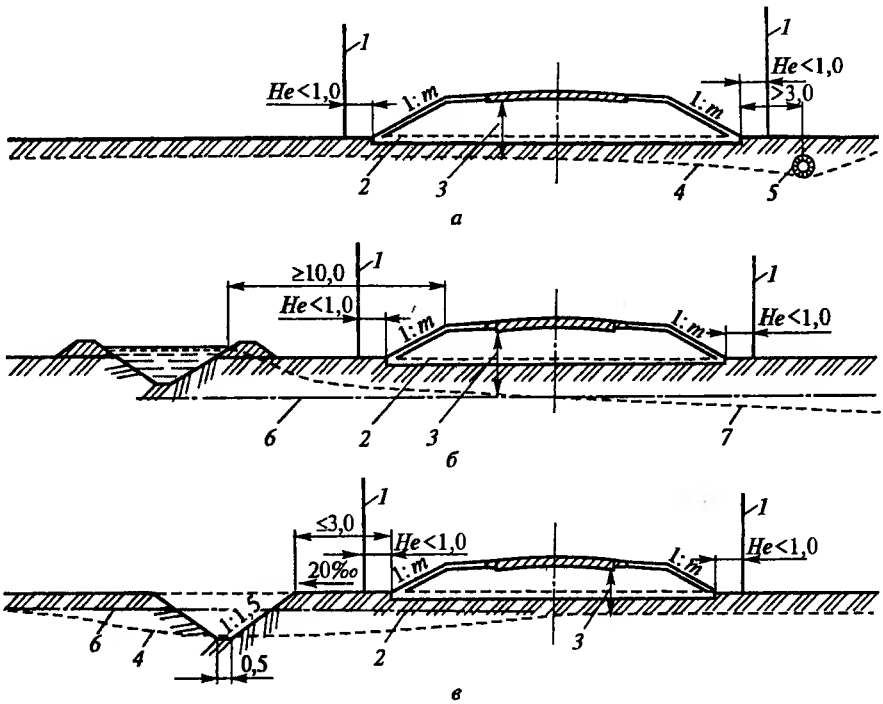
направления трасс важнейших дорог общего пользования устанавливают исходя из общего направления грузо- и пассажиропотоков для наилучшего удовлетворения грузовых и пассажирских перевозок. При этом обычно приходится строить больше водопропускных труб и мостов при пересечениях ответвляющихся каналов;

при проектировании дорог в районах вновь осваиваемого орошения наилучшее начертание сети каналов и направлений дорог увязывают между собой;

внутрихозяйственные дороги, обслуживающие местные перевозки, а также второстепенные дороги районного значения, как правило, трассируют вдоль распределительных каналов в непосредственной близости от них, не считаясь с некоторым перепробегом транспорта, с тем чтобы минимально занимать ценные земли и не нарушать сложившуюся систему землепользования;

в связи с высоким залеганием уровней грунтовых вод дороги целесообразно трассировать по водоразделам и участкам местности, расположенным выше орошаемых полей, а на равнинных участках с затрудненным поверхностным водоотводом вдоль открытых дренажных коллекторов, при расстоянии от подошвы насыпи до бровки канала не менее 4,5 м;

полотно дорог, проходящих вдоль каналов, постоянно заполненных водой, проектируют из условия необходимого возвышения поверхности покрытия над уровнем длительно стоящих поверхностных вод согласно табл. 21, СНиП 2.05.02—85*. Возвышение поверхности покрытия в зонах постоянного искусственного орошения над уров-



Р и с. 43.2. Поперечные профили дорог в районах искусственного орошения:

а — вдоль закрытых дренажей и коллекторов; *б* — вдоль магистральных каналов; *в* — вдоль открытых коллекторов; *1* — граница полосы отвода; *2* — снимаемый слой растительного грунта; *3* — расчетное возвышение поверхности покрытия; *4* — уровень грунтовых вод, понижаемый дренами или канавами; *5* — трубчатые дрены-коллекторы; *6* — максимальный уровень грунтовых вод до постройки оросительной системы; *7* — фильтрационный максимум уровня грунтовых вод

нем грунтовых вод в IV—V дорожно-климатических зонах увеличивают по сравнению с нормативным на 0,4 м, а в III зоне — на 0,2 м;

земляное полотно дорог в районах искусственного орошения устраивают в насыпях (рис. 43.2). В связи с высокой ценностью орошаемых земель пологие откосы насыпей 1:3 устраивают только при высоте насыпей до 1 м, откосам более высоких насыпей придают заложение 1:1,5.

У дорог, возводимых вдоль каналов, целесообразно предусматривать посадку широколистных деревьев (ива, тополь, тутовник), которые, уменьшая испарение из каналов, перехватывают корневой системой просачивающуюся к дороге воду.

Мосты на пересечениях распределительных каналов проектируют с минимальным возвышением низа пролетных строений над уровнем воды в каналах, согласно СНиП 2.05.03—84*.

43.3. Проектирование дорог на участках засоленных грунтов

К *засоленным* относят грунты, содержащие легкорастворимые соли в количествах, существенно влияющих на их физико-механические характеристики. На территории бывшего СССР площадь засоленных грунтов достаточно велика и достигает 3,4%.

Почвы, содержащие в поверхностных слоях до глубины 1—2 м в свободном состоянии более 1% легкорастворимых солей, называют *солончаками*, которые образуются в результате капиллярного поднятия грунтовых вод, содержащих растворимые соли. Эти соли при испарении воды накапливаются в верхних слоях грунта, образуя в засушливые периоды года на поверхности выцветы солей и солевые корки.

По внешним визуальным признакам различают солончаки:

мокрые и корковые (шоры и соры) — солончаки на участках с высоким стоянием засоленных грунтовых вод, на поверхности которых в засушливые периоды года выступает солевая корка. Мокрые солончаки относятся к категории слабых грунтов и при проектировании земляного полотна на таких грунтах приходится учитывать осадки основания насыпей и другие их деформации;

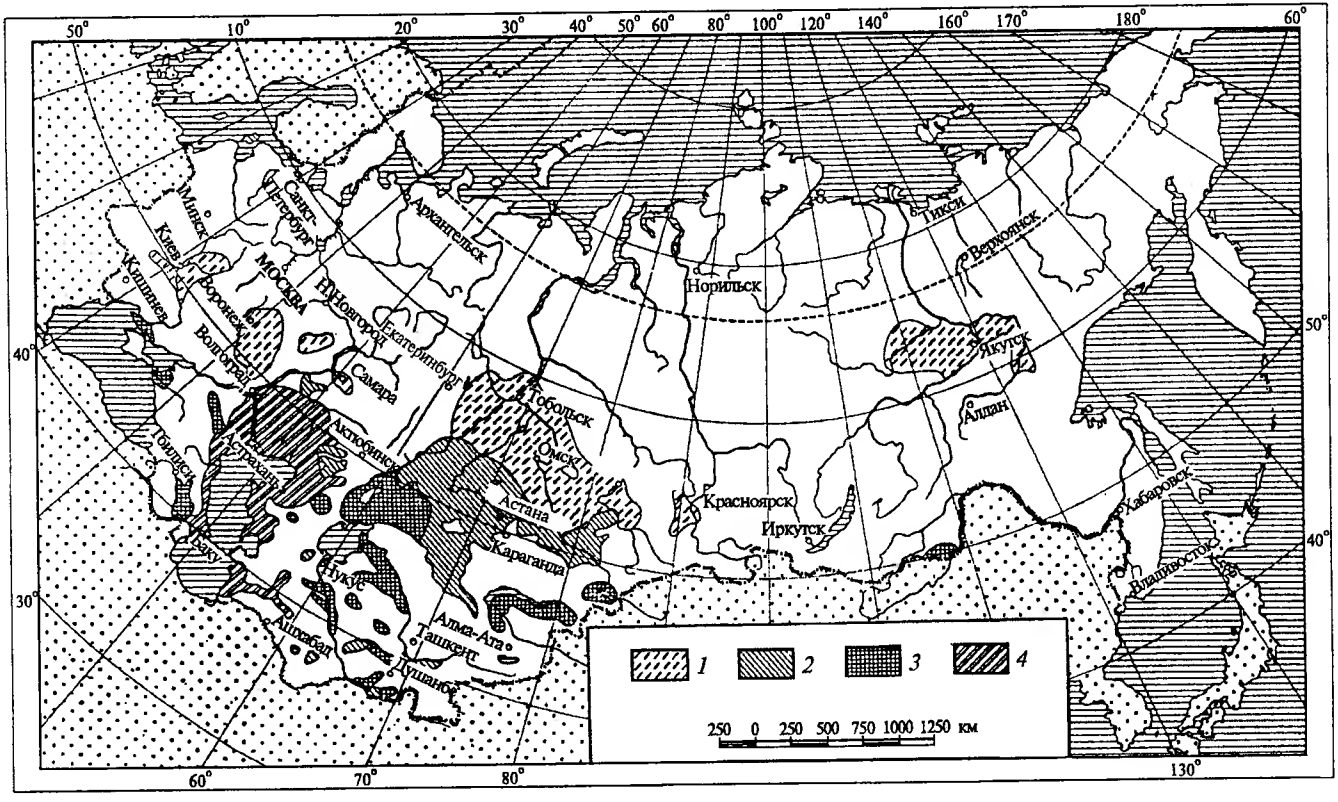
пухлые, где под тонкой поверхностной коркой грунта залегают рыхлые слои, насыщенные кристаллическими солями преимущественно в виде сульфатов натрия и магния;

такыровидные (такыры), покрытые в сухое время года сравнительно толстой глинистой, испещренной густой сетью трещин коркой, грунты под которыми содержат хлориды, сульфаты и гипс.

Засоленные грунты обычно располагаются на поверхности в виде отдельных пятен, приуроченных к пониженным местам рельефа, с высокими уровнями стояния засоленных грунтовых вод (блюдца, впадины, мелкие озера). На орошаемых территориях, наоборот, пятна засоления размещаются на повышенных формах микрорельефа и появляются за счет капиллярного поднятия засоленных грунтовых вод.

Засоленные грунты на территории бывшего СССР размещены неравномерно по площади, при этом различают четыре характерных вида засоления (рис. 43.3):

сульфатно-содовое, характерное для территорий лесостепи, где в состав солей, находящихся в грунте, входят углекислый натрий Na_2CO_3, сернокислый натрий Na_2SO_4 и кремнекислый натрий Na_2SiO_3. Содержание солей в верхних слоях солончаков не превышает 0,5—1,0%;



Р и с. 43.3. Схематическая карта распространения засоленных грунтов на территории бывшего СССР:

1 — сульфатно-содовое; *2* — хлоридно-сульфатное; *3* — сульфатно-хлоридное; *4* — хлоридное

хлоридно-сульфатное, характерное для степных районов, где сульфаты Na_2SO_4 превалируют над хлоридами NaCl. Содержание солей в верхних слоях грунта составляет 2—3%;

сульфатно-хлоридное, характерное для территорий полупустынь, в котором хлориды преобладают над сульфатами. Содержание солей в верхних слоях солончаков составляет 5—8%;

хлоридное, характерное для пустынь, где имеет место значительное преобладание хлоридов над сульфатами. Содержание солей в солончаках достигает 15—25%.

Поскольку содержание водорастворимых солей в грунтах в сильной степени влияет на их физико-механические характеристики, при увлажнении засоленных грунтов их сопротивление внешним нагрузкам резко снижается и в дождливые периоды возможно оползание откосов насыпей и выемок.

Содержащиеся в грунтах соли могут оказывать агрессивное воздействие на дорожные одежды. Сернокислые магний и натрий даже при незначительном содержании (до 1%) разрушают дорожные конструкции за два-три сезона. Малоагрессивные хлоридные соли натрия и кальция не разрушают покрытий даже при значительном содержании (свыше 5%). Покрытия с щебнем из известняковых пород более устойчивы, чем покрытия из изверженных пород. Разрушающее воздействие водорастворимых солей на битумы и дегти проявляется в виде выщелачивания и эмульгирования последних. Наиболее устойчивы к воздействию агрессивных вод дорожные покрытия, построенные горячим способом с применением вязких битумов. При изысканиях автомобильных дорог, учитывая особенности возведения и эксплуатации земляного полотна и дорожных одежд на засоленных грунтах, всегда стремятся по возможности обходить участки местности с интенсивным засолением.

В насыпях дорог, возведенных из грунтов, содержащих легкорастворимые соли, при благоприятных гидрологических условиях могут развиваться процессы уменьшения содержания солей в грунтах земляного полотна. И наоборот, когда дорога пересекает солончаки в низких насыпях, в результате капиллярного поднятия могут развиваться процессы дальнейшего засоления.

Допустимое содержание солей различного состава в грунтах земляного полотна неодинаково. Хлористые соли в малых количествах (до 3%) повышают устойчивость грунтов и способствуют искусственному их уплотнению. Земляное полотно становится неустойчивым лишь при их содержании более 8—10%. Присутствие 2—5% сернокислых солей отрицательно сказывается на степени уплотнения засо-

ленных грунтов, так как при кристаллизации в сухое время года они, увеличиваясь в объеме, разуплотняют земляное полотно.

Классификация засоленных грунтов по пригодности их для дорожно-строительных работ представлена в табл. 43.1.

Таблица 43.1. **Классификация засоленных грунтов по пригодности для дорожно-строительных работ**

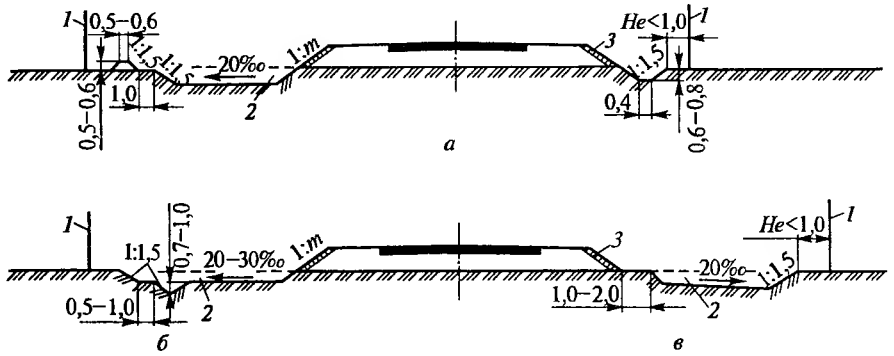
Степень засоления грунтов	Среднее содержание солей в используемом грунте, % по массе при засолении		Возможность использования в дорожном строительстве при устройстве	
	хлоридном и сульфатно-хлоридном	сульфатном, хлоридно-сульфатном и содовом	земляного полотна	оснований из грунтов, укрепленных вяжущими
Слабозасоленные	0,3—1 (0,5—2)	0,3—0,5 (0,5—1)	Пригодны	Пригодны
Среднезасоленные	1—5 (2—5)	0,5—2 (1—3)	»	Пригодны с ограничением
Сильнозасоленные	5—8 (5—10)	2—5 (3—8)	Пригодны с ограничением	Непригодны
Избыточно засоленные	> 8 (> 10)	> 5 (> 8)	Пригодны при нейтрализации специальными мероприятиями	»

Примечание. В скобках приведены нормативы для V дорожно-климатической зоны.

Слабо- и среднезасоленные грунты можно использовать практически без ограничений в типовых конструкциях земляного полотна, в том числе и в верхних рабочих слоях при выполнении требований для незасоленных грунтов. Сильнозасоленные грунты можно использовать в насыпях дорог на участках местности, относящихся к первому типу по условиям увлажнения. Избыточно засоленные грунты используют при условии принятия мер (на основе лабораторных исследований) по нейтрализации отрицательного их воздействия на дорожные конструкции.

При проектировании дорог на засоленных грунтах нормативное возвышение поверхности покрытия над уровнями грунтовых и поверхностных вод, согласно табл. 21 СНиП 2.05.02—85*, необходимо увеличивать:

при слабо- и среднезасоленных грунтах на 20%;



Р и с. 43.4. Поперечные профили земляного полотна на засоленных грунтах:

а — насыпь с односторонним резервом; *б* — насыпь с резервом и продольным лотком; *в* — насыпь с бермой и кювет-резервом; *1* — граница полосы отвода; *2* — резерв; *3* — укрепление откосов

для суглинков и глин на 30%;

при сильнозасоленных грунтах на 40—60%.

При невозможности обеспечения необходимого возвышения поверхности покрытия над уровнем грунтовых и поверхностных вод в теле насыпи устраивают капилляропрерывающие прослойки из гравия, грунта, обработанного вязкими вяжущими, или из геотекстиля.

Характерные поперечные профили земляного полона на засоленных грунтах представлены на рис. 43.4.

Поперечные профили с резервами (см. рис. 43.4, *а*) допускаются при глубине залегания грунтовых вод более 1 м при условии, что дно резерва будет возвышаться не менее чем на 0,9 м над наивысшем уровнем грунтовых вод.

В средне- и сильнозасоленных грунтах в резервах устраивают специальные лотки для быстрого отвода воды (см. рис. 43.4, *б*). При затрудненном отводе воды из резерва устраивают берму шириной 1—2 м (см. рис. 43.4, *в*).

Заложение откосов насыпей высотой до 2 м, возводимых из боковых резервов, устанавливают 1:4. При большей высоте насыпей откосы принимают 1:1,5, а в средне- и сильнозасоленных грунтах — 1:2. При избыточном засолении грунтов, высоком уровне грунтовых вод и затрудненном поверхностном водоотводе насыпи возводят из привозного грунта.

Насыпи в пониженных сильно увлажненных местах возводят из привозных грунтов с высокими коэффициентами фильтрации. При использовании в насыпях засоленных грунтов нижнюю их часть на высоту капиллярного поднятия возводят из дренирующих грунтов.

Солонцы, характеризуемые отсутствием или весьма малым содержанием хлоридов и сульфатов в верхних слоях почв, но содержащих карбонаты натрия, более пригодны для дорожного строительства при условии обеспечения поверхностного водоотвода от земляного полотна и обязательного укрепления откосов и обочин.

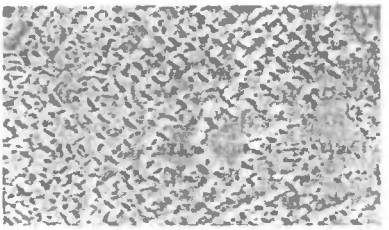
43.4. Особенности проектирования дорог в пустынных районах

Районы пустынь характеризуются резко континентальным климатом, интенсивными процессами выветривания, недостатком влаги, редкими атмосферными осадками и масштабной геологической деятельностью ветра. Рельеф песчаных пустынь неустойчив вследствие интенсивных процессов ветрового пескопереноса. Чем выше скорость ветра у поверхности земли, тем более крупные частицы он способен переносить. Обтекание ветропесчаным потоком неровностей песчаного рельефа сопровождается образованием зон повышенных скоростей турбулентного ветрового потока, где происходит процесс перемещения песчаных частиц и зон затишья, где они откладываются, заваливаются другими поступившими сверху частицами и надолго выключаются из движения. Такое неравномерное движение песчинок по направлению ветра вызывает общее медленное перемещение поверхностных слоев в виде ряби с последующим образованием более крупных структурных подвижных форм рельефа: бархан, барханных цепей, песчаных гряд, бугристых песков (рис. 43.5).

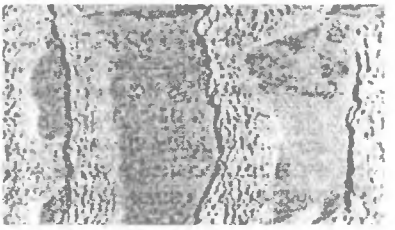
Чем крупнее структурные подвижные песчаные скопления, тем меньше общая скорость их перемещения. Среди песчаных пространств пустынь нередко встречаются участки ровной глинистой, практически горизонтальной поверхности — такыры, свободные от подвижных песчаных форм, сдуваемых ветром. Сухая и плотная на протяжении большей части года поверхность такыров становится скользкой и вязкой в периоды снеготаяния и выпадения дождей.

Барханами (см. рис. 43.5, *а*) называют одиночные или расположенные группами песчаные холмы высотой порядка 3—5 м и шириной до 100 м, имеющие в плане очертание лунного серпа с рогами по направлению ветра. Наветренный, пологий склон барханных холмов в зависимости от крупности песка имеет крутизну 1:3 — 1:5, а подветренный соответствует углу естественного откоса 1:1 — 1:1,5. Эта форма рельефа песчаных пустынь наиболее неустойчива и легко поддается ветровому воздействию.

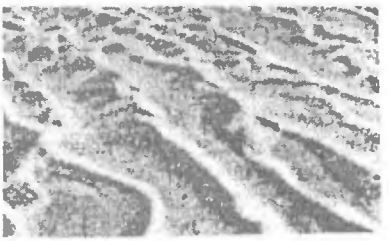
Одиночные барханы могут образовываться на пограничных участках подвижных песков, на плоских и оголенных поверхностях та-



а



б



в

Р и с. 43.5. Характерные типы рельефа подвижных песков:

а — барханы (с высоты 300 м); *б* — барханные цепи (с высоты 3000 м); *в* — грядовые пески

кыров и солончаков при относительно небольшом количестве поступающего сверху песка.

Барханные цепи (см. рис 43.5, *б*) формируются в районах, где господствующие ветры дважды в год меняют свое основное направление (например, зимой дуют в одном направлении, а летом — в противоположенном).

Барханные цепи располагаются перпендикулярно господствующим направлениям ветров. Высота крупных барханных цепей может достигать 10—15 м, а длина более 2 км. В зависимости от высоты барханных цепей расстояние между ними может составлять от 10—15 до 150 м. Крупные барханные гряды длиной от 0,5 до нескольких километров и высотой до 100 м располагаются через 1,5—3,5 км.

Песчаные гряды (см. рис. 43.5, *в*) образуются при сезонно меняющихся ветрах, действующих под разными углами, вытягиваются параллельно господствующему направлению ветров. Песчаные гряды имеют длину 2—3 км и отстоят друг от друга на расстоянии 150—200 м. Песчаные гряды являются конечной формой развития песчаного рельефа пустынь, когда барханные цепи достигают такой высоты, при которой ветер за один цикл до смены направления успевает перестроить только верхнюю часть гряды.

Бугристыми песками называют закрепленные растительностью невысокие песчаные холмы неправильного очертания, высотой до 6—8 м и крутизной склонов, приблизительно одинаковой во всех направлениях.

Ценнейшую информацию при изысканиях для изучения характеристик подвижных структурных форм песков дают материалы космических и аэрофотосъемок, а также материалы воздушного сканирования местности.

Подвижность песчаных форм рельефа связана со скоростями ветров, крупностью песков, его влажностью и степенью закрепления поверхности растительностью (табл. 43.2).

Таблица 43.2. **Степень подвижности песков**

Степень зарастания поверхности	Площадь, покрытая растительностью, %	Степень подвижности песков
Незаросшая	Менее 5	Очень подвижны
Слабозаросшая	5—15	Подвижны
Полузаросшая	15—35	Малоподвижны
Заросшая	Более 35	Неподвижны

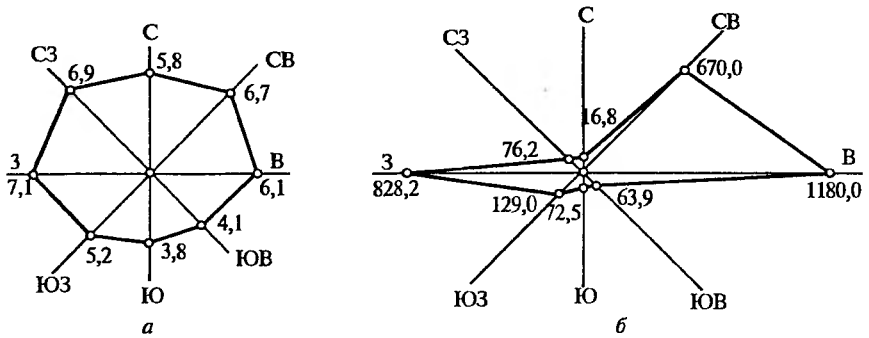
Заросшие на 35—40% растительностью структурные формы рельефа практически неподвижны. Однако следует иметь в виду, что в случае уничтожения растительного покрова в ходе строительства или эксплуатации дорог пески вновь приходят в подвижное состояние. В пустынных районах с рельефом, закрепленным растительностью, дороги проектируют с максимальным сохранением растительности и естественных форм рельефа в насыпях минимальной высоты из привозного грунта.

Основные трудности возникают при проектировании дорог в районах с подвижными песками, поэтому при оценке условий пескопереноса используют «динамические розы ветров». Поскольку количество переносимого песка пропорционально квадрату скорости ветра, при построении «динамической розы ветров» для каждого румба направления откладывают сумму произведений квадратов скоростей ветра на частоту их повторяемости (рис. 43.6).

Динамические розы ветров используют для оценки заносимости дорог песком и выборе инженерных мероприятий по защите их от песчаных заносов.

Сильнозаносимыми считают участки дорог, к которым в течение года приносится до 20—30 м^3 песка на 1 пог. м дороги, а слабозаносимыми — менее 10 м^3.

В зависимости от направления и интенсивности ветров различают три режима движения песков:



Р и с. 43.6. Роза ветров:

а — обычная; *б* — динамическая

поступательное, когда в течение года ветры одного направления преобладают над ветрами остальных направлений;

колебательное, когда действия летних и зимних ветров, дующих в противоположных направлениях, примерно уравновешиваются и барханные цепи, периодически изменяя свое очертание, остаются на месте;

поступательно-колебательное, когда в действии ветров противоположных направлений одно из направлений все же несколько превалирует над другим и барханные цепи, совершая колебательные движения, перемещаются в одном из направлений больше, чем в другом.

При проектировании дорог в пустынных районах наибольшего внимания заслуживают районы с поступательным движением песков. В связи с подвижностью рельефа районов с подвижными песками черный профиль к моменту начала строительства может оказаться несколько изменившимся, что обязательно учитывают при рабочем проектировании.

При разработке проектов организации строительства (ПОС) в пустынных районах учитывают резко континентальный климат пустынь, недостаток воды и низкую плотность населения районов строительства.

Во всех случаях трассирования дорог в пустынях стремятся обходить участки местности с подвижными песками, даже если это связано с некоторым удлинением трассы. По возможности используют участки такыров, по которым песок переносится не откладываясь, однако при этом особое внимание уделяют проектированию системы поверхностного дорожного водоотвода. При трассировании дорог наиболее привлекательными оказываются малорасчлененные формы рельефа.

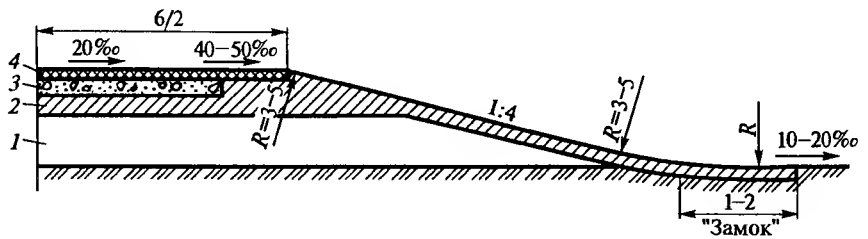
Меньшая подверженность песчаным заносам свойственна дорогам, трассы которых приблизительно перпендикулярны элементам песчаного рельефа. При трассировании дорог параллельно подвижным формам рельефа они в большей степени подвержены заносам и поэтому при проектировании следует предусматривать установку механических защит на наветренных склонах барханов и другие способы их закрепления.

При пересечении барханов, барханных цепей и песчаных гряд выбирают наиболее низкие участки с устройством в случае необходимости насыпей и выемок. В барханных цепях и песчаных грядах трассу стараются размещать в межбарханных понижениях. Расположение земляного полотна на склонах песчаных форм рельефа связано с необходимостью проведения сложных и дорогостоящих укрепительных работ и не всегда приводит к положительным результатам.

Трассу удаляют от песчаных гряд и барханов не менее чем на двукратную их высоту. Земляное полотно проектируют в невысоких насыпях с рабочими отметками 0,5—0,6 м и пологими откосами с заложением не круче 1:4 — 1:5. Насыпи высотой от 1 до 2 м проектируют с откосами с заложением 1:2 — 1:3, предусматривая их возведение, как правило, из привозного грунта. При отсыпке насыпей из мелкозернистого барханного песка (из уширяемых выемок или притрассовых карьеров) откосам придают заложение не круче 1:2, а откосы и обочины укрепляют слоями связного грунта толщиной 10—20 см, защищающих песок от выдувания (рис. 43.7).

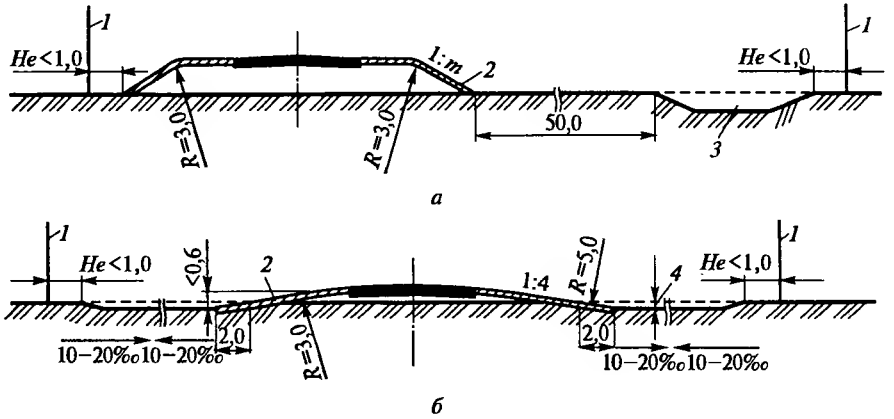
Высокие насыпи отсыпают нормального профиля с заложеним откосов 1:1,5. Насыпи высотой до 2 м на дорогах высоких категорий отсыпают с откосами 1:3 (рис. 43.8).

Выемки делают с внешними откосами не круче 1:2, разделывая их под насыпь высотой 0,3—0,4 м, и с внутренними откосами 1:4. В необходимых случаях земляное полотно в выемках уширяют с каждой



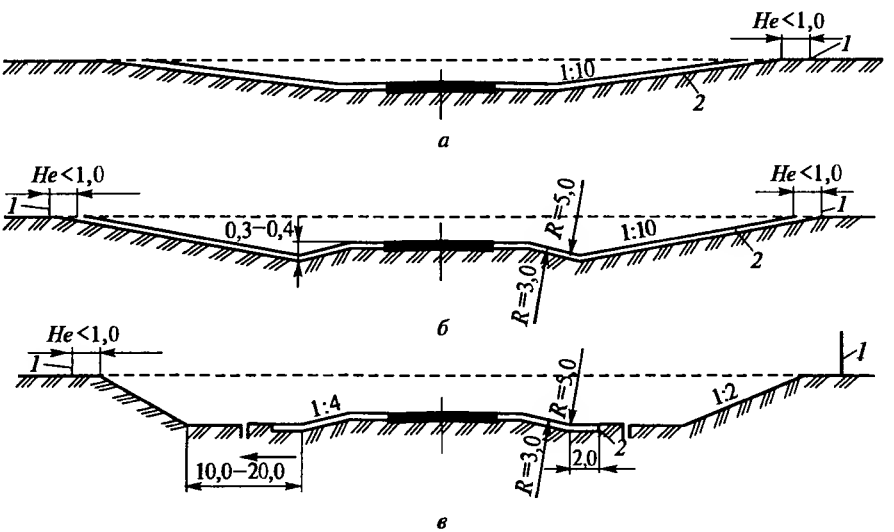
Р и с. 43.7. Укрепление земляного полотна в зоне подвижных песков от развевания ветром:

1 — насыпь из песка; *2* — защитный слой из связного грунта; *3* — основание дорожной одежды; *4* — покрытие



Р и с. 43.8. Поперечные профили насыпей в районах распространения песков с незаросшей и слабозаросшей поверхностью:

а — в насыпях; *б* — в нулевых отметках: *1* — граница полосы отвода; *2* — защитный слой из связного грунта толщиной 10—20 см; *3* — резерв; *4* — планировка на глубину до 0,2 м



Р и с. 43.9. Поперечные профили выемок в незаросших и слабозаросших песках:

а — раскрытая выемка глубиной до 2 м; *б* — выемка, разделанная под насыпь; *в* — выемка глубиной более 2 м; *1* — граница полосы отвода; *2* — защитный слой из связного грунта толщиной 10—20 см

стороны на 10—20 м, с тем чтобы во время сильных ветров песок откладывался на уширениях, не прерывая движения транспортных потоков (рис. 43.9).

В зависимости от местных условий откосы и обочины земляного полотна укрепляют связными грунтами, грунтами, обработанными вяжущим, асфальтобетонными и цементобетонными покрытиями и т.д.

В заросших неподвижных песках при сооружении земляного полотна стремятся избегать повреждения растительности на придорожной полосе. На незаросших песках предусматривают планировку придорожной полосы на ширину 20—50 м с каждой стороны земляного полотна. За пределами придорожной полосы на ширину до 200 м подвижные формы рельефа закрепляют механическими щитами или посадкой песколюбивой растительности.

Существует ошибочное мнение, что в связи с высокой впитываемостью воды в песок и засушливым климатом водопропускные сооружения на участках дорог в сыпучих песках можно не строить, а систему дорожного поверхностного водоотвода предусматривать лишь на пересечениях такыров.

Однако опыт эксплуатации дорог в песчаных пустынях показывает, что в пониженных местах рельефа могут проходить катастрофические паводки, приводящие к повреждениям и разрушениям полотна дорог и сооружений на них. Это связано с тем, что редкие, но чрезвычайно интенсивные ливневые паводки в пустынях могут «выштукатуривать» поверхность песков и сток с водосборов происходит практически без впитывания.

С точки зрения возможности прохождения катастрофических паводков особенно опасны участки пустынной местности в предгорьях, когда в горах могут формироваться исключительные по высоте паводки, которые после выхода на пустынную равнину вызывают разрушения на дорогах водопропускных сооружений с недостаточными отверстиями.

В связи с этим при расчетах ливневого стока и назначении отверстий малых водопропускных сооружений в пустынных районах исходят из условия, что максимальные расходы и объемы ливневого стока формируются без потерь на впитывание.

Учитывая, что при прогнозах максимального стока в необжитых пустынных районах возможны значительные ошибки, помимо традиционных водопропускных сооружений (труб и малых мостов) на автомобильных дорогах часто предусматривают строительство сооружений лоткового типа — укрепленных переливаемых участков низ-

ких насыпей, поскольку такого рода водопропускные сооружения мало чувствительны к ошибкам стока.

При проектировании автомобильных дорог в районах подвижных песков в проектах всегда предусматривают комплекс инженерных мероприятий по закреплению песков, с целью защиты дорог от заносов в ходе их эксплуатации: планировку придорожной полосы, закрепление песков посадкой песколюбивых растений, применение «механической защиты» — ограждающие щиты и т.д.

Раздел десятый

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ, ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ

Глава 44

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ

44.1. Нормирование проектирования автомагистралей

Автомагистралями называют автомобильные дороги, предназначенные для интенсивных скоростных и комфортабельных пассажирских и грузовых перевозок без помех со стороны местного и встречного движения.

Согласно ГОСТ Р 52398—2005 к классу «автомагистраль» относят автомобильные дороги:

имеющие на всем протяжении многополосную проезжую часть с центральной разделительной полосой (рис. 44.1);

Р и с. 44.1. Многополосная автомагистраль с металлическими ограждениями барьерного типа на разделительной полосе

Р и с. 44.2. Сложная развязка движения в разных уровнях на автомагистрали

не имеющие пересечений в одном уровне с автомобильными (рис. 44.2, 44.3), железными дорогами (рис. 44.4), трамвайными путями, велосипедными и пешеходными дорожками, доступ на которые возможен только через пересечения в разных уровнях, устроенные не чаще чем через 5 км друг от друга.

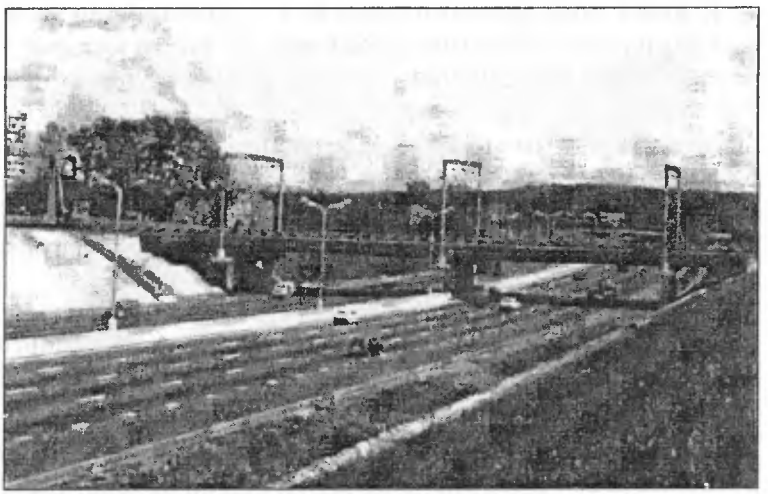
Автомагистрали — это наиболее совершенные и чрезвычайно дорогостоящие автомобильные дороги, обеспечивающие комфортабельные условия движения автомобилей с высокими безопасными скоростями движения до 140—150 км/ч. Они образуют основной скелет транспортных сетей экономически развитых стран.

Обязательным требованием к автомагистралям является выделение самостоятельных проезжих частей для встречных транспортных потоков и наличие разделительной полосы шириной от 3 до 13,5 м. Для обеспечения возможности обгона каждая из таких самостоятельных проезжих частей состоит не менее чем из двух полос движения. Часто на разделительной полосе устраивают двусторонние ограждения барьерного типа, а также предусматривают установку опор светильников для освещения проезжей части в ночное время (см. рис.

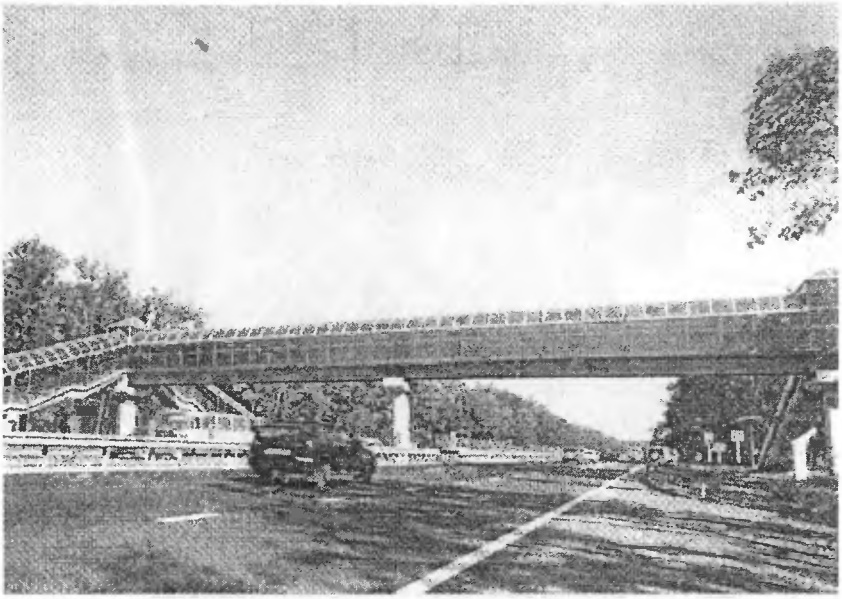
Р и с. 44.3. Примыкание в разных уровнях к автомагистрали дороги общего пользования

44.1). Минимальную ширину разделительной полосы при этом принимают равной 2 м + ширина ограждения. Двусторонние ограждения помимо предотвращения наиболее тяжких дорожно-транспортных происшествий — лобовых столкновений, обеспечивают недопущение ослепления водителей светом фар встречных автомобилей.

Отсутствие пересечений и примыканий дорог в одном уровне, кроме участков ответвлений и примыканий соединительных рамп развязок движений в разных уровнях, где обязательно предусматривают устройство дополнительных полос для разгона и торможения



Р и с. 44.4. Железнодорожный путепровод Павелецкого направления на МКАДе



Р и с. 44.5. Пешеходный путепровод закрытого типа на автомагистрали

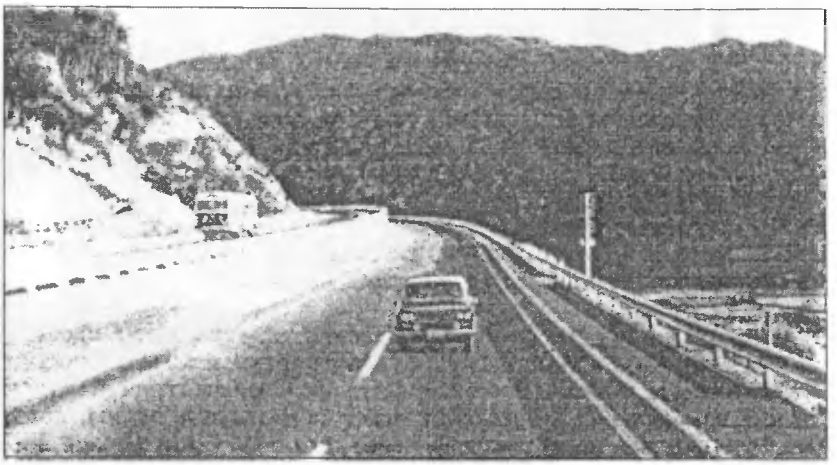
автомобилей — переходно-скоростных полос (ПСП), обеспечивает условия безопасного движения автомобилей с расчетными скоростями. Кроме того, на автомагистралях запрещают движение пешеходов (рис. 44.5) и тихоходных транспортных средств: велосипедов, тракторов, сельскохозяйственных машин, конных повозок.

По действующей классификации автомобильных дорог в России, согласно ГОСТ Р 52398—2005, к классу автомагистралей относят дороги IA категории.

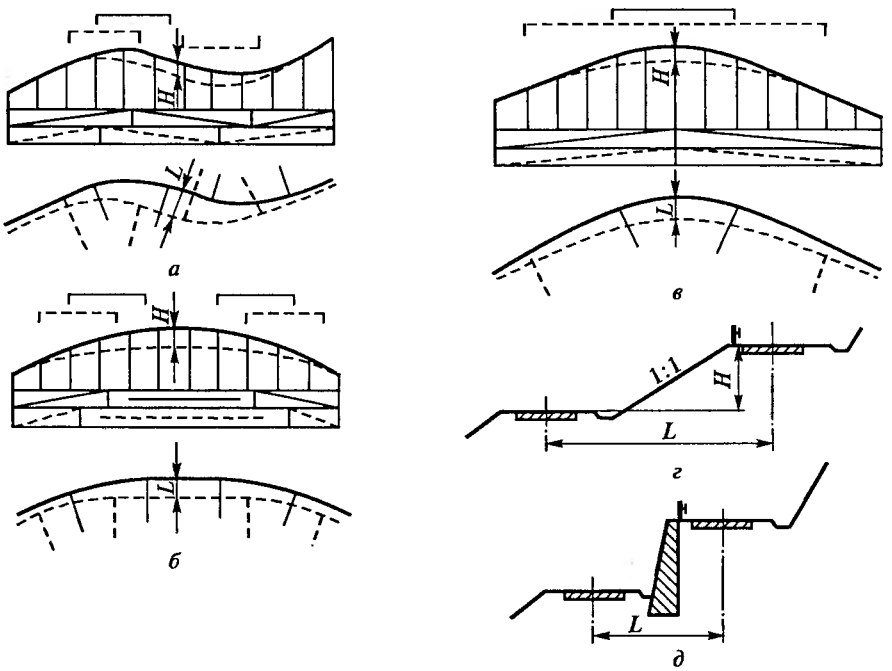
Разделение единой проезжей части на две самостоятельные дает возможность проектировщикам наилучшим образом приспосабливать дорогу к рельефу местности, применяя ступенчатое расположение проезжих частей разных направлений на косогорах, и обеспечивать даже их самостоятельное трассирование (рис. 44.6) с плавным разделением и слиянием проезжих частей при переходе от единого полотна дороги к раздельным и наоборот (рис. 44.7).

Много общего в принципах проектирования с «автомагистралями» (категория IA) имеют «скоростные дороги» IБ категории, а также «дороги общего пользования» IВ категории (рис. 44.8).

Многополосные дороги IБ и IВ категорий предназначены преимущественно для интенсивных автомобильных перевозок на срав-

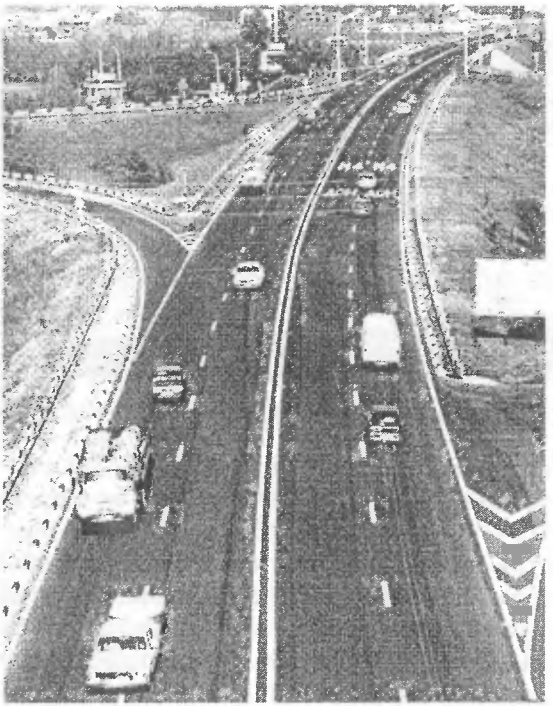


Р и с. 44.6. Ступенчатое расположение проезжих частей автомагистрали на косогоре



Р и с. 44.7. Способы перехода от обычного к ступенчатому расположению проезжих частей:

а—в — продольные профили и планы трассы; *г*, *д* — поперечные профили



Р и с. 44.8. Дорога общего пользования IB категории

нительно короткие расстояния в зонах крупных городов и промышленных центров с расчетными скоростями 140 и 120 км/ч соответственно. Доступ на такие дороги возможен с примыканий в одном уровне, но без пересечения прямых направлений и при условии обязательного устройства переходно-скоростных полос (ПСП).

В связи с тем что автомагистрали предназначены для перевозок на большие расстояния, вдоль всего пути следования обязательно предусматривают строительство сооружений и устройств обслуживания дорожного движении и прежде всего зданий и сооружений дорожной и автотранспортной служб, автостанций и автовокзалов, автобусных остановок и автопавильонов, площадок отдыха, автозаправочных станций (АЗС), станций технического обслуживания (СТО), сооружений автосервиса (гостиниц, мотелей, кемпингов, пунктов торговли, общественного питания, медицинского обслуживания, связи), технических средств организации и обеспечения безопасности движения (дорожных знаков и указателей, разметки, направляющих и ограждающих устройств и т.д.).

Р и с. 44.9. Информационные знаки на автомагистрали

На автомагистралях совершенно обязательной является установка информационных знаков о расположении на пути следования населенных пунктов, пунктов обслуживания дорожного движения и других объектов, а также о расстояниях до них (рис. 44.9).

Строительство автомагистралей оправдывает себя лишь при высокой интенсивности движения свыше 10 000 авт/сут (16 000 прив.ед/сут). При интенсивности 25—30 тыс. авт/сут уже переходят на три полосы движения в каждом направлении и т.д.

Несмотря на то, что динамические характеристики современных автомобилей позволяют реализовывать в свободных условиях очень высокие скорости движения (свыше 200 км/ч), расчетные скорости, используемые при определении геометрических параметров плана и профиля автомагистралей, ограничивают скоростью 140 км/ч, что обусловлено следующими причинами:

невозможностью безопасного движения с максимальными скоростями всего смешанного по составу транспортного потока, состоящего из автомобилей различных габаритов, грузоподъемности и динамических характеристик. Чем выше интенсивность движения и плотность транспортного потока, тем выше взаимные помехи автомобилей, сильно снижающие безопасную скорость всего потока;

сильным возрастанием при увеличении расчетной скорости стоимости строительства автомагистралей и без того чрезвычайно высокой;

значительным увеличением транспортных расходов (в частности, расхода топлива) с увеличением скорости движения;

ростом количества и тяжести дорожно-транспортных происшествий.

При расчетах геометрических параметров автомагистралей в плане и продольном профиле руководствуются закономерностями

движения автомобилей с высокими скоростями (см. гл. 3 и 4) и учитывают:

уменьшение коэффициента сцепления колес автомобилей с покрытием с ростом скорости движения;

необходимость определения минимальных радиусов горизонтальных кривых в плане для обеспечения комфортабельности длительных поездок пассажиров исходя из значений коэффициентов поперечной силы не более $\mu = 0{,}05 \div 0{,}08$;

необходимость обязательного учета принципов ландшафтного проектирования;

существенное увеличение длины тормозного пути в связи с усталостным возрастанием времени психологической реакции водителя до $t_0 = 2 \div 3$ с и со снижением коэффициента продольного сцепления колес с дорогой.

Учитывая эти особенности, современные нормы проектирования автомагистралей предусматривают следующие их основные параметры:

ширина полосы движения — 3,75 м;

ширина обочины — 3,75 м;

продольные уклоны — не более 30‰;

расстояние видимости поверхности дороги — не менее 450 м;

радиусы кривых в плане — не менее 3000 м;

радиусы кривых в продольном профиле:

— выпуклых — не менее 70 000 м;

— вогнутых — не менее 8000 м;

длины вертикальных кривых:

— выпуклых — не менее 300 м;

— вогнутых — не менее 100 м;

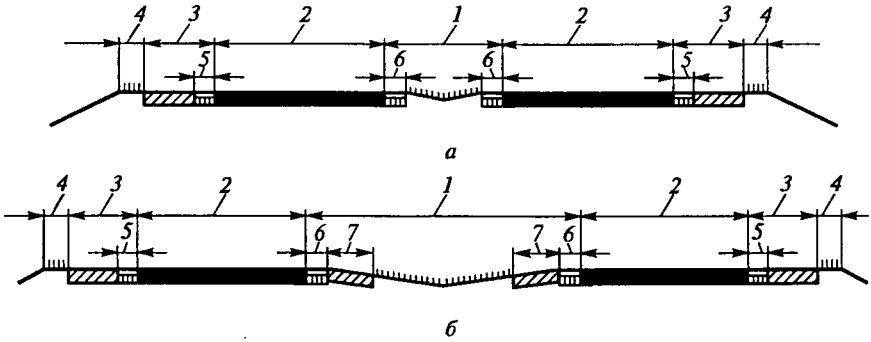
длины кривых в плане — не менее 300 м.

44.2. Поперечные профили автомагистралей

Поперечные профили автомагистралей имеют существенные отличия от поперечных профилей дорог других категорий (рис. 44.10), в частности:

встречные транспортные потоки отделяются друг от друга *разделительной полосой*, пересечение которой автомобилями не допускается;

на проезжей части каждого направления транспортный поток делится по скоростям горизонтальной разметкой, при этом каждая проезжая часть соответствующего направления имеет не менее двух полос движения, из которых внутренняя служит для обгона и для движения скоростного транспорта;



Р и с. 44.10. Элементы поперечного профиля автомагистралей:

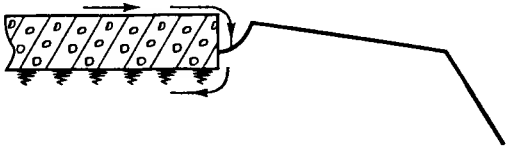
а — при разделительной полосе с двусторонним барьерным ограждением; *б* — при широкой разделительной полосе: *1* — разделительная полоса; *2* — проезжая часть; *3* — стояночная полоса или дополнительная полоса для движения на подъем; *4* — грунтовая обочина; *5* — внешняя краевая полоса; *6* — внутренняя краевая полоса; *7* — внутренняя укрепленная обочина

с внешней и внутренней сторон каждой проезжей части обязательно предусматривают устройство краевых (укрепленных) полос и укрепление остальной части разделительной полосы и обочин;

на участках ответвлений и примыканий соединительных съездов развязок движения в разных уровнях обязательно предусматривают устройство дополнительных полос — разгона торможения — переходно-скоростных полос (ПСП), с тем чтобы съезжающие с автомагистрали и въезжающие на нее автомобили не создавали помех основному транспортному потоку.

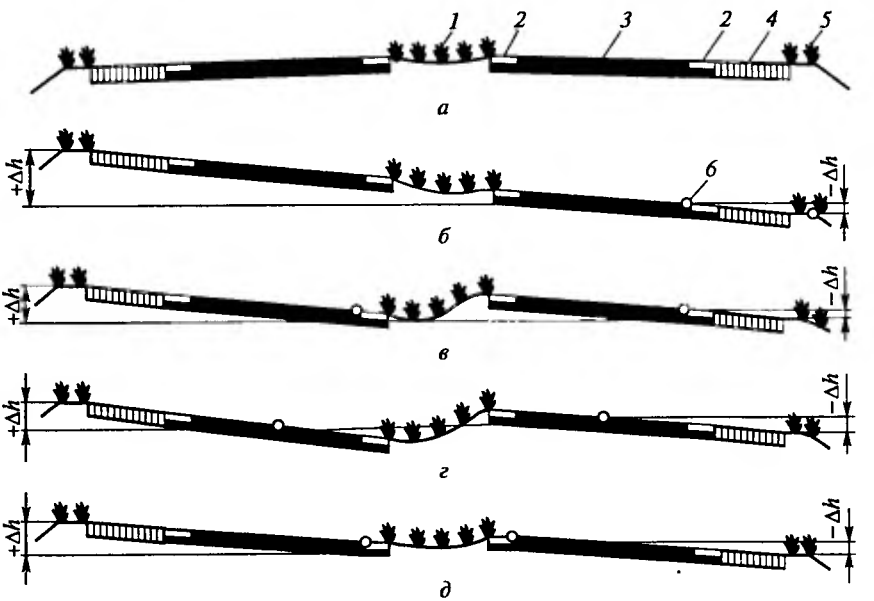
В связи с тем что при движении автомобилей по автомагистралям с высокими скоростями случайный съезд колеса автомобиля с покрытия основной проезжей части из-за разности коэффициентов шероховатостей создает реальную опасность заноса автомобиля, как правило, с тяжелейшими последствиями, с обеих сторон каждой проезжей части предусматривают устройство краевых полос шириной по 0,75 м на обочинах и по 1,0 м на разделительной полосе. Назначение краевых полос состоит также в том, что они предотвращают появление вдоль кромок проезжей части колееобразных углублений — реборд, чрезвычайно опасных для движения в ночное время, а также зимой, когда в результате заноса снегом они оказываются невидимыми для водителей. Стекающая в эти углубления с поверхности проезжей части вода вызывает переувлажнение грунтового основания дорожной одежды с соответствующим сокращением ее срока службы (рис. 44.11).

Р и с. 44.11. Схема увлажнения грунтового основания дорожной одежды через колееобразное углубление



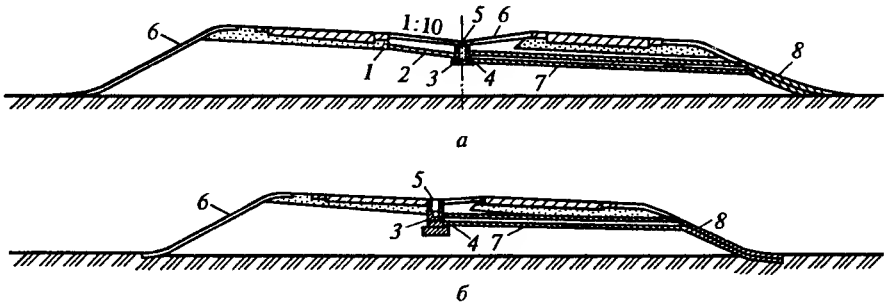
Краевые полосы устраивают либо из материала другого цвета, чем основная проезжая часть, либо отделяют ее сплошной разметкой. В последние годы краевые полосы стали устраивать по типу основной дорожной одежды, т.е. той же прочности (рис. 44.12, 44.13).

Выезд автомобилей на обочины автомагистралей запрещается и разрешается только для неисправных автомобилей. Поэтому за пределами краевой полосы также предусматривают укрепление обочин. Общую ширину каждой обочины (включая ширину краевой полосы) принимают не менее 3,75 м. Ширину укрепленной части обочины (за пределами краевой полосы) предусматривают не менее 3,0 м, с тем



Р и с. 44.12. Возможные конструкции виражей на автомагистралях:

а — поперечный профиль на прямых участках; *б* — поворот поверхности полотна относительно внутренней бровки или кромки покрытия; *в* — поворот проезжих частей направлений относительно их кромок; *г* — поворот проезжих частей относительно их осей; *д* — поворот проезжих частей относительно кромок, прилегающих к разделительной полосе; *1* — разделительная полоса; *2* — краевые полосы; *3* — проезжая часть; *4* — укрепленная обочина или остановочная полоса; *5* — грунтовая часть обочины; *б* — точки поворота проезжих частей



Р и с. 44.13. Схема поперечного водоотвода с разделительной полосы на вираже:

а — при широкой разделительной полосе; *б* — при узкой разделительной полосе; *1* — дренажная трубка для сбора воды из песчаного подстилающего слоя; *2* — трубка, отводящая воду в водосток; *3* — водоприемник; *4* — коллектор; *5* — водоприемная решетка; *6* — одерновка; *7* — водосброс под дорожной конструкцией; *8* — откосный водосброс

чтобы стоящие на ней неисправные автомобили не создавали помех основному транспортному потоку.

На автомагистралях с высокой интенсивностью движения на обочинах предусматривают также устройство *остановочных полос* с покрытиями по типу основной проезжей части для стоянки неисправных автомобилей, используя оставшуюся ширину грунтовой обочины шириной 0,5—0,75 м для установки барьерного ограждения.

Ширину разделительной полосы на автомагистралях принимают, как правило, не менее 5—6 м, с тем чтобы исключить взаимное влияние встречных транспортных потоков. В стесненных условиях предусматривают менее широкие разделительные полосы с устройством двустороннего ограждения барьерного типа или ограждения из специальных бетонных блоков типа «нью-джерси». В этом случае ширина разделительной полосы определяется из расчета 2,0 м + ширина ограждения. В случаях, когда рост интенсивности движения требует в ближайшей перспективе увеличения числа полос движения, ширину разделительной полосы принимают не менее 12,5—13,5 м, с тем чтобы с минимальными затратами можно было бы увеличить число полос движения в каждом направлении за счет уменьшения ширины разделительной полосы.

В России минимальную ширину разделительной полосы на дорога IА и IБ категорий принимают равной 6,0 м, а на дорогах IВ категории — 5,0 м.

Конструкции виражей на автомагистралях (см. рис. 44.12) сложнее, чем на обычных дорогах, в связи с большими величинами поднятия внешних кромок проезжих частей и необходимостью обеспечения поперечного водоотвода с разделительной полосы (см. рис. 44.13).

Глава 45

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ

45.1. Планировка уличной сети

Принципиальная планировка дорожно-уличной сети городов определяется размещением жилых кварталов, производственных предприятий и складов, административных и общественных зданий, автовокзалов, железнодорожных вокзалов и товарных станций, крупных зрелищных, культурно-бытовых и спортивных объектов, а также входами в города загородных автомагистралей и железных дорог.

Планировка старых городов складывалась исторически в течение ряда столетий под влиянием социальных, топографических и климатических условий. Планировку новых городов, развитие и реконструкцию существующих осуществляют на основе детального изучения прежде всего размещения производственных предприятий и жилых кварталов.

Различают три принципиальных случая планировки городов:

проектирование планировки нового города;

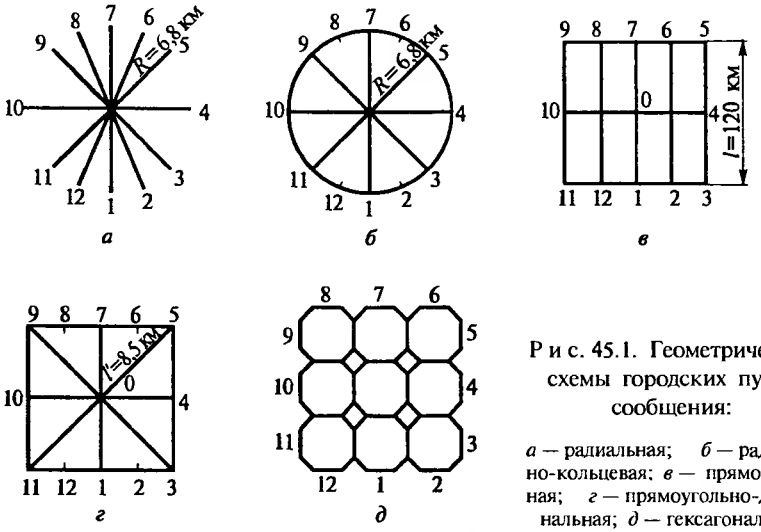
реконструкция существующего города;

реконструкция существующего города при значительном расширении его территории.

При планировке новых городов исходят из основных принципов создания наибольших удобств для населения, путем рационального размещения селитебных, производственных, ландшафтно-рекреационных зон и создания оптимальной системы городских путей сообщения.

При реконструкции существующего города задача заметно усложняется наличием капитальной застройки, закрепляющей исторически сложившуюся дорожно-уличную сеть, обычно не отвечающую современным транспортным требованиям.

В третьем случае, представляющем собой сочетание двух первых, система размещения промышленных и селитебных зон, а также система городских путей сообщения на вновь осваиваемых территориях могут быть решены с максимальным приближением к оптимуму. В существующей части города производят реконструкцию планировки, цель которой состоит в модернизации наиболее неблагоприятных с точки зрения требований транспорта элементов планировки. При этом возникает специфическая задача обеспечения дорожно-транспортной связи новых районов с районами старого города.



Р и с. 45.1. Геометрические схемы городских путей сообщения:

а — радиальная; *б* — радиально-кольцевая; *в* — прямоугольная; *г* — прямоугольно-диагональная; *д* — гексагональная

Анализ планировки существующих городов позволяет говорить о существовании нескольких принципиальных геометрических схем планировки городов:

радиальная;	гексагональная;
радиально-кольцевая;	треугольная;
прямоугольная;	свободная;
прямоугольно-диагональная;	смешанная.

Радиальная схема (рис. 45.1, *а*) характерна для небольших старинных городов, где дорожно-уличная сеть сформировалась вокруг исторически сложившейся сети старых гужевых дорог, идущих от центра в важнейших для города направлениях. Эта схема обеспечивает удобную кратчайшую связь периферии с центром, однако затрудняет связь периферийных районов между собой. При этой схеме происходит неизбежная перегрузка центрального транспортного узла.

Радиально-кольцевая схема (рис. 45.1, *б*) обычно встречается в крупных старинных городах-крепостях, она возникла в процессе исторического совершенствования радиальной схемы. Внегородские тракты, сходящиеся в центре, превратились в радиальные магистрали, идущие в исторически важных для города направлениях, а кольцевые магистрали возникли по трассам крепостных стен и валов, концентрически опоясывавших территории растущего города. При такой схеме обеспечивается удобная связь периферийных районов города между собой и центром, однако сохраняется перегрузка центрального транспортного узла, а радиальные магистрали оказываются загруженными транспортом в значительно большей степени, чем

кольцевые. Классическим примером радиально-кольцевой схемы является система магистральных улиц г. Москвы.

Прямоугольная схема характерна для сравнительно молодых городов, основанных в XVII—XVIII вв. и развивающихся по заранее разработанным планам (рис. 45.1, *в*). К достоинствам такой схемы планировки дорожно-уличной сети относятся отсутствие ярко выраженного центрального транспортного узла, равномерная нагрузка всех транспортных магистралей и высокая пропускная способность городской сети в целом вследствие наличия дублирующих транспортных связей. Слабым местом такой сети является отсутствие кратчайших транспортных связей по актуальным диагональным направлениям.

Прямоугольно-диагональная схема (рис. 45.1, *г*) является рациональным развитием прямоугольной дорожно-уличной сети, где по важнейшим диагональным направлениям обеспечиваются кратчайшие транспортные связи диагональными магистралями, наложенными на прямоугольную сетку. Сохраняя достоинства прямоугольной схемы, прямоугольно-диагональная схема свободна от основного ее недостатка.

Гексагональная схема (рис. 45.1, *д*) — это построение дорожно-уличной сети, продиктованное стремлением не допускать образования протяженных прямолинейных участков скоростного движения и сложных транспортных узлов на их пересечениях. Эту схему иногда используют при планировке селитебных зон и небольших курортных городов и поселков.

Треугольная схема получила сравнительно небольшое распространение в старых крупных европейских городах (Лондон, Париж и т.д.). Образующиеся острые углы в местах пересечений весьма неудобны как для застройки городских территорий, так и для организации движения городского транспорта.

Свободная схема характерна для восточных городов в основном с одно- и малоэтажной застройкой и старых европейских городов с наличием большого числа узких изогнутых улиц с частыми пересечениями. Эта схема ни в коем случае не отвечает требованиям движения городского транспорта и для крупных современных городов неприменима.

Смешанная схема часто встречается в крупных городах. Например, она характерна для Санкт-Петербурга, где исторический центр города построен по радиально-кольцевой схеме, а более молодые районы — по прямоугольной и прямоугольно-диагональной схемам.

В проектах планировки и застройки городских и сельских поселений предусматривают рациональную очередность их развития. При

этом определяют перспективы развития поселения за пределами расчетного срока, включая принципиальные решения по территориальному развитию, функциональному зонированию, планировочной структуре, инженерно-транспортной инфраструктуре, рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды.

Как правило, расчетный срок принимают равным 20 годам, а градостроительный прогноз может охватывать 30—40 лет.

Городские и сельские поселения в зависимости от проектной численности населения на расчетный срок, согласно СНиП 2.07.01—89*, подразделяют на группы (табл. 45.1).

Таблица 45.1. **Группы поселений**

Группы поселений	Население, тыс. чел.	
	города	сельские поселения
Крупнейшие	Свыше 1000	—
Крупные	От 500 до 1000 » 250 » 500	Свыше 5 От 3 до 5
Большие	» 100 » 250	» 1 » 3
Средние	» 50 » 100	» 0,2 » 1
Малые*	» 20 » 50 » 10 » 20	» 0,05 » 0,2 До 0,05

*В группу малых городов включаются поселки городского типа.

Планировка дорожно-уличной сети оказывает определяющее влияние на работу городского транспорта. По сравнению с кратчайшими направлениями по воздушным линиям планировка по прямоугольным схемам определяет перепробег транспорта в среднем на 27%, а радиально-кольцевая — на 10%. Уличные сети количественно характеризуются *плотностью* — общим протяжением дорожно-уличной сети на 1 км^2 городской территории. Обычно плотность магистральных улиц составляет 2—2,5 км/км^2, расстояния между городскими магистралями — 800—1000 м, расстояния между жилыми улицами — 200—300 м, размеры кварталов — 8—12 га.

Современная классификация городских улиц и дорог, согласно СНиП 2.07.01—89*, учитывает их основные признаки и характеристики: характер застройки, перспективную интенсивность движения, виды городского транспорта, характеристики подземного хозяйства, положение улицы или дороги по отношению к входным участкам загородных дорог и автомагистралей (табл. 45.2).

Таблица 45.2. **Классификация городских улиц и дорог**

Категории дорог и улиц	Основное назначение улиц и дорог
Магистральные дороги: скоростного движения	Скоростная транспортная связь между удаленными промышленными и планировочными районами в крупнейших и крупных городах; выходы на внешние автомобильные дороги, к аэропортам, крупным зонам массового отдыха и поселениям в системе расселения. Пересечения с магистральными улицами и дорогами в разных уровнях
регулируемого движения	Транспортная связь между районами города на отдельных направлениях и участках преимущественно грузового движения, осуществляемого вне жилой застройки, выходы на внешние автомобильные дороги, пересечения с улицами и дорогами, как правило, в одном уровне
Магистральные улицы: общегородского значения: непрерывного движения	Транспортная связь между жилыми, промышленными районами и общественными центрами в крупнейших, крупных и больших городах, а также с другими магистральными улицами, городскими и внешними автомобильными дорогами. Обеспечение движения транспорта по основным направлениям в разных уровнях
регулируемого движения	Транспортная связь между жилыми, промышленными районами и центром города, центрами планировочных районов, выходы на магистральные улицы и дороги и внешние автомобильные дороги. Пересечения с магистральными улицами и дорогами, как правило, в одном уровне
районного значения: транспортно-пешеходные	Транспортная и пешеходная связи между жилыми районами, а также между жилыми и промышленными районами, общественными центрами, выходы на другие магистральные улицы
пешеходно-транспортные	Пешеходная и транспортная связи (преимущественно общественный пассажирский транспорт) в пределах планировочного района
Улицы и дороги местного значения: улицы жилой застройки	Транспортная (без пропуска грузового и общественного транспорта) и пешеходная связи на территории жилых районов (микрорайонов), выходы на магистральные улицы и дороги регулируемого движения

Окончание табл. 45.2

Категории дорог и улиц	Основное назначение улиц и дорог
улицы и дороги в научно-производственных, промышленных и коммунально-складских зонах (районах)	Транспортная связь преимущественно легкового и грузового транспорта в пределах зон (районов), выходы на магистральные городские дороги. Пересечения с улицами и дорогами устраиваются в одном уровне
пешеходные улицы и дороги	Пешеходная связь с местами приложения труда, учреждениями и предприятиями обслуживания, в том числе в пределах общественных центров, местами отдыха и остановочными пунктами общественного транспорта
парковые дороги	Транспортная связь в пределах территорий парков и лесопарков преимущественно для движения легковых автомобилей
проезды	Подъезд транспортных средств к жилым и общественным зданиям, учреждениям, предприятиям и другим объектам городской застройки внутри районов, микрорайонов, кварталов
велосипедные дорожки	Проезд на велосипедах по свободным от других видов транспортного движения трассам к местам отдыха, общественным центрам, а в крупнейших городах связь в пределах планировочных районов

Примечания: 1. Главные улицы, как правило, выделяются из состава транспортно-пешеходных, пешеходно-транспортных и пешеходных улиц и являются основой архитектурно-планировочного построения общегородского центра.

2. В зависимости от величины и планировочной структуры городов, объемов движения указанные категории улиц и дорог допускается дополнять или применять их неполный состав. Если расчетные затраты времени на трудовые передвижения превышают установленные настоящими нормами, допускается при наличии специальных обоснований принимать категории магистральных улиц и дорог, приведенные в настоящей таблице для групп городов с большей численностью населения.

3. В условиях реконструкции, а также для улиц районного значения допускается устройство магистралей или их участков, предназначенных для пропуска средств общественного транспорта с организацией трамвайно-пешеходного, троллейбусно-пешеходного или автобусно-пешеходного движения.

4. В исторических городах следует предусматривать исключение или сокращение объемов движения наземного транспорта через территорию исторического ядра общегородского центра: устройство обходных магистральных улиц, улиц с ограниченным движением транспорта, пешеходных улиц и зон; размещение стоянок автомобилей преимущественно по периметру ядра.

Затраты времени в городах на передвижение от мест проживания до мест работы для 90% трудящихся (в один конец) не должны превышать (мин) для городов с населением (тыс. чел.):

2000	45	250	35
1000	40	100 и менее	30
500	37		

Для ежедневно приезжающих на работу в город-центр из других поселений указанные нормы затрат времени увеличивают, но не более чем в два раза.

Согласно действующим нормативным документам ширину улиц между красными линиями принимают[1]:

магистральных дорог — 50—75 м;

магистральных улиц — 40—80 м;

улиц и дорог местного значения — 15—25 м.

Расчетные параметры улиц и дорог городов, согласно СНиП 2.07.01—89*, принимают по табл. 45.3.

Таблица 45.3. **Расчетные параметры городских улиц и дорог**

Категория дорог и улиц	Расчетная скорость движения, км/ч	Ширина полосы движения, м	Число полос движения	Наименьший радиус кривых в плане, м	Наибольший продольный уклон, ‰	Ширина пешеходной части тротуара, м
Магистральные дороги:						
скоростного движения	120	3,75	4—8	600	30	—
регулируемого движения	80	3,50	2—6	400	50	—
Магистральные улицы:						
общегородского значения:						
непрерывного движения	100	3,75	4—8	500	40	4,5
регулируемого движения	80	3,50	4—8	400	50	3,0
районного значения:						
транспортно-пешеходные	70	3,50	2—4	250	60	2,25
пешеходно-транспортные	50	4,00	2	125	40	3,0
улицы и дороги местного значения:						
улицы в жилой застройке	40	3,00	2—3*	90	70	1,5
	30	3,00	2	50	80	1,5

[1] *Красными линиями* называют линии, определяющие границы городской застройки, в пределах которых размещают улицы и городские дороги со всеми их элементами. Общая ширина улиц в красных линиях определяется расстоянием между ними, а не расстоянием между зданиями. План красных линий — важнейший исходный проектный документ, в соответствии с которым осуществляют последующее проектирование городских улиц и дорог.

Окончание табл. 45.3

Категория дорог и улиц	Расчетная скорость движения, км/ч	Ширина полосы движения, м	Число полос движения	Наименьший радиус кривых в плане, м	Наибольший продольный уклон, ‰	Ширина пешеходной части тротуара, м
улицы и дороги научно-производственных, промышленных и коммунально-складских районов	50	3,50	2—4	90	60	1,5
парковые дороги	40	3,00	2	75	80	—
Проезды:						
основные	40	2,75	2	50	70	1,0
второстепенные	30	3,50	1	25	80	0,75
Пешеходные улицы:						
основные	—	1,0	По расчету	—	40	По проекту
второстепенные	—	0,75	То же	—	60	То же
Велосипедные дорожки:						
обособленные	20	1,50	1—2	30	40	—
изолированные	30	1,50	2—4	50	30	—

*С использованием одной полосы для стоянок легковых автомобилей.

Примечания: 1. Ширина улиц и дорог определяется расчетом в зависимости от интенсивности движения транспорта и пешеходов, состава размещаемых в пределах поперечного профиля элементов (проезжих частей, технических полос для прокладки подземных коммуникаций, тротуаров, зеленых насаждений и т.д.), с учетом санитарно-гигиенических требований и требований гражданской обороны.

2. В условиях сложного рельефа или реконструкции, а также в зонах с высокой градостроительной ценностью территории допускается снижать расчетную скорость движения для дорог скоростного и улиц непрерывного движения на 10 км/ч с уменьшением радиусов кривых в плане и увеличением продольных уклонов.

3. Для движения автобусов и троллейбусов на магистральных улицах и дорогах в больших, крупных и крупнейших городах следует предусматривать крайнюю полосу шириной 4 м; для пропуска автобусов в часы «пик» при интенсивности более 40 ед/ч, а в условиях реконструкции — более 20 ед/ч допускается устройство обособленной проезжей части шириной 8—12 м.

На магистральных дорогах с преимущественным движением грузовых автомобилей допускается увеличивать ширину полосы движения до 4 м.

4. В ширину пешеходной части тротуаров и дорожек не включаются площади, необходимые для размещения киосков, скамеек и т.д.

5. В условиях реконструкции на улицах местного значения, а также при расчетном пешеходном движении менее 50 чел./ч в обоих направлениях допускается устройство тротуаров и дорожек шириной 1 м.

6. При непосредственном примыкании тротуаров к стенам зданий или оградам допускается увеличивать их ширину не менее чем на 0,5 м.

К элементам городских улиц относят:
проезжие части транзитного и местного движения;
трамвайное полотно;
тротуары;
велосипедные дорожки;
полосы озеленения.

Ширину проезжей части определяют в зависимости от перспективной интенсивности движения в часы «пик» и пропускной способности одной полосы, которая, в свою очередь, определяется категорией улицы, расстоянием между перекрестками и их пропускной способностью.

Для предварительных расчетов пропускную способность одной полосы можно определять по табл. 45.4.

Таблица 45.4. **Пропускная способность одной полосы движения**

Транспортные средства	Наибольшее число однородных физических единиц транспорта, пропускаемых в 1 ч		
	при пересечении в разных уровнях		при пересечении в одном уровне
	на скоростных дорогах	на магистральных улицах непрерывного движения	
Легковые автомобили	1200—1500	1000—1200	600—700
Грузовые автомобили	600—800	500—650	300—400
Автобусы	200—300	150—250	100—150
Троллейбусы	—	110—130	70—90

Примечание. Пропускная способность пересечений в одном уровне определена для регулируемых светофорами перекрестков при отсутствии левоповоротного движения. При наличии на перекрестке левоповоротного движения пропускная способность полосы уменьшается пропорционально величине левоповоротного движения.

Наименьшую ширину проезжей части улиц можно определять по табл. 45.5.

Трамвайное полотно может быть расположено несколькими способами: посередине улицы, со смещением к одной стороне улицы или по двум сторонам бульвара (с каждой стороны по одной колее). Трамвайное полотно размещают или в одном уровне с проезжей частью, или на самостоятельном полотне (рис. 45.2). В центральных районах крупных и крупнейших городов при ограниченной пропускной способности улично-дорожной сети нередко предусматривают внеуточ-

ные участки трамвайных линий в тоннелях мелкого заложения или на эстакадах.

Таблица 45.5. **Данные для определения наименьшей ширины проезжей части улиц**

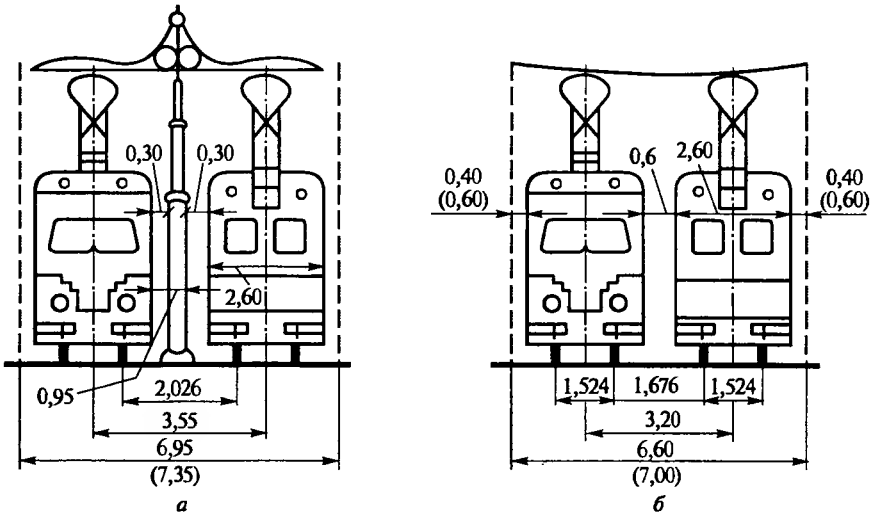
Категории улиц и дорог	Ширина одной полосы движения	Число полос движения проезжей части в обоих направлениях		Ширина полосы безопасности между проезжей частью и бордюром
		наименьшее	с учетом резерва	
Скоростные дороги	3,75	6	8	1
Магистральные улицы и дороги общегородского значения:				
непрерывного движения	3,75	6	8	0,75
регулируемого движения	3,75	4	6	0,50
районного значения	3,75	4	6	—
дороги грузового движения	3,75	2	4	—
Улицы и дороги местного значения:				
жилые улицы	3,00	2	4	—
дороги промышленных и коммунально-складских районов	3,75	2	4	—
поселковые улицы	3,50	2	2	—
поселковые дороги	3,50	2	2	—

Примечания: 1. При осуществлении очередности строительства улиц и дорог резервные полосы, оставляемые для расширения проезжей части до расчетной, временно используют для озеленения.

2. При небольшой интенсивности движения и двустороннем троллейбусном движении общую ширину проезжей части назначают не менее 10,5 м.

Расстояния между остановочными пунктами на линиях общественного транспорта в пределах городских территорий предусматривают: для автобусов, троллейбусов и трамваев — 400—600 м, экспресс-автобусов и скоростных трамваев — 800—1200 м, метрополитена — 1000—2000 м, электрифицированных железных дорог — 1500—2000 м.

При строительстве обособленного трамвайного полотна повышаются скорость и безопасность движения при соответствующем снижении сметной стоимости строительства и эксплуатационных расходов. Однако в этом случае создаются трудности для переезда с одной улицы на другую и трамвайным полотном не могут пользоваться другие виды транспорта.



Р и с. 45.2. Размеры трамвайного полотна:

а — при центральных мачтах; *б* — при двусторонних мачтах (цифры в скобках относятся к устройству обособленного трамвайного полотна)

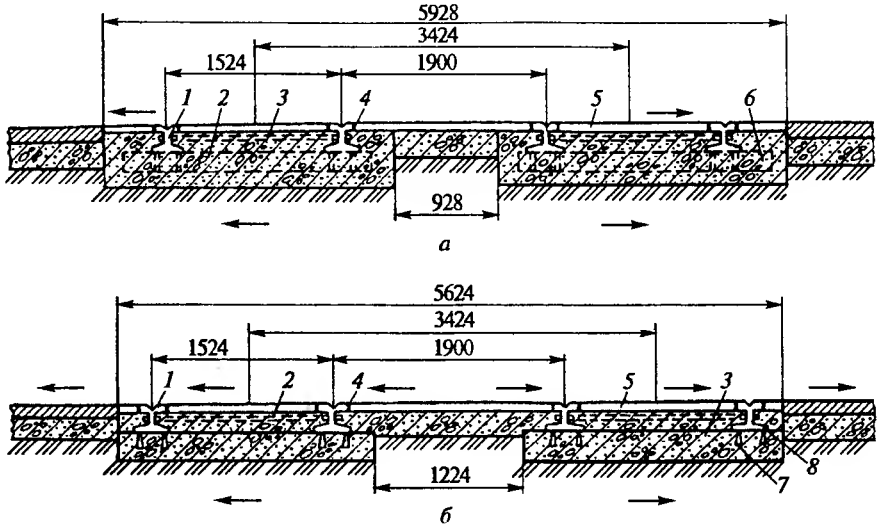
При определении требуемой ширины проезжей части улиц при наличии трамвайного движения между трамвайным вагоном и кузовом автомобиля принимают зазор 0,4 м. Минимальное расстояние от оси трамвайного пути должно быть не менее 2,0 м.

Для предохранения асфальтобетонных покрытий от разрушения в результате вибрации рельсов их отделяют от проезжей части полосой брусчатки или булыжной мостовой шириной 0,4—0,5 м. Современные конструкции трамвайного полотна предусматривают укладку рельсов на бетонное основание с жесткой их заделкой, исключающей возможность вибрации (рис. 45.3).

Минимальный радиус кривой трамвайной линии принимают 20 м. При этом на кривых малых радиусов уширяют колею, наружный рельс располагают выше внутреннего и увеличивают расстояния между осями колей противоположных направлений на размер выноса угла вагона и свеса середины вагона.

Ширину пешеходной части тротуаров принимают в соответствии с табл. 45.3, при этом в ширину пешеходной части тротуаров и пешеходных дорожек не входят площади, необходимые для размещения опор освещения, опор контактной сети, киосков, скамеек и т.д.

Велосипедные дорожки могут быть предусмотрены на магистральных улицах регулируемого движения с выделением их разделитель-



Р и с. 45.3. Конструкция трамвайных путей:

а — шпально-бетонное основание; *б* — анкерное основание: *1* — рельсы; *2* — металлические тяги; *3* — бетон; *4* — битум с волокнистым заполнителем; *5* — асфальтобетон; *6* — шпалы; *7* — анкеры; *8* — металлические пластины

ными полосами. В зонах массового отдыха населения и на других озелененных территориях предусматривают велосипедные дорожки одно- и двустороннего движения, изолированные от улиц, дорог и пешеходного движения при наименьшем расстоянии от края велодорожки:

до проезжей части, опор, деревьев — 0,75 м;

до тротуаров — 0,5 м;

до стоянок автомобилей и остановок общественного транспорта — 1,5 м.

При устройстве велосипедных дорожек по краю проезжей части улиц и дорог их отделяют маркировкой двойной линией. Ширина полосы велодорожки должная быть не менее 1,2 м при движении по направлению транспортного потока и не менее 1,5 м при встречном движении. Ширина полосы велодорожки, устраиваемой вдоль тротуара, должна быть не менее 1,0 м.

Бульвары и пешеходные аллеи предусматривают в направлении массовых потоков пешеходного движения. Размещение бульвара, его протяженность и ширину, а также место в поперечном профиле улицы определяют с учетом архитектурно-планировочного решения

улицы и ее застройки. На бульварах и пешеходных аллеях предусматривают скамейки и площадки для кратковременного отдыха.

Ширину бульваров с одной продольной пешеходной аллеей принимают не менее, размещаемых:

по оси улиц — 18 м;

с одной стороны улицы между проезжей частью и застройкой — 10 м.

Озелененные территории общего пользования благоустраивают и оборудуют малыми архитектурными формами: фонтанами и бассейнами, лестницами, пандусами, подпорными стенками, беседками, светильниками и т.д. Ширину пешеходных дорожек принимают кратной 0,75 м (ширина одной полосы движения).

Минимальные расстояния (м) до ствола дерева (кустарника) принимают от:

наружной стены здания или сооружения — 5,0 (1,5);

края трамвайного полотна — 5,0 (3,0);

края тротуара или пешеходной дорожки — 0,7 (0,5);

края проезжей части улиц, краевой полосы — 2,0 (1,0);

подошвы или внутренней грани подпорной стенки — 3,0 (1,0);

газопровода, канализации — 1,5;

тепловой сети — 2,0 (1,0);

кабеля — 2,0 (0,7).

Подземные коммуникации размещают преимущественно в пределах поперечных профилей улиц и дорог: под тротуарами и разделительными полосами, в коллекторах, каналах или тоннелях. Газопроводы низкого давления и кабельные сети размещают между красной линией и линией застройки.

При ширине проезжей части более 22 м размещение водопровода предусматривают по обеим сторонам улиц.

При реконструкции проезжих частей улиц и дорог с устройством капитальных покрытий, под которыми расположены подземные инженерные сети, по возможности предусматривают вынос этих сетей под тротуары и разделительные полосы. При соответствующем обосновании допускается сохранение под проезжими частями существующих инженерных сетей, а также прокладка новых сетей в каналах и тоннелях.

В районах распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов при строительстве инженерных сетей с сохранением грунтов в мерзлом состоянии размещение теплопроводов предусматривают обязательно в каналах или тоннелях независимо от их диаметра.

При пересечении подземных инженерных сетей с подземными пешеходными переходами прокладку трубопроводов предусматривают под тоннелями, а кабелей — над ними.

Магистральные трубопроводы прокладывают за пределами селитебных зон.

При проектировании вертикальной планировки отвод поверхностных вод предусматривают в закрытую ливневую канализацию с предварительной очисткой стока. Вероятность превышения паводков принимают: 1% — для территорий, застроенных жилыми и общественными зданиями, и 10% — для территорий парков и стадионов.

45.2. Поперечные профили городских улиц и дорог

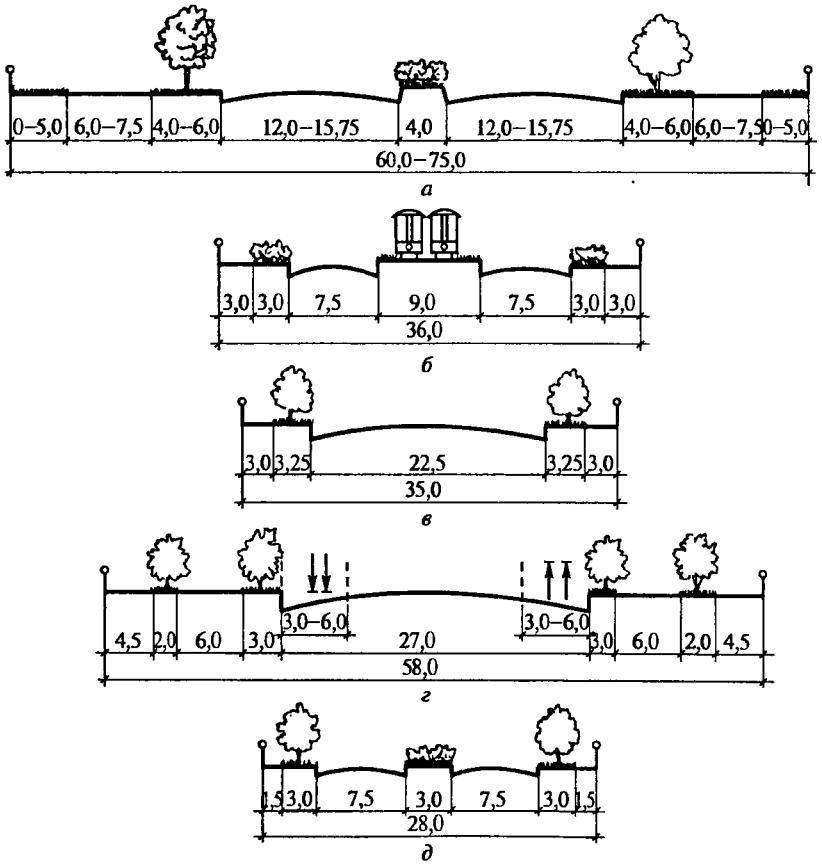
Поперечные профили городских улиц и дорог проектируют, руководствуясь данными о перспективной интенсивности и составе движения (категорией и назначением городской улицы или дороги), характеристиками пешеходного движения (интенсивностью и направлением пешеходного движения), наличием в транспортном потоке общественных видов транспорта (трамваев, троллейбусов, автобусов), характером будущей застройки и положением городской улицы или дороги в общем плане дорожно-уличной сети (планом красных линий), характеристиками подземного хозяйства, положением городской улицы или дороги по отношению к входным участкам загородных дорог и автомагистралей (см. табл. 45.2, 45.3).

Поперечные профили для каждой категории городской улицы или дороги могут существенно различаться в зависимости от конкретных условий движения и плана красных линий (рис. 45.4).

Поперечный профиль магистральной улицы общегородского значения характерен выделением части улицы для транзитного движения, где запрещена остановка транспортных средств, и для местного движения (рис. 45.4, *а*). В целях обеспечения безопасности движения проезжие части различного назначения и направлений разделяют озелененными разделительными полосами шириной 4—6 м.

Магистральные улицы районного значения могут иметь при наличии трамвайного движения обособленное трамвайное полотно (рис. 45.4, *б*) и не иметь его (рис. 45.4, *в*). При наличии обособленного трамвайного полотна последнее включает в себя и устраиваемые периодически посадочные площадки.

В крупнейших и крупных городах обязательно выделяют «главную» магистральную улицу общегородского значения (например, ул. Тверская в Москве, ул. Крещатик в Киеве и т.д.), которая обеспе-

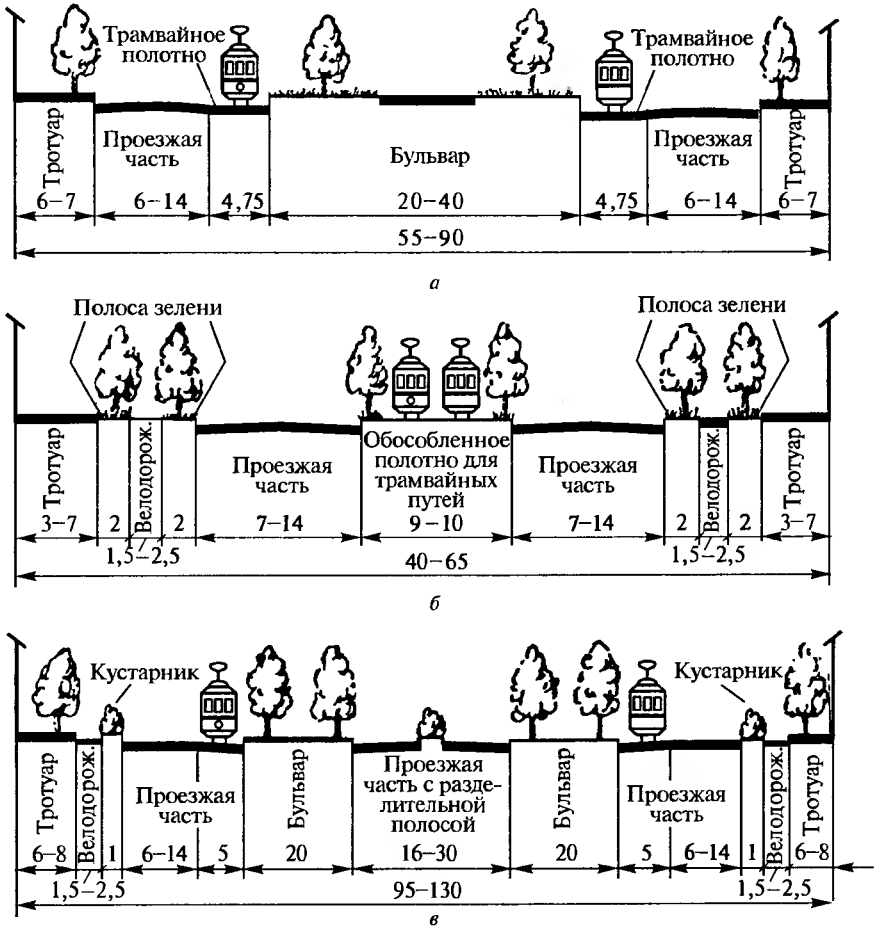


Р и с. 45.4. Характерные поперечные профили городских улиц:

а — магистральная улица общегородского значения; *б* — поперечный профиль магистральной улицы с трамвайным полотном; *в* — то же, без трамвайного полотна; *г* — главная улица с широкими тротуарами; *д* — улица промышленных и коммунально-складских районов

чивает удобный доступ к основным общественным учреждениям, торговым и историческим объектам центральной части города. Такая магистральная улица характеризуется интенсивным пешеходным и пассажирским движением. Трамвайное и грузовое движение на главной магистральной улице исключается. Поперечный профиль главной магистральной улицы характерен наличием широких тротуаров и специальных полос для стоянки автомобилей вдоль проезжей части с каждой стороны (рис. 45.4, *г*).

Поперечный профиль магистральных улиц промышленных и коммунально-складских районов имеет общую ширину проезжей

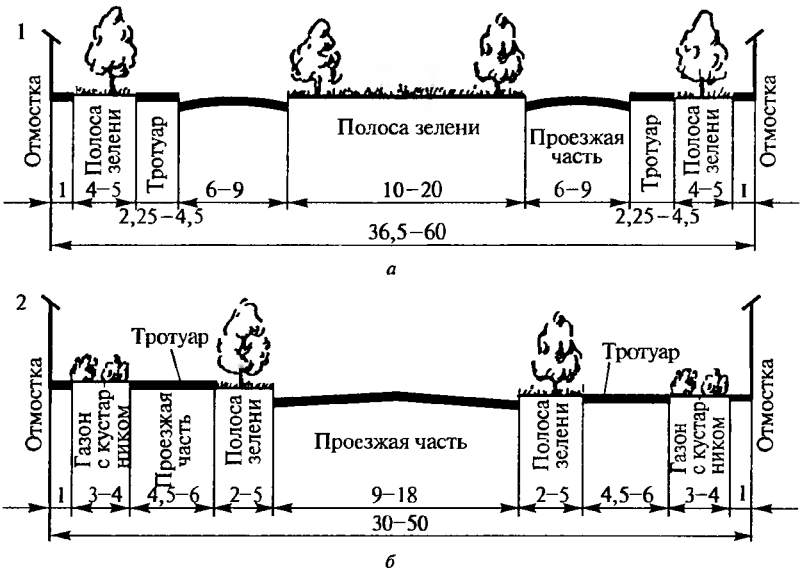


Р и с. 45.5. Поперечные профили магистральных улиц общегородского и районного значения с трамвайными путями:

а — на общей проезжей части; *б* — на обособленном полотне; *в* — на общей проезжей части местных проездов

части не менее 15 м (по две полосы в каждом направлении), тротуары шириной не менее 1,5 м и может иметь обособленное трамвайное полотно (рис. 45.4, *д*).

При наличии велосипедного движения с интенсивностью более 50 вел/ч на магистральных улицах регулируемого движения предусматривают устройство велосипедных дорожек шириной 1,5 м — для однополосного движения и шириной 2,5 м — для двухполосного (рис. 45.5, *б*, *в*).



Р и с. 45.6. Поперечные профили улиц местного значения — жилых кварталов и промышленно-складских районов:

а — с разделительной полосой; *б* — с общей проезжей частью

На современном этапе развития городских путей сообщения в ряде стран мира (США, Англия, Франция и т.д.) наметилась тенденция отказа от трамвайного транспорта, несмотря на его очевидные достоинства (экологическая безопасность, высокая провозная способность, малая себестоимость перевозок и т.д.). Однако известные недостатки этого вида транспорта, особенно остро ощущаемые в центральных районах крупных городов (необходимость размещения остановочных пунктов в условиях плотной городской застройки, частое их размещение с соответствующим ухудшением условий движения нерельсового транспорта, повышенная аварийность, усложнение условий регулирования движения и т.д.), вынуждают постепенно выносить трамвайное движение за пределы центральных частей крупнейших и крупных городов.

Правильное решение вопроса о трамвайных городских путях сообщения, очевидно, заключается в рациональном использовании достоинств наземного рельсового городского транспорта и сведении к минимуму свойственных ему недостатков.

Возможные рациональные схемы размещения трамвайного полотна на магистральных улицах общегородского и районного значения представлены на рис. 45.5.

Аналогичная тенденция наметилась и в отношении троллейбусных городских линий, поскольку имеющие большие габариты и ограниченную маневренность троллейбусы являются «инородными телами» в динамичном городском транспортном потоке.

Поперечные профили улиц местного значения — жилых кварталов и промышленно-складских районов чаще всего имеют поперечные профили, изображенные на рис. 45.6.

Такие улицы могут иметь самостоятельные проезжие части шириной 6—9 м с разделительной полосой озеленения шириной 10—20 м (рис. 45.6, *а*), нередко используемой в качестве резервной полосы для последующего стадийного развития улицы по мере роста интенсивности движения. Проезжая часть таких улиц также может быть единой с общей шириной 9—18 м (рис. 45.6, *б*).

45.3. Городские транспортные развязки

На улицах крупнейших и крупных городов при значительной интенсивности движения из-за остановок автомобилей у светофоров возникают продолжительные задержки и заторы движения. Скорость городских транспортных потоков резко снижается, и для выездов из центральных районов города на загородные автомобильные дороги приходится затрачивать много времени. Для увеличения пропускной способности городских улиц и дорог и улучшения условий транзитного движения в городах устраивают специальные улицы (скоростного, непрерывного движения), предназначенные для движения транспорта с высокими скоростями до 100—120 км/ч. Такие улицы обязательно изолируют от местного движения и все пересечения с другими улицами и дорогами устраивают в разных уровнях.

Городские транспортные развязки в разных уровнях — это сложные инженерные сооружения, обеспечивающие в местах пересечений городских улиц и дорог прокладку проезжих частей пересекающихся направлений в разных плоскостях.

Огромное разнообразие местных условий в городах предопределило и исключительно большое число типов применяемых транспортных развязок в разных уровнях, которые различаются по конструкции инженерных сооружений на пересечениях (путепроводы, эстакады, тоннели), по очертанию в плане, количеству уровней проезда в разных плоскостях и по степени полноты развязки движения для левоповоротных направлений.

Несмотря на разнообразие видов пересечений магистральных улиц и дорог в разных уровнях, всем им свойственна необходимость строительства чрезвычайно дорогих искусственных сооружений: путепроводов, эстакад, тоннелей, подпорных стенок и т.д. Именно поэтому установление конкретных условий, определяющих необходимость строительства того или иного типа развязки, является чрезвычайно важным.

Рациональное решение этой важной задачи в каждом конкретном случае определяется множеством факторов: интенсивностью и составом движения транспорта по направлениям, характеристиками пешеходного движения, наличием свободных площадей, составом и характеристиками подземного хозяйства, геологическими и гидрогеологическими условиями, характером прилегающей застройки, рельефом местности и т.д.

По степени сложности различают простейшие двухуровневые развязки и сложные многоуровневые. В зависимости от высотного решения выделяют три основных типа пересечений в разных уровнях (рис. 45.7):

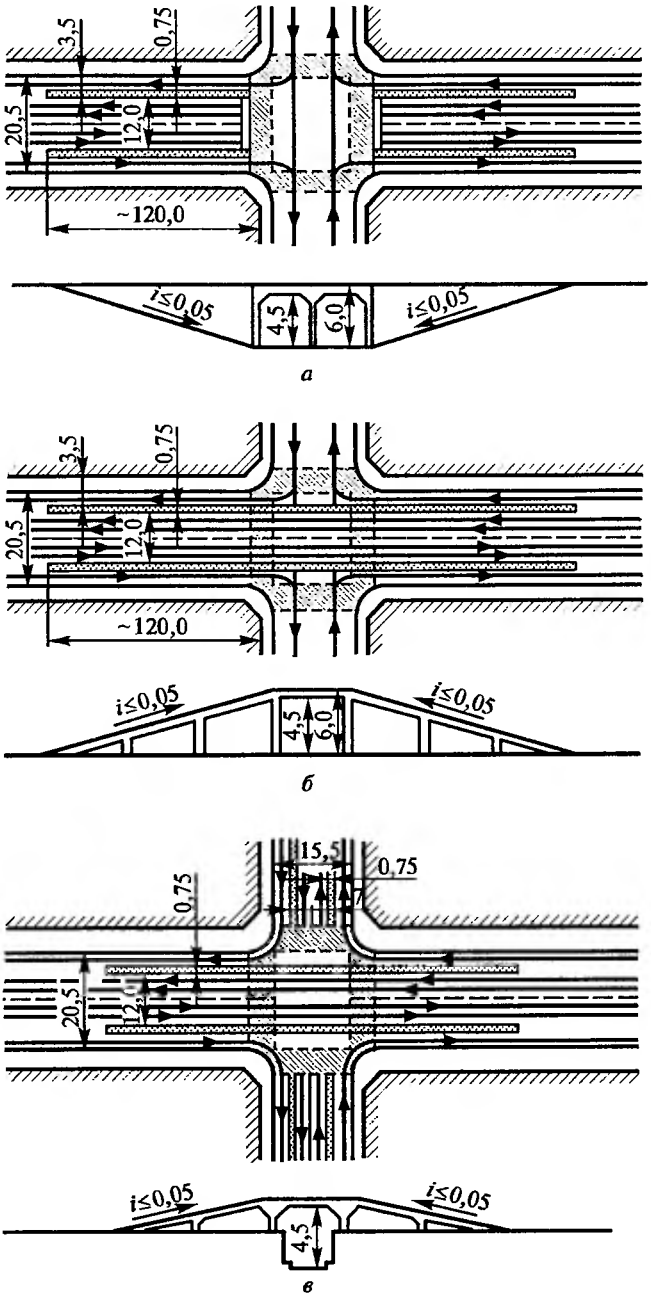
тоннельное пересечение, при котором одна из пересекающихся магистралей проходит в тоннеле (рис. 45.7, *а*);

путепроводное (эстакадное) пересечение, когда одна из пересекающихся магистралей проходит на путепроводе (эстакаде) (рис. 45.7, *б*);

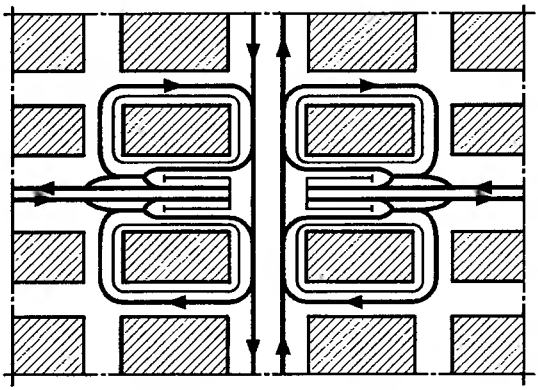
комбинированное пересечение, когда одна из пересекающихся магистралей проходит в неглубокой выемке, а вторая — на путепроводе (рис. 45.7, *в*).

Классификация планировочных решений транспортных пересечений в разных уровнях дана в гл. 20. Согласно этой классификации по начертанию в плане различают развязки движения в разных уровнях: клеверообразные; кольцевые; петлеобразные; крестообразные; ромбовидные; сложные с полупрямыми и прямыми (директивно-направленными) левоповоротными съездами; примыкания.

В отличие от пересечений в разных уровнях загородных дорог городские развязки в разных уровнях приходится сооружать, как правило, в рамках жестких высотных (подземное городское хозяйство) и плановых ограничений городской застройкой (красные линии). В целях максимального сокращения площадей городских территорий, занимаемых транспортными пересечениями, перечисленные выше типы развязок движения в городских условиях приходится проектировать с использованием предельных продольных уклонов (до



Р и с. 45.7. Варианты высотного решения транспортных развязок в разных уровнях: *а* — тоннельное пересечение; *б* — путепроводное пересечение; *в* — комбинированное пересечение



Р и с. 45.8. Развязка в двух уровнях типа «полный клеверный лист» с объездом вокруг кварталов застройки

30—50‰) и минимальных радиусов кривых в плане (до 8—12 м). Эти вынужденные меры часто приводят к проектированию развязок движения, использующих для съездов существующую дорожно-уличную сеть, либо «обжатых» развязок, которые, сохраняя все функциональные свойства загородных развязок, обеспечивают весьма невысокие безопасные скорости транспорта.

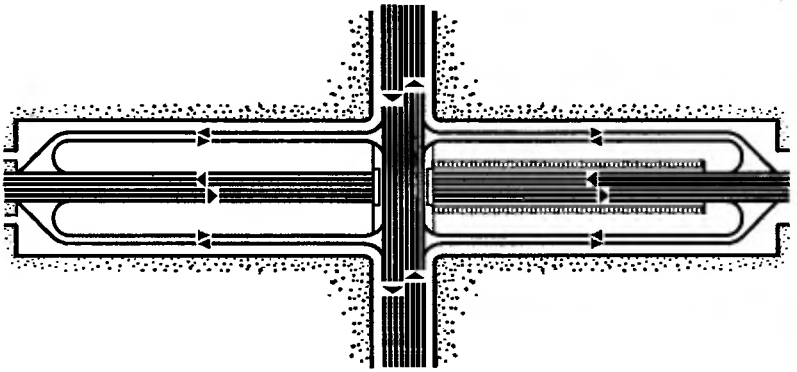
Чаще всего в городских условиях используют следующие планировочные решения развязок движения.

Развязка в двух уровнях типа «*полый клеверный лист*» *с объездом вокруг кварталов городской застройки* (рис. 45.8).

В условиях плотной городской застройки, когда не представляется возможным разместить право- и левоповоротные съезды развязки, нередко используют проезды вдоль прилегающих к пересечению кварталов. В этом случае принцип организации движения полностью совпадает с характером движения на классической развязке типа «полный клеверный лист». Использование прилегающих к кварталам проездов для поворотного движения делает ненужным строительство специальных съездов.

Некоторое отличие от классического планировочного решения «клеверного листа» состоит в том, что длина пути левоповоротного движения зависит от размеров прилегающих к перекрестку кварталов и может быть заметно большей, а скорость движения автомобилей может быть ограничена радиусами поворотов, обеспечиваемыми существующей дорожно-уличной сетью, прилегающей к перекрестку.

Существенным недостатком такого типа развязки является загрузка прилегающих кварталов транзитным по отношению к ним



Р и с. 45.9. Развязка в двух уровнях типа «обжатый клеверный лист»

движением. По этой причине при наличии в этих кварталах жилых, культурно-бытовых и общественных зданий использование прилегающих к пересечениям проездов становится нецелесообразным.

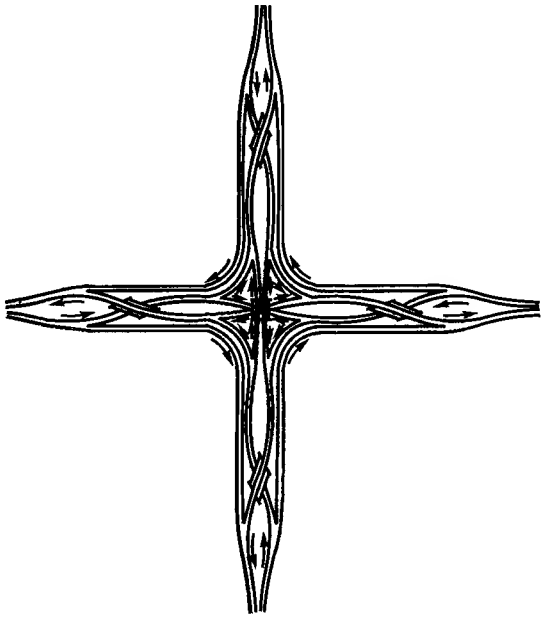
Развязка в двух уровнях типа «*обжатый клеверный лист*» (рис. 45.9).

Такой тип развязки применяют при необходимости максимального сокращения площади городской территории, занимаемой транспортным пересечением. Развязка обеспечивает непрерывность движения транспорта по всем направлениям с полным сохранением принципов организации движения на классических развязках типа «полный клеверный лист».

Однако сокращение занимаемых развязкой площадей достигается в результате использования на съездах предельно малых радиусов кривизны с соответствующим снижением скоростей движения автомобилей. Этот тип развязки тем не менее находит широкое применение при реконструкции транспортных узлов в условиях сложившейся городской застройки.

Развязка в двух уровнях типа «*крест*» *с пятью путепроводами* (рис. 45.10).

Этому типу развязки не свойственны основные недостатки, характерные для клеверообразных пересечений. Пересечение занимает минимальную площадь, особенно если вместо откосов насыпей применять подпорные стенки. К достоинствам этого типа развязок относится также отсутствие перепробегов для левостороннего движения (длина пути каждого левого поворота на 500—600 м короче, чем для клеверообразных пересечений), наилучшим образом решаются вопросы организации движения на пересечении. Ширина основного

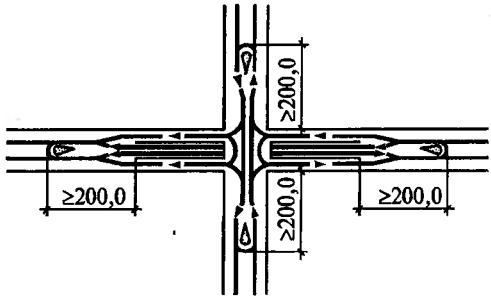


Р и с. 45.10. Развязка в двух уровнях типа «крест» с пятью путепроводами

путепровода в данном случае заметно меньше, чем у клеверообразных развязок, в связи с отсутствием на нем переходно-скоростных полос.

Однако сфера применения развязки типа «крест» ограничена случаями пересечения практически равнозначных магистралей с достаточно мощными транспортными потоками в обоих направлениях. К недостаткам также относится необходимость строительства четырех дополнительных путепроводов и невозможность разворотов на пересечении.

Развязка в двух уровнях *с отнесенными левыми поворотами* (рис. 45.11).



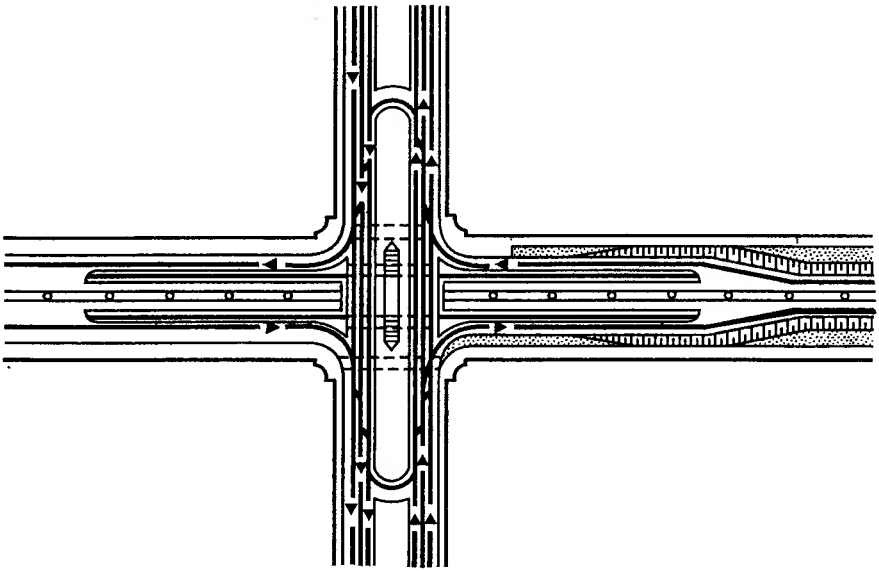
Р и с. 45.11. Развязка в двух уровнях с отнесенными левыми поворотами

В условиях сложившейся плотной городской застройки при ограниченной свободной территории на пересечении двух главных магистралей часто оказывается невозможным запроектировать полную развязку движения без сноса прилегающих зданий. В таких случаях при небольших размерах левоповоротного движения на магистралях непрерывного движения нередко применяют пересечения в двух уровнях с отнесенными левыми поворотами. Схема организации движения на таком пересечении предусматривает сооружение одного путепровода, обеспечивающего непрерывность движения транспортных потоков в прямых направлениях и четырех поворотных островков для осуществления левых поворотов и разворотов с радиусами не менее 8 м для пропуска только легковых автомобилей и не менее 12 м при смешанном движении. Расстояние между поворотными островками и перекрестком принимают тем большим, чем шире проезжая часть пересекающихся магистралей и больше число полос движения по ним.

Существенным недостатком пересечения в двух уровнях с отнесенными левыми поворотами является необходимость организации левоповоротного движения путем перестроения его на магистралях, что снижает безопасность движения в прямых направлениях и вызывает соответствующее снижение скоростей прямых транспортных потоков. Поэтому нередко вместо четырех поворотных островков, размещаемых с двух сторон обеих магистралей, устраивают *два островка с двух сторон* второстепенной магистрали (рис. 45.12).

Наиболее существенным недостатком большинства перечисленных выше развязок движения в разных уровнях является то, что они вызывают перепробеги левоповоротного и разворачивающегося транспорта. Этот недостаток в существенной мере может быть исключен, если организация левых поворотов и разворотов осуществляется непосредственно на площади самого перекрестка. Одним из наиболее часто используемых путей, обеспечивающих полную развязку движения непосредственно на площади перекрестка, является устройство пересечения в двух уровнях *с кольцевым движением по второстепенному направлению*. В этом случае тоннель размещают по главному направлению, а в уровне поверхности земли располагают кольцевой островок, вдоль которого осуществляется прямое движение по второстепенной магистрали, а также все левые повороты и развороты (рис. 45.13).

Однако такое решение требует увеличения площади перекрестка до размеров, необходимых для организации кольцевого движения.

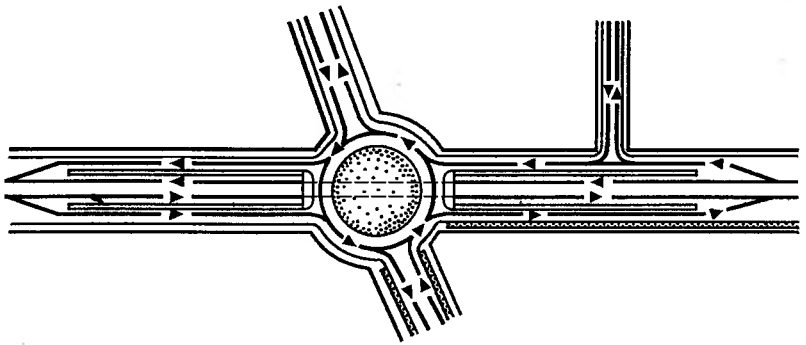


Р и с. 45.12. Развязка в двух уровнях с двумя отнесенными левыми поворотами

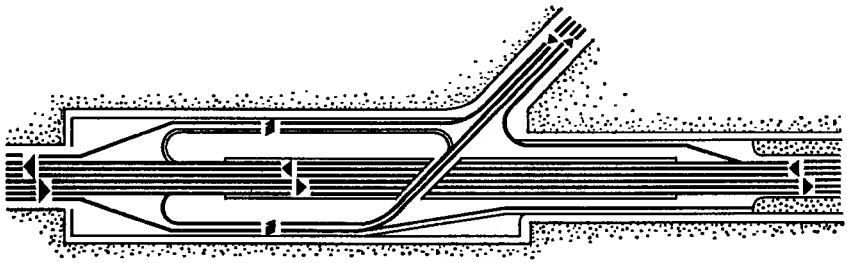
На примыканиях одной магистрали к другой в городских условиях эффективным является использование развязки движения в двух уровнях типа «*обжатого клеверного полулиста*» (рис. 45.14).

В отличие от традиционного примыкания типа «труба» «полуклеверный лист» обеспечивает организацию разворотов по примыкающей магистрали.

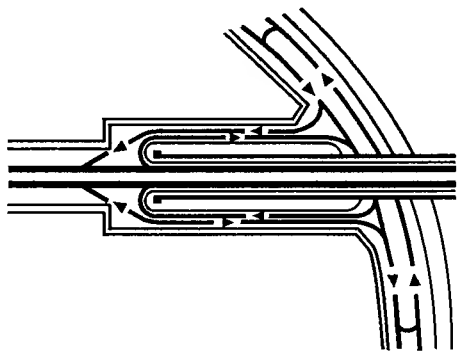
На городских мостах, на путепроводах пересечений через железные дороги всегда оказывается целесообразным использование *край-*



Р и с. 45.13. Развязка в двух уровнях с кольцевым движением по второстепенному направлению над тоннелем



Р и с. 45.14. Примыкание в разных уровнях типа «обжатого клеверного полулиста»



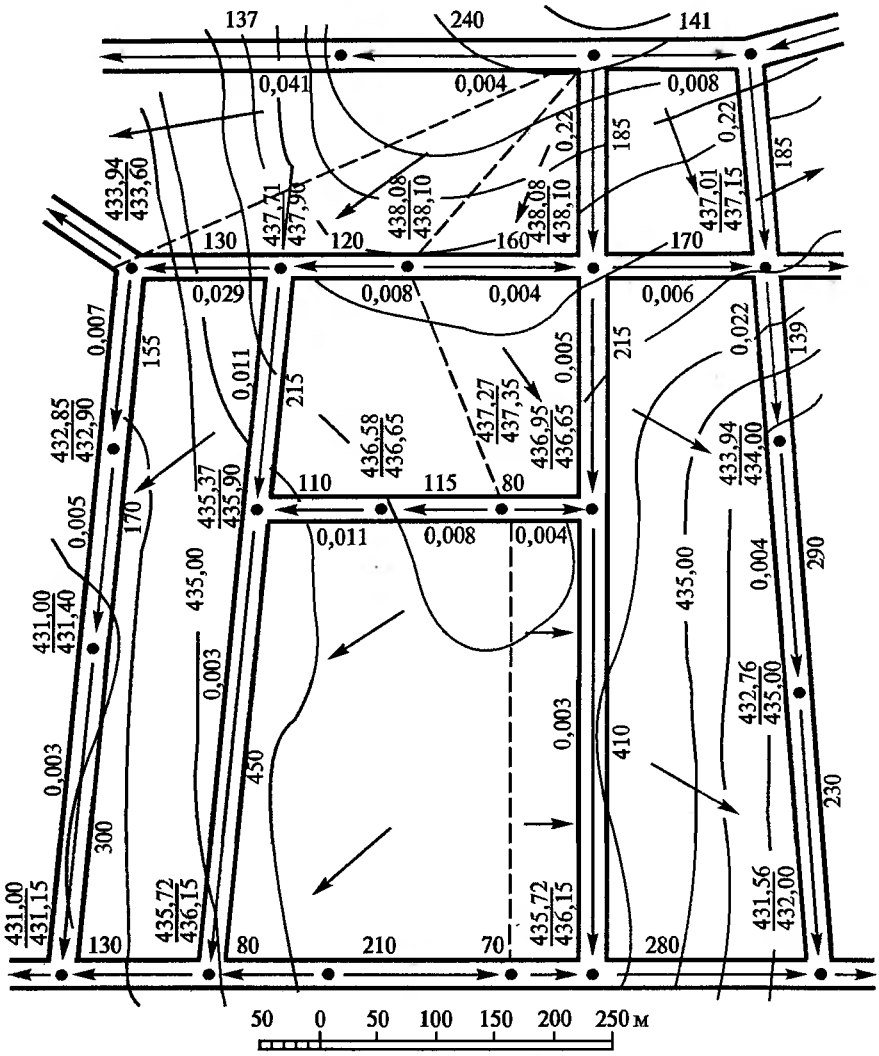
Р и с. 45.15. Развязка в двух уровнях на подходах к мосту с отнесенными левыми поворотами

них пролетов для устройства пересечений в разных уровнях (рис. 45.15).

Несмотря на небольшое увеличение стоимости строительства, такое решение в большинстве случаев полностью себя оправдывает, поскольку в этом случае отпадает необходимость в создании регулируемого перекрестка с остановками транспорта на пандусах мостов и путепроводов с соответствующими потерями времени и ухудшениями условий безопасности движения.

45.4. Горизонтальная и вертикальная планировки

Горизонтальная планировка решает проблемы расположения сети городских улиц и дорог, площадей, городских кварталов и отдельных зданий и сооружений. Горизонтальную планировку осуществляют с обязательным учетом особенностей рельефа местности, который да-



Р и с. 45.16. Схема вертикальной планировки улиц части города

леко не всегда удовлетворяет условиям строительства города и, в частности, проектирования городских улиц и дорог.

Вертикальная планировка предусматривает изменение рельефа местности для приспособления его к требованиям строительства улиц, дорог, площадей, городских кварталов и т.д.

Вертикальная планировка составляет одну из важнейших частей подготовки территории для городского строительства. При подготовке городских территорий часто требуется засыпка водоемов, оврагов, болот, заключение в поземные коллекторы небольших речек и ручьев, обвалование берегов рек, засыпка низких, периодически затопляемых участков местности на поймах. Часто требуется срезка возвышенных мест рельефа с засыпкой пониженных. Всем этим строительным работам предшествует разработка проекта вертикальной планировки, в рамках которого решают также и задачу рационального распределения земляных масс по территории городского строительства.

В проектах вертикальной планировки городов определяющую роль играет планировка улиц и площадей в связи с тем, что положение улиц в высотном отношении определяет не только геодезические высоты (отметки) проезжих частей и тротуаров, но и отметки въездов во дворы, входов в здания и положение сооружений подземного городского хозяйства.

Одной из важнейших задач, решаемых при разработке проекта вертикальной планировки, является обеспечение поверхностного водоотвода с улиц, площадей и кварталов.

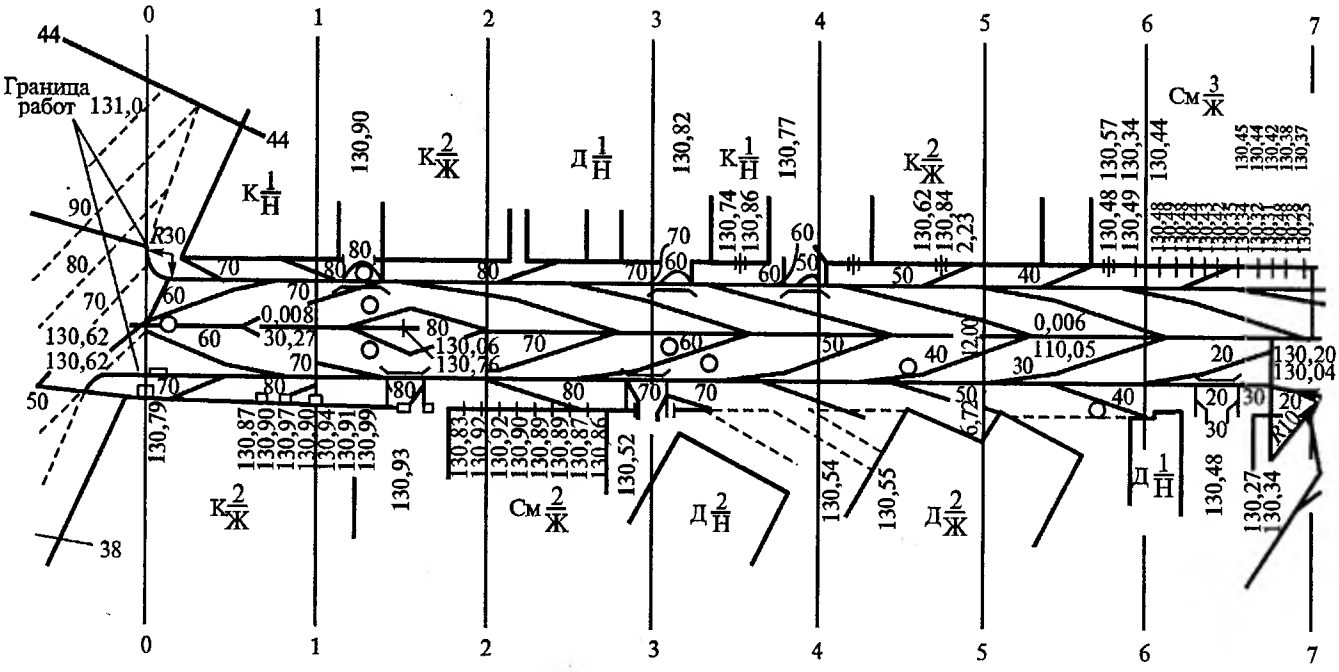
В результате разработки проекта вертикальной планировки составляют чертежи, на которых рельеф новой (проектной) поверхности может быть изображен двумя способами:

в виде планов улиц с числовыми геодезическими высотами (отметками), составленный на основе вертикальной планировки отдельных улиц и кварталов. Для этой цели используют продольные профили улиц, на всех переломных точках проектной линии которого и на точках пресечений осей улиц надписывают проектные (числитель) и черные (знаменатель) отметки, а на прямых между ними надписывают расстояния и проектные уклоны (рис. 45.16).

Показывают также линии водоразделов и направления стока. На план, кроме того, наносят отметки важнейших контрольных точек, составляющих основу вертикальной планировки:

в виде планов поверхностей улиц в проектных горизонталях с высотой сечения в зависимости от категории рельефа и необходимой степени детализации от 5 до 20 см (рис. 45.17).

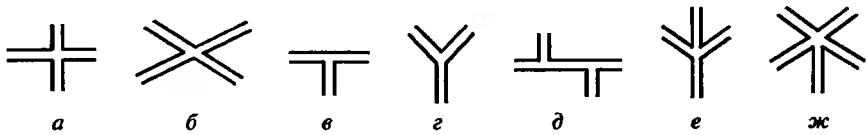
Планы поверхности улиц в проектных горизонталях в настоящее время используют наиболее часто в связи с их наглядностью, а вопросы трудоемкости их создания легко решаются в связи с широким применением средств автоматизации и вычислительной техники и, в частности, машинной графики.



Р и с. 45.17. План улицы, выполненный методом проектных горизонталей

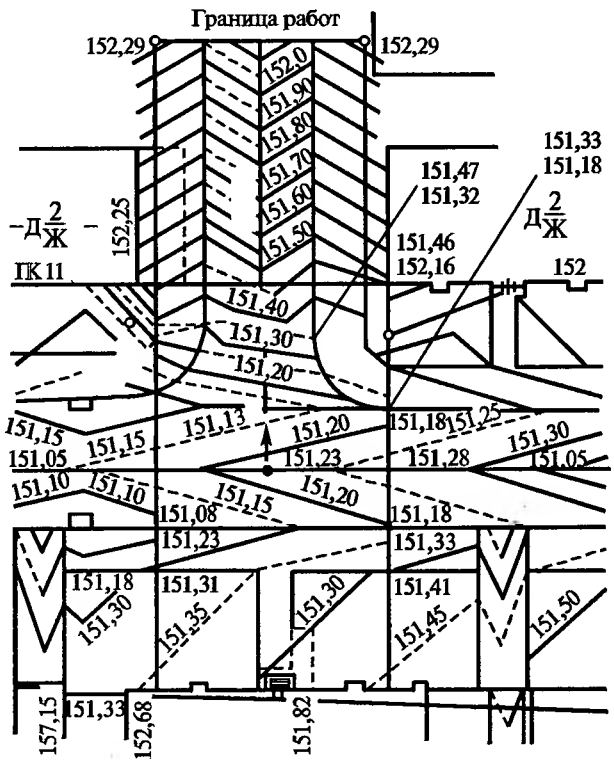
45.5. Вертикальная планировка перекрестков и площадей

Перекрестки городских улиц проектируют по различным схемам в зависимости от перспективной интенсивности и характера движения, а также плана дорожно-уличной сети (рис. 45.18).

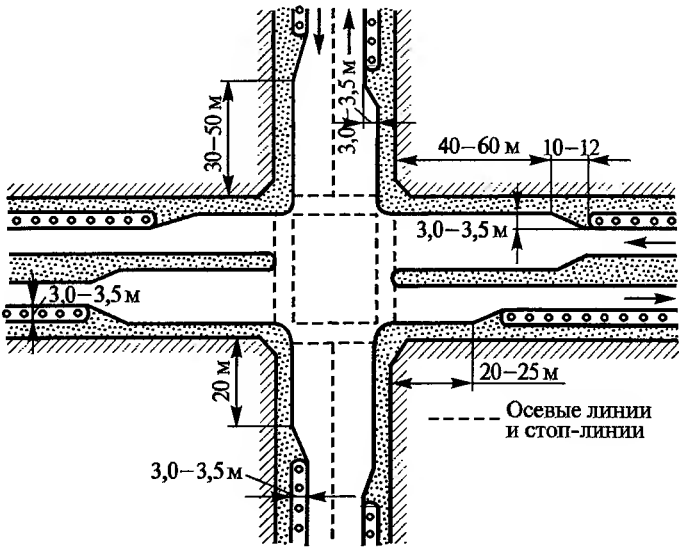


Р и с. 45.18. Принципиальные схемы перекрестков:

а — под прямым углом; *б* — под косым углом; *в* — Т-образное примыкание; *г* — У-образное примыкание; *д* — смешанное; *е* — вилообразное; *ж* — сложное



Р и с. 45.19. Примыкание с односкатным поперечным профилем к магистральной улице

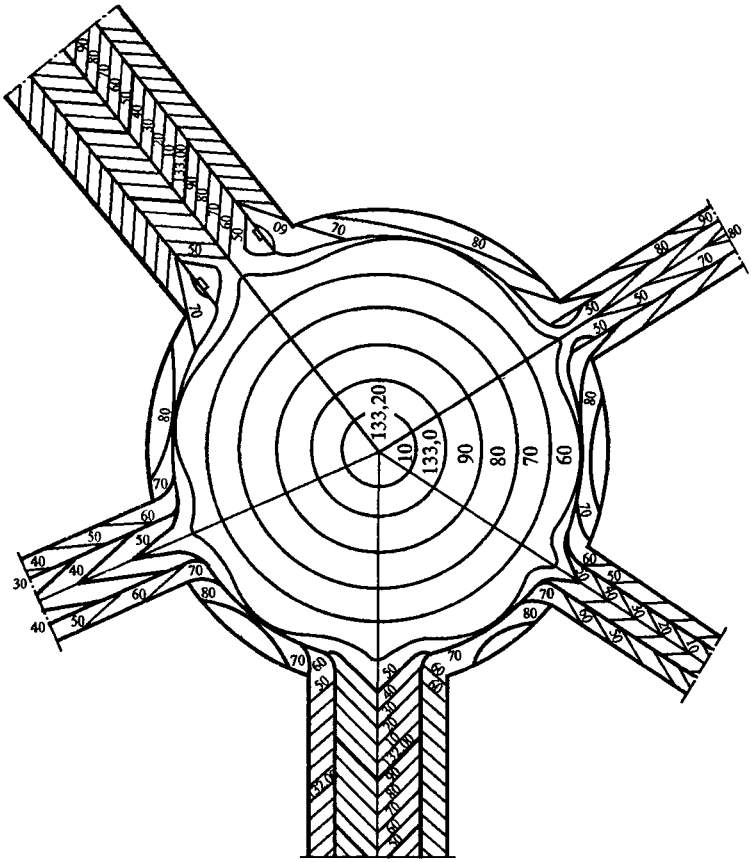


Р и с. 45.20. Уширение проезжей части на подходах к перекрестку

На перекрестках городских улиц и дорог движение транспортных потоков существенно осложняется, что требует некоторых обязательных мероприятий по повышению безопасности, уровней удобства движения и повышению пропускной способности пересечения. В частности, на перекрестках должны быть обеспечены необходимые расстояния видимости, однако существующая застройка во многих случаях не позволяет сделать этого. Именно поэтому в большинстве случаев на перекрестках с интенсивным движением регулирование движения осуществляют с помощью светофоров.

Вертикальная планировка перекрестков во многом определяется категорией пересекающихся улиц, а также величинами и направлениями продольных уклонов. Геодезические высоты (отметки) оси проезжей части пересекаемой улицы сопрягают с отметками проезжей части пересекающей улицы, или с отметками лотков пересекающей улицы. На магистральных улицах запрещается устраивать поперечные лотки. В этих случаях на перекрестке иногда проектируют односкатный поперечный профиль (рис. 45.19).

Для увеличения пропускной способности перекрестка проезжие части на подходах к перекрестку часто уширяют. Уширение делают с целью выделения отдельных полос для правоповоротного движения и для увеличения скорости прохождения транспортом перекрестка.



Р и с. 45.21. Пример вертикальной планировки площади с кольцевым движением

Уширения часто делают за счет зеленых насаждений и даже за счет тротуаров при достаточной их ширине (рис. 45.20).

При вертикальной планировке площадей в зависимости от характера рельефа и уклонов примыкающих улиц применяют односкатную, выпуклую или сложную форму, удобную для движения и поверхностного водоотвода.

На площадях, образующихся на соединении нескольких улиц, наиболее рациональная организация движения достигается устройством в центре направляющего островка в форме круга и организацией кольцевого движения (рис. 45.21).

Размеры направляющего островка должны быть тем большими, чем больше улиц примыкает к площади и тем большей должна быть ширина проезда по кольцу.

Если размеры и форма площади не позволяют устроить центральный островок необходимых размеров, организацию движения решают с помощью нескольких направляющих островков с обязательным регулированием движения. И наконец, при интенсивном движении транспорта и пешеходов на площади прибегают к сооружению пересечения в разных уровнях, когда по главному направлению устраивают тоннель или эстакаду, а кольцевое движение в другом уровне устраивают для второстепенных направлений (см. § 45.3, рис. 45.13).

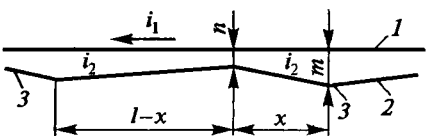
45.6. Водоотвод с городских улиц и дорог

Поверхностный водоотвод с городских территорий обычно осуществляют вдоль городских улиц и дорог. Поверхностный сток с городских территорий, образующийся в результате таяния снега, выпадения дождей, а также от поливки улиц, собирается и отводится системами открытых водостоков и закрытой (подземной) канализации.

При открытой системе водостоков поверхностный сток с территорий кварталов, с проезжих частей улиц и тротуаров по лоткам и канавам отводится в естественные водотоки. При закрытой системе атмосферные осадки, поступающие с городских территорий в открытые лотки и канавы улиц и дорог, периодически отводятся в водоприемные колодцы, откуда по системе подземной ливневой канализации выводятся в естественные водотоки.

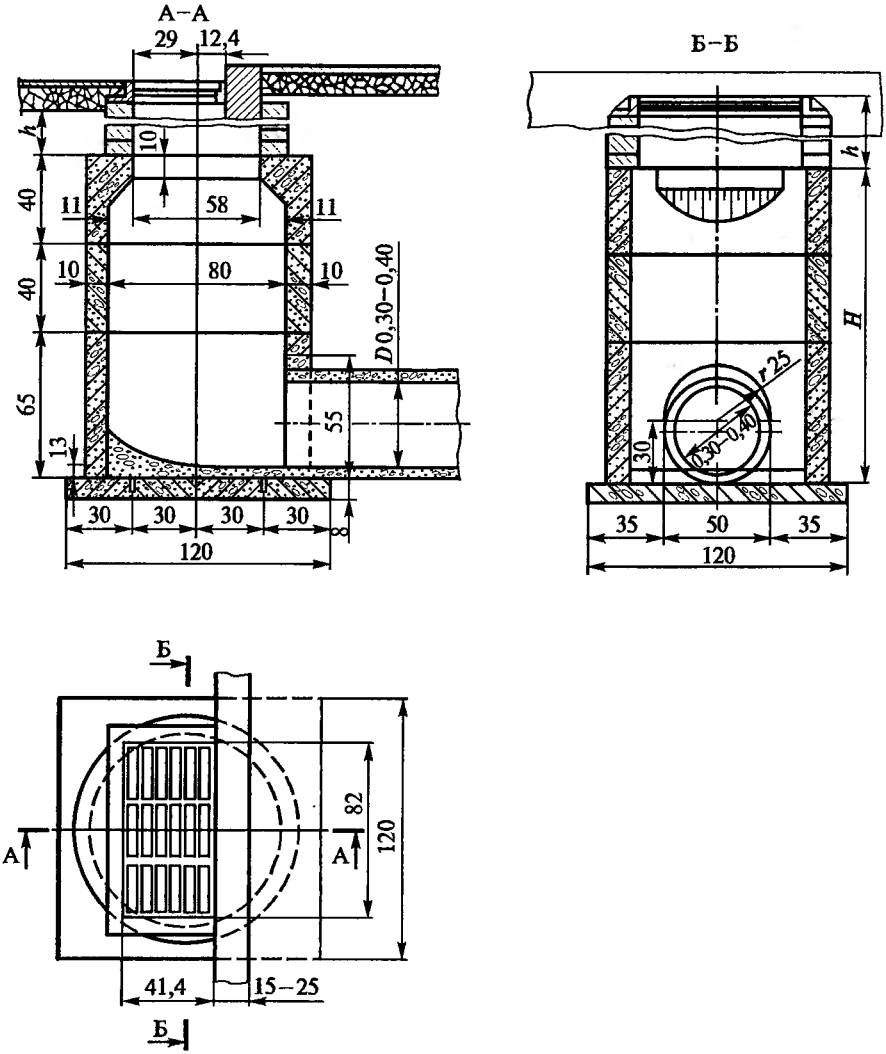
Открытая система поверхностного водоотвода является простой и относительно дешевой. Однако наличие лотков на улицах и перекрестках вызывает необходимость строительства водопропускных труб и малых мостов, а периодическое затопление проезжих частей части улиц и тротуаров (в периоды выпадения интенсивных ливней) создает определенные неудобства для транспорта и пешеходов. Поэтому открытую систему водоотвода чаще всего применяют в малых и средних населенных пунктах.

Закрытая система водоотвода применяется в городах. Применяют также и смешанную систему, при которой с части территорий (кварталов) поверхностный сток осуществляют по системе поверхностно-



Р и с. 45.22. Продольный профиль лотка на уклонах менее 5‰:

1 — верх борта тротуара; *2* — дно лотка; *3* — водоприемные колодцы



Р и с. 45.23. Водоприемный колодец из сборных железобетонных элементов

го водоотвода до ближайших улиц, на которых есть система подземной ливневой канализации.

Открытые канавы, особенно в больших городах, как правило, не устраивают, поскольку их трудно содержать в надлежащем санитарном состоянии, а на каждом съезде и въезде необходимо устраивать переездные мостики и трубы. Параметры канав и лотков системы открытого водоотвода рассчитывают по уравнениям гидравлики.

Во избежание заиления минимальный уклон канав и лотков принимают не менее 5‰. На улицах с продольными уклонами менее 5‰ при наличии подземной ливневой канализации лоткам придают пилообразное очертание с уклонами не менее 5—4‰ (рис. 45.22). Во всех пониженных местах пилообразного профиля в среднем через каждые 40—60 м предусматривают устройство водоприемных колодцев (рис. 45.23).

Из водоприемных колодцев, располагаемых в лотках, вода по отводным трубам диаметром 30—40 см поступает в магистральную трубу ливневой подземной канализации, откуда сточные воды сбрасываются в реку или тальвег. В необходимых случаях предусматривают очистку сточных вод.

Глубину проложения магистральной трубы ливневой канализации назначают с таким расчетом, чтобы к ней можно было подвести водосточные трубы с прилегающих улиц. Уклоны труб подземного водостока обычно принимают равными уклону местности с соответствующей проверкой, в случае необходимости гидравлическими расчетами. Минимальный продольный уклон определяют из условия, чтобы при заполнении трубы на 1/3 высоты сечения скорость в трубе была не менее 0,75 м/с. В противном случае возможно отложение наносов и засорение трубы.

Для предотвращения замерзания воды в трубах глубину заложения труб принимают не менее расчетной глубины сезонного промерзания грунта, увеличенной на 0,3 м при диаметрах труб до 500 мм. При больших диаметрах труб разрешается их заглубление на глубину промерзания за вычетом 0,5 м.

Элементы водосточной сети, расстояния между водоприемными колодцами ливневой канализации и необходимые диаметры труб в городских условиях определяют в зависимости притока ливневых вод, определяемого в связи с малыми площадями водосбора по формуле «полного стока» проф. О.В. Андреева (см. гл. 14):

$$Q_{л} = 87{,}5 a_{час} F \alpha \varphi, \ м^3/с,$$

где $a_{час}$ — расчетная интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин; F — площадь водосбора, км^2; α — коэффициент потерь стока; φ — коэффициент редукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебнике изложены современные методы изысканий и проектирования автомобильных дорог и сооружений на них в объеме и степени детализации, соответствующими учебному плану подготовки инженеров путей сообщения — строителей автомобильных дорог. Они отражают современный уровень развития науки и техники в этой области инженерных знаний.

Однако наука о проектировании автомобильных дорог не является раз и навсегда сформировавшейся дисциплиной, а развивается по мере развития научно-технического прогресса. В своей практической деятельности инженер-дорожник не может ограничиваться только сведениями, почерпнутыми из настоящего учебника. Он должен следить за новыми достижениями науки и техники, изучая для этого журнальные статьи, монографии, справочники, новые учебники и учебные пособия, анализировать и обобщать имеющийся опыт изысканий и проектирования автомобильных дорог, а также изучать и использовать новые, грядущие достижения в этой области человеческих знаний.

Наиболее актуальными задачами развития дорожной науки в обозримое время являются следующие.

1. Дальнейшее развитие теории транспортных потоков и разработка новых и совершенствование существующих компьютерных математических (имитационных) моделей транспортных потоков применительно к различным частным случаям проектирования автомобильных дорог. Это особенно важно при оценке проектных решений в рамках системного автоматизированного проектирования, когда можно изучать поведение будущих объектов (проектных моделей) во времени и пространстве с выявлением достоинств и недостатков проектов еще до строительства объектов и введения их в эксплуатацию.

2. Совершенствование методов проектирования геометрии автомобильных дорог в двух направлениях. Совершенствование и разработка новых трехмерных моделей свободной геометрии автомобильных дорог на базе теории сплайнов и функций Безье с оценкой зрительной плавности и ясности пространственных трасс. Разработка

методов проектирования оптимальных трасс с использованием математического аппарата оптимизации проектных решений.

3. Совершенствование и дальнейшее развитие существующих и разработка новых систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них (САПР-АД) с использованием современных средств вычислительной техники и автоматизации на базе принципиально новых методов проектирования дорог, реализующих принципы математической оптимизации проектных решений и математического моделирования объектов во времени и пространстве.

4. Разработка принципиально новых технологий изысканий автомобильных дорог на широкой полосе варьирования конкурентоспособных вариантов трасс с использованием самых последних достижений науки и техники в области сбора, регистрации и обработки данных: аэрокосмических методов, методов спутниковой навигации, электронной тахеометрии, наземной фотограмметрии, наземного и воздушного лазерного сканирования при топографических съемках, подповерхностной радиолокации и других методов геофизики при инженерно-геологических изысканиях.

5. Разработка и широкое использование ГИС-технологий при изысканиях автомобильных дорог. ГИС-технологии — это основа современного изыскательского процесса, начиная с рекогносцировочных изысканий, кончая согласованиями проектных решений с заинтересованными организациями и ведомствами.

6. Разработка новых методов прогноза ливневого стока и стока талых вод с водосборов (математических моделей) с использованием систем дифференциальных уравнений теплофизики и гидравлики, представляющих собой математическую запись самых общих законов природы — законов сохранения материи, энергии и количества движения, для описания склонового стока и стока по русловым системам водосборов.

7. Разработка новых методов расчета отверстий малых водопропускных сооружений (малых мостов и труб) с учетом аккумуляции с использованием систем дифференциальных уравнений одномерной и двумерной гидравлики (Сен-Венана, Навье—Стокса).

8. Совершенствование методов архитектурно-ландшафтного проектирования с использованием в качестве основы взамен традиционных центральных, перцептивных проекций, как более достоверно отражающих окружающий мир.

9. Совершенствование существующих и разработка новых методов проектирования узлов пересечений дорог в одном и разных уровнях с исследованием их поведения во времени и пространстве с при-

менением математического (имитационного) моделирования транспортных потоков. Особенно это касается участков ответвлений и примыканий соединительных рамп, где движение автомобилей происходит с переменными скоростями (замедленно или ускоренно), что должно находить отражение в специфике геометрии соединительных съездов.

10. Фундаментальному пересмотру в ближайшее время должны быть подвергнуты существующие методы проектирования земляного полотна с переходом в основополагающих расчетах на методы конечных элементов (МКЭ) и методов граничных элементов (МГЭ). Это касается, в том числе не только моделирования напряженно-деформированного состояния земляного полотна и грунтовых оснований, но и водно-теплового режима земляного полотна.

11. Все конструктивные расчеты дорожных одежд жесткого и нежесткого типов, а также грунтовых оснований должны быть ориентированы на широкое использование методов граничных элементов МГЭ. Существенное повышение надежности дорожных конструкций при этом обязательно будет достигнуто. Все методы проектирования дорожных конструкций должны базироваться также и на обязательном использовании математических методов пространственной оптимизации.

12. В методах проектирования мостовых переходов грядут принципиальные изменения в связи с неизбежным переходом на широкое использование уравнений двумерной гидравлики (построение планов течений при расчетах общих деформаций русел и свободной поверхности потока) и трехмерной гидравлики (при расчетах местных размывов).

13. Принципиальному пересмотру подлежат технологии и методы производства проектно-изыскательских работ при реконструкции автомобильных дорог, что особенно важно в связи с тем, что в настоящее время инвестирование дорожного строительства идут главным образом по пути разработки проектов реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог. При этом в ходе изысканий особое внимание должно быть уделено использованию методов наземного лазерного сканирования и геофизической разведки с широким использованием спутниковой навигации. При разработке новых методов проектирования реконструкции автомобильных дорог методы нового проектирования должны рассматриваться как частный случай реконструкции.

14. Для проектирования автомобильных дорог в сложных природных условиях (в районах распространения вечной мерзлоты, на болотах, в районах склоновой эрозии, закарстованных районах, в горной

местности, в пустынях) должны разрабатываться методы, базирующиеся на принципах математической оптимизации проектных решений и математического моделирования поведения автомобильных дорог и их элементов в специфических природных условиях.

15. Этот же принцип необходимо использовать при совершенствовании существующих и разработке новых методов проектирования автомагистралей, а также городских улиц и дорог.

Совершенствование существующих и разработка новых технологий и методов изысканий и проектирования автомобильных дорог и сооружений на них таят в себе в полной мере еще не используемый огромный резерв экономических выгод, связанных с сокращением материалоемкости и сметной стоимости строительства и повышением долговечности, надежности и качества дорог.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев О.В. Проектирование мостовых переходов. — М.: Транспорт, 1980. — 216 с.

Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Т. 1. Издание второе, перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1987. — 368 с.

Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Т. 2. Издание второе, перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1987. — 416 с.

Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. — М.: Транспорт, 1980. — 189 с.

Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. — М.: Транспорт, 1982. — 288 с.

Бойков В.Н., Федотов Г.А., Пуркин В.И. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог на примере IndorCAD/Road. — М.: МАДИ(ГТУ), 2005. — 224 с.

Ляховицкий Ф.М., Хмельницкий В.К., Ященко З.Г. Инженерная геофизика. — М.: Недра, 1989. — 253 с.

Проектирование автомобильных дорог. Справочник инженера-дорожника/Под ред. д-ра техн. наук Г.А. Федотова. — М.: Транспорт, 1989. — 438 с.

Реконструкция автомобильных дорог/Под ред. проф. В.Ф. Бабкова. — М.: Транспорт, 1978. — 264 с.

Справочная энциклопедия дорожника. Т. V. Проектирование автомобильных дорог/Под ред. проф. Г.А. Федотова, П.И. Поспелова. — М.: ФГУП Информавтодор, 2007. — 668 с.

Федотов Г.А. Инженерная геодезия. Издание третье, испр. — М.: Высш. шк., 2006. — 464 с.

Федотов Г.А. Изыскания и проектирование мостовых переходов. — М.: Академия, 2005. — 300 с.

Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. — М.: Транспорт. 1986. — 318 с.

Фишельсон М.С. Городские пути сообщения. Издание второе, перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1980. — 293 с.

Шумков И.Г. Речная аэрогидрометрия. — Л.: Гидрометеоиздат, 1982. — 208 с.

Оглавление

Предисловие 3

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ И ИХ РОЛЬ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Глава 1. Общие понятия об автомобильных дорогах 13

1.1. Единая транспортная сеть страны 13
1.2. Роль автомобильных дорог и автомобильного транспорта в экономике и социальном развитии страны 17
1.3. Сеть автомобильных дорог 18
1.4. Подвижной состав автомобильных дорог 20
1.5. Основные характеристики движения по автомобильным дорогам . . . 22
1.6. Классификация автомобильных дорог 26

Глава 2. Элементы автомобильных дорог и сооружений на них 29

2.1. Основные элементы автомобильных дорог 29
2.2. Элементы плана автомобильных дорог 32
2.3. Элементы поперечных профилей 34
2.4. Элементы продольного профиля 37

Глава 3. Движение автомобиля по дороге 43

3.1. Уравнение тягового баланса автомобиля 43
3.2. Сопротивления движению автомобиля 45
3.3. Сцепление колеса с покрытием 50
3.4. Задачи, решаемые с использованием уравнения тягового баланса 53
3.5. Торможение автомобиля 59
3.6. Тяговые расчеты автопоездов 62
3.7. Расчетное расстояние видимости на дорогах 64

Глава 4. Закономерности движения транспортных потоков 68

4.1. Транспортный поток и режимы его движения 68
4.2. Скоростные характеристики движения автомобилей 71
4.3. Математическое моделирование транспортных потоков 74
4.4. Пропускная способность дороги 79

Глава 5. Кривые автомобильных дорог в плане 82
5.1. Движение автомобиля по кривой 82
5.2. Коэффициент поперечной силы и его нормирование 84
5.3. Определение радиусов горизонтальных кривых 86
5.4. Переходные кривые и их типы 89
5.5. Уширение проезжей части на кривых 93
5.6. Виражи 96
5.7. Обеспечение видимости на кривых в плане 99

Глава 6. Поперечные профили дорог 103
6.1. Обоснование ширины проезжей части и обочин 103
6.2. Остановочные и переходно-скоростные полосы 112
6.3. Поперечные уклоны 114
6.4. Велосипедные дорожки, тротуары и бордюры 116
6.5. Полоса отвода 117

Глава 7. Продольный профиль автомобильных дорог 120
7.1. Типы вертикальных кривых 120
7.2. Нормирование продольных уклонов 122
7.3. Обоснование минимальных радиусов вертикальных кривых 122

Глава 8. Нормы проектирования автомобильных дорог 126
8.1. История развития 126
8.2. Современные нормы проектирования автомобильных дорог 130
8.3. Расчетные скорости и нагрузки 131
8.4. Категория автомобильных дорог 133
8.5. Мероприятия по охране окружающей среды 134

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ. **ПОНЯТИЕ О СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОЕКТНЫХ РАБОТ**

Глава 9. Принципиальные основы построения систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них (САПР-АД) 141
9.1. Понятие о системах автоматизированного проектирования (САПР) 141
9.2. Средства обеспечения САПР 145
9.3. Функциональная структура САПР 150
9.4. Принципы оптимизации и моделирования при проектировании автомобильных дорог 153
9.5. Понятие о геоинформационных системах (ГИС) 158

Глава 10. Технология производства проектных работ при системном автоматизированном проектировании 161
10.1. ГИС-технологии в автоматизированном проектировании 161
10.2. Цифровое и математическое моделирование местности 165
10.3. Виды цифровых моделей местности (ЦММ) 166
10.4. Методы построения цифровых моделей местности и их точность 170
10.5. Математические модели местности (МММ) 173

10.6. Задачи, решаемые с использованием цифровых и математических моделей . . . 176
10.7. Технология автоматизированного проектирования автомобильных дорог . . . 177

Глава 11. Система автоматизированного проектирования CAD «CREDO» 181

11.1. История развития . . . 181
11.2. Функциональная структура подсистемы «Линейные изыскания» . . . 182
11.3. Функциональная структура подсистемы «Дороги» . . . 183

Глава 12. Система автоматизированного проектирования «IndorCAD/Road» 187

12.1. История развития . . . 187
12.2. Функциональная структура системы автоматизированного проектирования «IndorCad/Road». Раздел «План» . . . 190
12.3. Раздел «Продольный профиль» . . . 191
12.4. Раздел «Верх земляного полотна» . . . 192
12.5. Раздел «Поперечный профиль» . . . 192
12.6. Графический редактор «IndorDrawing» . . . 194

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ. УЧЕТ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Глава 13. Природные факторы и их влияние на функционирование дороги 196

13.1. Основные природные факторы, учитываемые при проектировании 196
13.2. Источники увлажнения земляного полотна . . . 202
13.3. Водно-тепловой режим земляного полотна . . . 204
13.4. Прогноз пучинообразования . . . 205
13.5. Дорожно-климатическое районирование . . . 213
13.6. Обоснование возвышения бровки земляного полотна над поверхностью грунта . . . 218
13.7. Регулирование водно-теплового режима земляного полотна . . . 221

Глава 14. Прогноз поверхностного стока с водосборов . . . 222

14.1. Виды поверхностного стока . . . 222
14.2. Расчет ливневого стока с малых водосборов . . . 226
14.3. Расчет стока талых вод с малых водосборов . . . 233
14.4. Математическое моделирование стока с водосборов . . . 236
14.5. Региональные нормы стока . . . 247

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ. СИСТЕМА ДОРОЖНОГО ВОДООТВОДА

Глава 15. Дорожный водоотвод . . . 255

15.1. Система поверхностного и подземного дорожного водоотвода . . . 255
15.2. Нормы допускаемых скоростей течения . . . 267
15.3. Гидравлический расчет дорожных канав . . . 274
15.4. Косогорные сооружения поверхностного водоотвода . . . 278
15.5. Расчет дренажа . . . 283

Глава 16. Малые водопропускные сооружения . . . 286

16.1. Виды малых водопропускных сооружений и требования к ним . . . 286
16.2. Расчет пропускной способности дорожных труб . . . 290

16.3. Пропускная способность малых мостов 299
16.4. Расчет размывов и укреплений русел за трубами и малыми мостами . . 300
16.5. Математическое моделирование работы водопропускных труб и малых мостов 306
16.6. Учет аккумуляции части стока перед трубами и малыми мостами 312
16.7. Проектирование оптимальных водопропускных труб. 319

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ. ТРАССА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Глава 17. Проектирование плана трассы 326

17.1. Основные правила трассирования автомобильных дорог 326
17.2. Учет природных условий при выборе направления трассы. 327
17.3. Проложение трассы на местности 330
17.4. Принципы трассирования 331
17.5. Элементы клотоидной трассы 334
17.6. Метод «опорных элементов» 336
17.7. Метод «сглаживания эскизной линии трассы» 341
17.8. Сплайн-трассирование. 344

Глава 18. Определение положения проектной линии продольного профиля 347

18.1. Принципы проектирования продольного профиля автомобильных дорог 347
18.2. Критерии оптимальности 349
18.3. Комплекс технических ограничений 353
18.4. Техника традиционного проектирования продольного профиля. . . 354
18.5. Метод «опорных точек». 358
18.6. Метод «проекции градиента». 360
18.7. Метод «граничных итераций» 363
18.8. Методы «свободной геометрии» 372

Глава 19. Архитектурно-ландшафтное проектирование автомобильных дорог 377

19.1. Цели и задачи ландшафтного проектирования 377
19.2. Согласование элементов трассы с ландшафтом. 381
19.3. Особенности трассирования автомобильных дорог в характерных ландшафтах 383
19.4. Согласование земляного полотна с ландшафтом 392
19.5. Правила обеспечения зрительной плавности и ясности трассы. . . 395
19.6. Построение перспективных изображений автомобильных дорог. . . 406
19.7. Перцептивные изображения автомобильных дорог 411

Глава 20. Пересечения и примыкания автомобильных дорог 414

20.1. Общие положения по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог в одном уровне 414
20.2. Классификация пересечений автомобильных дорог в разных уровнях 419
20.3. Элементы пересечений автомобильных дорог в разных уровнях. . . 425
20.4. Анализ условий пересечений при проектировании транспортных развязок. 429
20.5. Пропускная способность развязок в разных уровнях и оценка безопасности движения 434

20.6. Принципы конструктивного решения участков ответвлений и примыканий на съездах развязок движения 441
20.7. Переходные кривые на развязках движения, требования к ним и методы их расчета 445
20.8. Расчеты элементов соединительных съездов 452
20.9. Проектирование продольного профиля по соединительным съездам 467
20.10. Планово-высотные решения соединительных съездов 470

Глава 21. Оборудование и обустройство автомобильных дорог 474

21.1. Обслуживание дорожного движения 474
21.2. Дорожные знаки 483
21.3. Дорожная разметка 489
21.4. Направляющие устройства 493
21.5. Дорожные ограждения 495
21.6. Освещение автомобильных дорог 499

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ. ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО И ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ

Глава 22. Проектирование земляного полотна дорог 504

22.1. Элементы земляного полотна и общие требования к нему 504
22.2. Грунты для возведения земляного полотна 507
22.3. Виды деформаций земляного полотна и грунтового основания. . . 512
22.4. Устойчивость земляного полотна на косогоре 515
22.5. Расчет осадки земляного полотна на слабом основании 517
22.6. Расчет скорости осадки насыпи на слабом основании. Регулирование скорости осадки 523
22.7. Расчет общей устойчивости откосов земляного полотна 528
22.8. Расчет хода глубины промерзания и оттаивания грунта 535
22.9. Метод конечных элементов (МКЭ) при проектировании земляного полотна 538

Глава 23. Конструирование дорожных одежд 542

23.1. Общие сведения о дорожных одеждах 542
23.2. Конструктивные слои дорожных одежд и их назначение 545
23.3. Основные типы дорожных одежд 548
23.4. Принципы конструирования дорожных одежд 552
23.5. Прочностные характеристики грунтов и материалов конструктивных слоев 557

Глава 24. Конструктивные расчеты нежестких дорожных одежд 568

24.1. Нагрузки на дорожную одежду 568
24.2. Расчеты нежестких дорожных одежд на прочность 575
24.3. Расчет нежестких дорожных одежд по допускаемому упругому прогибу 579
24.4. Расчет несвязных конструктивных слоев и подстилающего грунта на устойчивость против сдвига 584
24.5. Расчет конструктивных материалов на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе 588
24.6. Обеспечение морозоустойчивости дорожных одежд 592
24.7. Осушение дорожной одежды и земляного полотна 598

24.8. Особенности автоматизированного проектирования оптимальных нежестких дорожных одежд 608
24.9. Проектирование оптимальных нежестких дорожных одежд 610

Глава 25. Конструктивные расчеты жестких дорожных покрытий и оснований 614

25.1. Область применения и основные виды жестких дорожных покрытий 614
25.2. Общие требования к жестким дорожным одеждам 616
25.3. Особенности конструкций жестких дорожных одежд 620
25.4. Основные положения расчета жестких дорожных одежд 626
25.5. Расчет цементобетонных плит на внешние нагрузки 629
25.6. Расчет жестких дорожных одежд на температурные напряжения . 632
25.7. Упрощенный расчет толщины цементобетонных покрытий 637

Список рекомендуемой литературы 639

Оглавление

Предисловие 3

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ. **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ**

Глава 26. Общие сведения о переходах через водотоки 6

26.1. Виды переходов через водотоки 6
26.2. Расчеты, выполняемые при проектировании мостовых переходов 9
26.3. Краткие сведения о реках. Речные долины и русла рек 15
26.4. Классификация рек по типам питания. Режим максимального стока . 20
26.5. Классификация рек по типам руслового процесса 24

Глава 27. Гидрологические и морфометрические расчеты 34

27.1. Принципы гидрологических расчетов 34
27.2. Методика прогноза максимальных расходов воды на реках 38
27.3. Определение расчетных уровней высокой воды 41
27.4. Методика выполнения морфометрических расчетов 45
27.5. Аналитическая аппроксимация и универсальный метод определения расчетных гидрометеорологических характеристик 49

Глава 28. Виды деформаций русел на мостовых переходах 53

28.1. Природные деформации русел рек 53
28.2. Общий размыв подмостовых русел 57
28.3. Общий размыв пойменных участков отверстий мостов 61
28.4. Боковые деформации русел на мостовых переходах 64
28.5. Местный размыв у передних граней опор мостов и голов регуляционных сооружений 71

Глава 29. Комплексная методология автоматизированного проектирования мостовых переходов 77

29.1. Комплексная программа расчета отверстий мостов «Рома» 77
29.2. Исходная информация и результаты расчета по программе «Рома» 91
29.3. Программа расчета уширений русел на мостовых переходах «Рур» 101
29.4. Исходная информация и результаты расчета по программе «Рур» 103

Глава 30. Упрощенные расчеты мостовых переходов 107

30.1. Расчет размеров срезок пойменных берегов и отверстий мостов . . . 107

30.2. Пределы общего размыва и расчетный для опор мостов общий размыв 111
30.3. Определение максимальной глубины расчетного общего размыва 120
30.4. Расчет размывов переходов коммуникаций у мостовых переходов 123
30.5. Расчет характерных подпоров на мостовых переходах 127

Глава 31. Проектирование подходов и регуляционных сооружений на мостовых переходах 132

31.1. Условия работы пойменных насыпей подходов к мостам 132
31.2. Проектирование подходов к мостам 138
31.3. Проектирование оптимальных пойменных насыпей 140
31.4. Задачи и принципы регулирования рек у мостовых переходов 143
31.5. Конструкции регуляционных сооружений на мостовых переходах 152

РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ. **ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ**

Глава 32. Оценка проектных решений при проектировании автомобильных дорог 160

32.1. Система показателей для оценки проектных решений 160
32.2. Определение предельной пропускной способности дороги и коэффициента загрузки движением 163
32.3. Расчет средней скорости транспортного потока 174
32.4. Расчет максимальной скорости движения одиночного автомобиля 181
32.5. Определение степени загрязнения придорожной полосы соединениями свинца 184
32.6. Расчет загрязнения атмосферы выбросами автомобильного транспорта 187
32.7. Оценка загрязнения придорожной полосы транспортным шумом. 188
32.8. Влияние дорожных условий на безопасность движения. 192
32.9. Оценка потенциальной опасности участков дороги методом коэффициентов относительной аварийности 201
32.10. Выявление опасных мест методом коэффициентов безопасности 204

Глава 33. Организация проектирования автомобильных дорог 207

33.1. Особенности современной технологии производства проектно-изыскательских работ 207
33.2. Стадии проектирования. 210
33.3. Предпроектное проектирование 211
33.4. Разработка проектной документации 213
33.5. Разработка рабочей документации 214
33.6. Состав проектной документации 215
33.7. Оформление проектной документации 222

Глава 34. Экономическое обосиоваиие строительства автомобильных дорог 229

34.1. Структура экономического обоснования дорожного строительства 229
34.2. Перспективный парк автомобилей 234
34.3. Прогнозирование перспективной интенсивности движения. 237
34.4. Методы оценки общественной эффективности инвестиционных проектов. 249
34.5. Процедуры учета неопределенности 255
34.6. Элементы затрат-выгод инвестиционных проектов дорожного строительства 257

Глава 35. Современная технология изысканий автомобильных дорог 265
35.1. Особенности традиционной технологии изысканий автомобильных дорог и ее анализ 265
35.2. Особенности технологии изысканий автомобильных дорог при проектировании на уровне САПР-АД 268
35.3. ГИС-технологии в изысканиях автомобильных дорог 271
35.4. Методы обоснования полосы варьирования конкурирующих вариантов трассы 272

Глава 36. Изыскания мостовых переходов 277
36.1. Геодезические работы при изысканиях мостовых переходов 277
36.2. Инженерно-геологические изыскания мостовых переходов 283
36.3. Морфометрические и гидрометрические работы 287
36.4. Устройство водомерных постов 289
36.5. Разбивка и закрепление на местности морфостворов и гидростворов 292
36.6. Измерение уклонов свободной поверхности рек 295
36.7. Съемка русел рек и каналов 296
36.8. Определение исторических уровней высокой воды по следам на местности 300
36.9. Измерение скоростей и направлений течения 301
36.10. Обследование существующих гидротехнических сооружений . . . 304
36.11. Аэрогидрометрические работы 307

Глава 37. Проектно-изыскательские работы при реконструкции автомобильных дорог 310
37.1. Особенности реконструкции автомобильных дорог 310
37.2. Особенности изысканий для разработки проектов реконструкции автомобильных дорог 312
37.3. Реконструкция автомобильных дорог в плане и продольном профиле 318
37.4. Земляное полотно при реконструкции автомобильных дорог . . . 321
37.5. Реконструкция, капитальный ремонт и усиление существующих дорожных одежд 324
37.6. Особенности организации работ при реконструкции автомобильных дорог. 328

РАЗДЕЛ ДЕВЯТЫЙ. **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ**

Глава 38. Проектирование дорог в районах распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов 330
38.1. Распространение вечной мерзлоты на территории России 330
38.2. Дорожно-климатическое районирование зоны вечной мерзлоты. . . 332
38.3. Изыскания автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты. . . 337
38.4. Принципы проектирования и строительства дорог на вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтах 346
38.5. Конструкции земляного полотна дорог в районах вечной мерзлоты . . 349
38.6. Водоотводные сооружения на многолетнемерзлых грунтах 353
38.7. Проектирование дорог на наледных участках 357

Глава 39. Проектирование дорог в заболоченных районах 360
39.1. Типы и характеристики болот 360
39.2. Особенности проектирования плана дорог в заболоченных районах . . 364
39.3. Обследование болот при изысканиях дорог 365
39.4. Конструкции земляного полотна дорог на болотах 372

Глава 40. Проектирование дорог в районах склоновой эрозии и оврагообразования 375
40.1. Эрозия почв и образование оврагов 375
40.2. Особенности проектирования плана автомобильных дорог в районах склоновой эрозии и оврагообразования 377
40.3. Мероприятия по защите земляного полотна дорог в овражистой местности 379

Глава 41. Проектирование дорог в закарстованных районах 384
41.1. Процессы карстообразования 384
41.2. Особенности проектирования автомобильных дорог в закарстованных районах 387

Глава 42. Проектирование дорог в горной местности 389
42.1. Особенности горных районов 389
42.2. Трассирование автомобильных дорог по долинам горных рек . . . 391
42.3. Трассирование горных дорог по склонам. Перевальные участки дорог 396
42.4. Проектирование серпантин 399
42.5. Поперечные профили горных дорог 404
42.6. Продольный профиль горных дорог 408
42.7. Проектирование оптимального земляного полотна на косогорах . 411
42.8. Тоннели 415
42.9. Трассирование горных дорог по участкам осыпей и камнепадов . 419
42.10. Пересечение селевых конусов выноса 422
42.11. Проектирование дорог на оползневых склонах 426
42.12. Защита дорог от снежных лавин 432
42.13. Проектирование горных дорог в сейсмоопасных районах 438

Глава 43. Проектирование автомобильных дорог в засушливых районах . . . 440
43.1. Особенности пустынных и полупустынных районов 440
43.2. Проектирование дорог в районах искусственного орошения 442
43.3. Проектирование дорог на участках засоленных грунтов 445
43.4. Особенности проектирования дорог в пустынных районах 450

РАЗДЕЛ ДЕСЯТЫЙ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ, ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ

Глава 44. Особенности проектирования автомагистралей 458
44.1. Нормирование проектирования автомагистралей 458
44.2. Поперечные профили автомагистралей 465

Глава 45. Проектирование городских улиц и дорог 469
45.1. Планировка уличной сети 469

45.2. Поперечные профили городских улиц и дорог 482
45.3. Городские транспортные развязки 486
45.4. Горизонтальная и вертикальная планировки 494
45.5. Вертикальная планировка перекрестков и площадей 498
45.6. Водоотвод с городских улиц и дорог. 501

Заключение 504

Список рекомендуемой литературы 508

Учебное издание

Федотов Григорий Афанасьевич,
Поспелов Павел Иванович

ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В 2 книгах

Книга 2

Редактор *Л.А. Савина*
Внешнее оформление *К.И. Мандель*
Технический редактор *Л.А. Маркова*
Корректоры *В.В. Кожуткина, Г.Н. Петрова*
Компьютерная верстка *Е.М. Галинской*

Изд. № РЕНТ-546. Подп. в печать 15.03.10. Формат $60 \times 88^{1}/_{16}$.
Бум. офсетная. Гарнитура «Ньютон». Печать офсетная.
Объем 31,85 усл. печ. л. 32,59 усл. кр.-отт.
Тираж 3000 экз. Заказ № 458.

ОАО «Издательство «Высшая школа»,
127994, Москва, Неглинная ул., 29/14, стр. 1.
Тел.: (495) 694-04-56
http://www.vshkola.ru. E-mail: info_vshkola@mail.ru

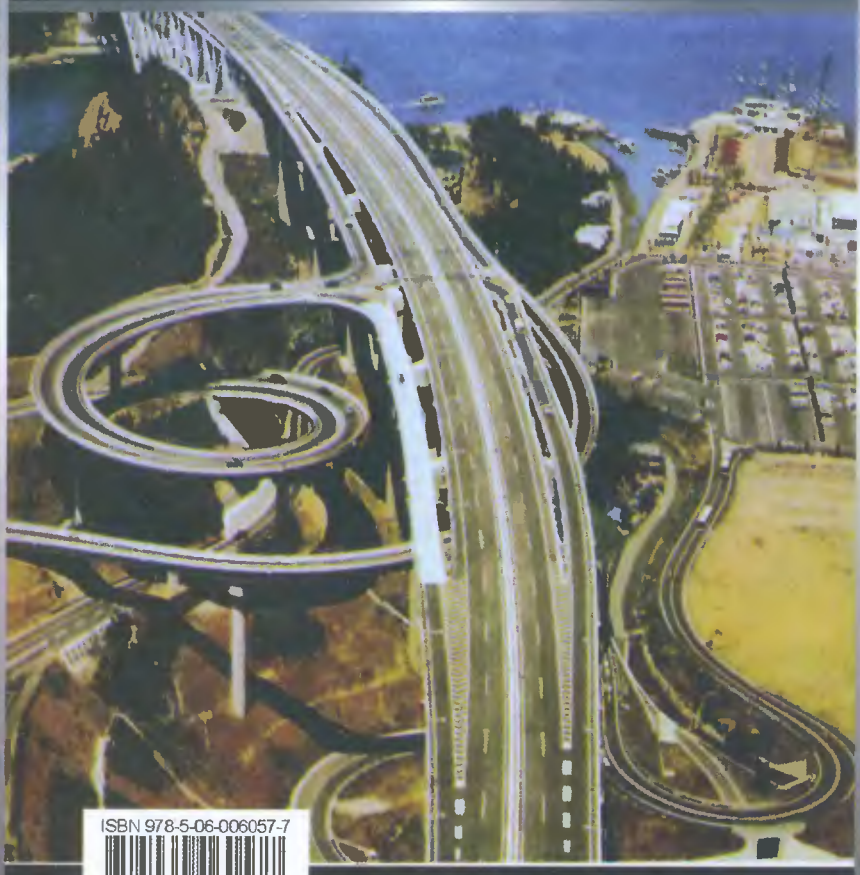
Отдел реализации: (495) 694-07-69, 694-31-47, факс: (495) 694-34-86
E-mail: sales_vshkola@mail.ru

Отпечатано в ООО «Великолукская городская типография».
182100, Псковская область, г. Великие Луки, ул. Полиграфистов, 78/12
Тел./факс: (811-53) 3-62-95. E-mail: zakaz@veltip.ru

Г.А. Федотов, П.И. Поспелов

Изыскания и проектирование автомобильных дорог

Книга 2



ISBN 978-5-06-006057-7