

А. П. ВАСИЛЬЕВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ



С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ

Проектная контора
«Олсдетдор»
БИБЛИОТЕКА
ИНВ. № 1869



МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 1988

Васильев А. П. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения. — М.: Транспорт, 1986. — 248 с.

Описаны методы оценки влияния погодных-климатических условий на режим и безопасность движения по дорогам, технико-экономического обоснования требований к параметрам и транспортно-эксплуатационным характеристикам дорог с учетом интенсивности и вероятности воздействия метеорологических факторов. Даны практические приемы проектирования.

Рассчитана на инженеров и техников, занятых проектированием, реконструкцией, ремонтом и содержанием дорог, организацией и обеспечением безопасности движения транспортных средств.

Ил. 128, табл. 50, библиогр. 66 назв.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Е. М. Лобанов

Заведующий редакцией В. В. Мартыненко

Редактор В. Г. Чванов

ПРЕДИСЛОВИЕ

Количественные и качественные показатели работы автомобильного транспорта во многом предопределяются состоянием и степенью развития дорог, поэтому повышение эффективности его работы невозможно без развития и совершенствования сети автомобильных дорог, обеспечения их надежности в любое время года и в любых погодных условиях.

Большие и важные задачи дорожной отрасли определены в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 года», утвержденных XXVII съездом КПСС.

В них предусмотрено продолжить дальнейшее развитие дорожного хозяйства, и в первую очередь в сельской местности. Построить и реконструировать за пятилетие 167 тыс. км автомобильных дорог с твердым покрытием, в том числе 75 тыс. км дорог общего пользования и 92 тыс. км дорог внутрихозяйственного значения на селе. Завершить в основном в 1990 г. строительство автомобильных дорог, связывающих центральные усадьбы колхозов и совхозов с административными центрами районов.

Особенно остро подчеркнуто требование к существенному улучшению эксплуатационных качеств автомобильных дорог.

В настоящее время геометрические параметры и транспортно-эксплуатационные характеристики при проектировании назначают без учета влияния климата и погоды на состояние дороги и условия движения. На это обстоятельство неоднократно обращалось внимание в работах проф. Г. Д. Дубелира, А. К. Бирюли, В. Ф. Бабкова, Я. В. Хомяка и др.

Исследования проблемы влияния климата и погоды на состояние дорог, режим и безопасность движения были начаты автором в 1965 г. на кафедре проектирования дорог Саратовского политехнического института, затем продолжены в Гипродорнии. Результаты первых этапов исследований, обобщенные и изложенные в монографиях [9, 10, 11], показали, что погодные-климатические условия оказывают значительное влияние на состояние и взаимодействие всех элементов комплекса «водитель — автомобиль — дорога — среда (ВАДС)» и пренебрегать этим влиянием нельзя. На совещании в ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса, состоявшемся в июне 1985 г., справедливо отмечено, что часто уже в проектах закладываются неэффективные технологические решения и поставлена задача существенного по-

вышения экономичности и эффективности разрабатываемых проектов за счет внедрения новейших достижений науки и техники.

Недооценка влияния климата при выборе и назначении геометрических параметров и транспортно-эксплуатационных характеристик дорог, методов их эксплуатации и организации движения приводит к тому, что средства, вкладываемые в строительство и затрачиваемые на содержание дорог, дают отдачу значительно меньше расчетной из-за снижения скорости автомобилей, ограничения движения и заторов, возникающих при неблагоприятных погодных условиях.

Возникает проблема разработки новых методов проектирования, позволяющих повысить надежность круглогодичной работы дорог, скорость и безопасность движения автомобилей.

Решающим этапом, который определяет технический уровень дороги и ее транспортно-эксплуатационные характеристики, является этап проектирования, когда должны быть приняты, оценены и обоснованы все решения, гарантирующие удобство и безопасность движения в реальных условиях эксплуатации дороги. Тогда же должны быть решены и основные вопросы содержания будущей дороги, поскольку от полноты учета в проекте реальных природно-климатических, народнохозяйственных и других условий функционирования дороги зависит уровень ее содержания, требуемые финансовые и материально-технические ресурсы для этого.

Для решения этих задач проектировщик должен располагать методами оценки и прогнозирования изменения технических характеристик и состояния дороги в разных природно-климатических условиях, методами назначения и обоснования решений, направленных на устранение или нейтрализацию отрицательного воздействия климата и погоды. Излагаемые в книге методы могут служить основой для решения указанных задач.

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам кафедр проектирования дорог Саратовского политехнического и Московского автомобильно-дорожного институтов, поддержавших выполняемые исследования, и сотрудникам Гипродорнии кандидатам технических наук В. П. Расникову и М. Я. Бликину, инженерам В. Г. Нестеренко, Л. Г. Марьяхину, Ю. С. Кариху, М. Н. Ермаковой и всем, принимавшим участие в исследованиях и расчетах и оказавшим помощь в сборе материалов, а также проф. д-ру техн. наук Е. М. Лобанову за ценные замечания и предложения, высказанные им в рецензии.

Многие положения, излагаемые в книге, высказаны впервые, не все они в равной степени глубоко проработаны. Поэтому с благодарностью будут приняты все замечания, предложения и пожелания по дальнейшему их совершенствованию.

Автор

Глава 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОГ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ

1.1. КЛИМАТ И УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ

Элементы климата и их характеристики. Климат и погода существенно влияют на состояние поверхности дороги, с которой взаимодействует автомобиль и которую воспринимает водитель, на узлы, агрегаты и системы автомобиля, на психофизиологическое состояние водителя. В результате этого изменяется и безопасность движения автомобилей.

Чтобы проектировать дороги, допускающие надежное, удобное и безопасное движение автомобилей в разных погодно-климатических условиях, необходимо понять и оценить указанные воздействия и зависимости.

Поэтому основой теории проектирования дорог с учетом влияния климата на условия движения является качественное и количественное описание сущности и закономерностей изменения параметров и характеристик дорог, автомобилей и водителей, происходящих под воздействием климатических факторов, их раздельного и совместного влияния на режим и безопасность движения.

Для анализа взаимодействия комплекса ВАДС необходимо сформулировать основные понятия и определения, относящиеся к дорожному движению, дорожным условиям, характеристикам климата и погоды.

Условия движения — реальная обстановка на дороге, в которой происходит движение автомобилей, включающая в себя дорожные условия (ДУ), транспортный поток (ТП) и состояние окружающей среды (С).

Совокупность дорожных условий разделена на постоянные и переменные параметры и факторы. К постоянным отнесены параметры и характеристики дорог, которые не меняются в процессе эксплуатации или изменяются редко (при реконструкции, капитальном ремонте): длина прямых и кривых, размер продольных уклонов, радиусов кривых в плане, протяженность подъемов и спусков и др. [1].

К переменным (временным или сезонным) отнесены параметры и характеристики дорог, изменяющиеся в результате сезонных колебаний метеорологических условий и состояния дороги: состояние покрытия и обочин, фактически используемая ширина проезжей части и обочин, сцепные качества и ровность покрытия и др.

Транспортный поток — совокупность автомобилей, движущихся по дороге. При возрастании интенсивности движения на дороге из комплекса ВАДС формируется главная система дорожные ус-

ловия — транспортные потоки (ДУ — ГП), каждая из составляющих которой отдельно и обе вместе находятся под влиянием метеорологических условий, являющихся возмущающим фактором по отношению к остальным элементам комплекса.

Состояние окружающей среды или сокращенно «среда» — совокупность погодно-климатических условий в данный момент времени. В климатической и дорожной литературе встречаются различные определения характеристик климата и погоды. При анализе влияния погодно-климатических факторов на условия движения приняты следующие понятия и определения [3, 26, 33, 52].

Климат (климатические условия) — статистический режим условий погоды за длительный период (от одного года до многих десятилетий). Это закономерная последовательность атмосферных процессов, создающаяся в данной местности в результате взаимодействия солнечной радиации, атмосферной циркуляции и физических явлений, происходящих на подстилающей поверхности, и обуславливающая характерный режим погоды.

Климатические или метеорологические элементы (факторы или явления) — характеристики состояния атмосферы (атмосферное давление, температура, влажность воздуха, ветер, осадки, туман, метель, солнечная радиация, общая циркуляция). Каждый метеорологический элемент характерен повторяемостью или вероятностью появления, продолжительностью и интенсивностью. Под интенсивностью метеорологических элементов понимается интенсивность осадков, скорость ветра, дальность видимости при тумане, объем снегоприноса в единицу времени и т. д. Установлены принципиальные различия в продолжительности их воздействия на условия и режим движения транспортных средств. Одни метеорологические элементы (например, ветер, туман, гололед) воздействуют только во время самого явления, другие (дождь, снегопад, метель) могут воздействовать и после прекращения самого явления. Этот факт назван последствием метеорологических явлений [9].

Под продолжительностью или длительностью последствия подразумевается период с момента прекращения самого метеорологического явления до момента исчезновения (ликвидации) его влияния на поверхность дороги, режим и безопасность движения. Например, для дождя — это период просыхания поверхности после его прекращения, для метели — период освобождения проезжей части от снежных отложений.

Таким образом, общая продолжительность воздействия метеорологических явлений

$$T_f = t_1' + t_2' \quad (1.1)$$

где t_1' — продолжительность действия, а; t_2' — продолжительность последствия, ч.

Метеорологические условия — состояние атмосферы, характеризующееся значениями метеорологических элементов в определенный момент или за определенный срок.

Погода — состояние атмосферы над данной территорией и в данное время, определяемое физическими процессами, совершающимися в ней при взаимодействии с подстилающей поверхностью. Характеризуется совокупностью значений метеорологических элементов в данном месте и данный момент. Более правильным следует считать термин «условия погоды», который часто используется как синоним понятия «метеорологические условия».

Термин «погодно-климатические условия» широко используют для условно обобщенной характеристики климата и погоды данного района.

Микроклимат — климат небольшой территории, возникающий под влиянием рельефа, растительности, почвы, водоемов, застройки и т. д. Особенности микроклимата проявляются на поверхности дороги и прилегающей местности и в приземном слое воздуха до высоты нескольких метров или десятков метров, часто до 100—150 м. Микроклимат может существенно влиять на поверхность дороги и условия движения по ней. К сожалению, этот вопрос до настоящего времени не исследован.

Каждому периоду года соответствуют характерные условия погоды, существенно влияющие на формирование состояния поверхности дороги и условий движения.

Зимний период характеризуется устойчивой среднесуточной температурой воздуха ниже 0°C (рис. 1.1).

На большей части территории СССР зимний период является самым длительным.

Переходные периоды (весенний и осенний) характеризуются неустойчивой погодой, при которой наблюдаются осадки всех видов (твердые, жидкие и смешанные). Весенним считается период со среднесуточной температурой воздуха от 0 до $+15^\circ\text{C}$. В целом продолжительность этого периода, отличающегося резкими переходами от потеплений к похолоданиям, колеблется от 30 до 60—80 сут. Осенний переходный период характеризуется понижением температуры от 15 до 0°C , сокращением длительности дня, увеличением пасмурности, частыми дождями. Общее число осадков меньше, чем летом, но продолжительность их выпадения значительно больше.

Осенний переходный период на территории СССР колеблется от 70 до 120 сут.

Летний период ограничивается датами перехода среднесуточной температуры через $+15^\circ\text{C}$. Летом увеличивается количество осадков, но сокращается их продолжительность.

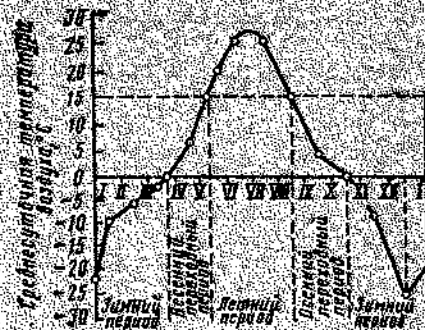


Рис. 1.1. Характерные периоды года по условиям движения

Системы комплекса ВАДС и их основные элементы и параметры					Функционирование комплекса
Метеорологические элементы	Водитель В	Автомобиль А	Дорога Д		Выходные показатели функционирования
Н, мм рт.ст.	КРР, с.б.	N_e	постоянные параметры	переменные параметры	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$
T	КРР, с.б.	N_e, K_a	$L, L_{пр}, R_p$	φ, f, S, η	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$
Ф	КРР, с.б.	N_e	$R, L, L_{пр}, R_p$	φ	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$
МДВ	КРР, с.б.	E	$L_{пр}, B_s$	$L_{пр}, \eta$	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$
Q	КРР, с.б.	K_a, Q, E	$R, L, L_{пр}, R_p$	$b, a, L_{пр}, L_{пр}, \varphi, f, S, \eta$	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$
Q	КРР, с.б.	Q, E	$R, L, L_{пр}, R_p, h$	$b, a, L_{пр}, L_{пр}, \varphi, f, S, \eta$	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$
М	КРР, с.б.	Q, E	$R, L, L_{пр}, R_p, h$	$b, a, L_{пр}, L_{пр}, \varphi, f, S, \eta$	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$
Q	КРР, с.б.	Q, E	$R, L, L_{пр}, R_p$	φ, f, S, η	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$
Q	КРР, с.б.	Q	h	b, a, η	$V, \eta, z, K_a, S_{ct}, E$

Рис. 1.2. Метеорологические условия, параметры систем и выходные показатели функционирования комплекса ВАДС:

$N_p, \text{от}$ — атмосферное давление; T — температура воздуха; I — влажность воздуха; МДВ — метеорологическая видимость; I — дождь; I_s — снег; M — металл; φ — коэффициент сцепления; V_a — ветер; КРР — перво-психологическая напряженность; t — время реакции; Φ — скорость переработки информации; N_e — мощность двигателя; K_a — эффективность тормозов; Q — устойчивость и управляемость; E — освещение и обзорность; R — параметры кривых в плане; L — продольные уклоны; $L_{пр}$ — видимость в продольном профиле; R_p — радиус кривых в профиле; h — параметры швовок и насыпей; b — ширина проезжей части; a — ширина обочины; $L_{пр}$ — поперечные уклоны; $L_{пр}$ — видимость в плане; f — сопротивление движению; S — ровность; η — состояние инженерного оборудования; v — скорость движения; N — интенсивность; П — пропускная способность; z — уровень загрузки; K_a — безопасность; p — непрерывность; S_{ct} — стоимость перевозок; S_{ct} — текущие дорожные затраты; E — приведенные затраты.

Влияние климата на элементы комплекса ВАДС. Особенность воздействия климата на функционирование комплекса ВАДС заключается в том, что одна часть метеорологических элементов одновременно влияет на все или несколько систем, другая — только на некоторые системы или подсистемы комплекса (рис. 1.2).

Прежде всего необходимо отметить воздействие погодноклиматических факторов на психофизиологическое состояние водителя. В ответ на это воздействие в организме человека развивается система функциональных сдвигов, имеющих важное значение для работы водителя: повышаются утомляемость и время реакции, снижается скорость переработки информации [30]. О характере этих изменений свидетельствуют исследования реакции водителей при высокой температуре воздуха и анализ дорожно-транспорт-

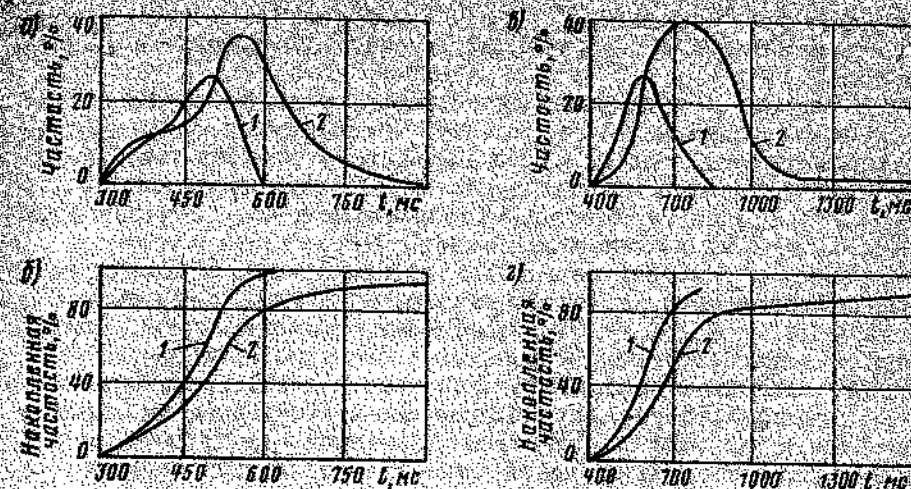


Рис. 1.3. Кривые распределения и кумулятивные кривые значений сенсорного компонента времени реакции:

а, б — дифференциальная реакция; в, г — реакция выбора;
1 — при температуре воздуха 20—23°С; 2 — при температуре воздуха более 27°С

ных происшествий в Краснодарском крае и Саратовской обл. в летний период¹.

Эксперименты, выполненные на передвижной лаборатории, оборудованной аппаратурой для определения психофизиологических параметров водителя, показали, что через зрительный анализатор он воспринимает разнообразные объекты и сигналы с различным информационным содержанием (сенсорный компонент реакции) и выполняет соответствующее ответное действие или маневр (моторный компонент реакции). В практической деятельности водителя чаще всего возникает дифференцировочная реакция² и реакция выбора. Время реакции, принятое равным 1 с и используемое в расчетах при проектировании дорог, тождественно дифференцировочной реакции. Правильнее характеризует деятельность водителя реакция выбора, когда в ответ на возникший раздражитель необходимо выбрать оптимальное решение из многих возможных. Как показали исследования, быстрота реакции существенно зависит от температуры окружающего воздуха (рис. 1.3). Так, при температуре воздуха 16—23°С дифференцировочная реакция составила в среднем 779 мс, а реакция выбора 971 мс. При

¹ Влияние температуры воздуха на время реакции водителей и безопасность движения в жаркий период года/Васильев А. П., Варламов В. А., Машкин В. О. и др. — В кн.: Совершенствование организации и повышение безопасности на автомобильных дорогах. М., 1976, с. 54—67. (Тр. Гипродорнии, вып. 19.)

² Дифференцировочной считается такая реакция, при которой на возникший раздражитель водитель отвечает строго определенным действием.

температуре воздуха 27°C время дифференцировочной реакции увеличилось до 877 мс (на 11,3%), а реакция выбора до 1281 мс (на 32%).

Вместе с другими увеличение времени реакции — одна из причин роста аварийности при высокой температуре воздуха. Анализ аварийности на дорогах Краснодарского края и Саратовской обл. показал, что в пересчете на 100 дней с температурой воздуха 16—23°C возникает 88 дорожно-транспортных происшествий. Если она выше 27°C, то совершается 238 ДТП.

Высокая температура воздуха, особенно выше 27°C, ухудшает психофизиологическое состояние водителя, снижает его производственные возможности, что надо учитывать, проектируя дороги и организацию движения в районах с жарким климатом.

Исследования проф. Е. М. Лобанова подтверждают правомерность дифференцированного назначения времени реакции водителя в различных условиях [30]. Исходя из этого целесообразно разработать расчетные значения времени реакции для каждого региона с характерными погодно-климатическими условиями.

Наиболее благоприятные условия движения наблюдаются, когда температура воздуха около 20°C, поэтому за эталонные нами приняты условия движения при указанной температуре в сухой летний период при отсутствии ветра, тумана и других неблагоприятных метеорологических факторов.

Конструкция современных автомобилей позволяют защищать от непосредственного влияния метеорологических факторов многие важные их узлы. В современных автомобилях водитель практически защищен от прямого воздействия солнечной радиации, температуры воздуха (особенно отрицательной), осадков, ветра, метелей, гололеда.

Наибольшее воздействие метеорологических факторов на режим движения оказывается через восприятие водителем состояния поверхности дороги и через взаимодействие автомобиля с дорогой, поскольку защитить ее от прямого влияния метеорологических факторов не представляется возможным.

Соответственно можно выделить две группы показателей качества поверхности дороги, важные для движения автомобилей: геометрические параметры, четкость очертания элементов дороги (просажая часть, краевые полосы, обочины), различие их внешнего вида; прочность дорожной одежды, ровность, коэффициенты сцепления и сопротивления качению.

Влияние метеорологических факторов оценивается качественными характеристиками покрытия: сухое, влажное, мокрое (чистое или загрязненное), заснеженное (рыхлый или уплотненный снег), гололед, шероховатое, скользкое, ровное и неровное, с колеями и выбоинами. Представляется целесообразным принять следующие определения этих характеристик.

Сухим можно считать покрытие, микроповерхность материала которого не имеет сплошной пленки воды. Такое состояние наблюдается при относительной влажности воздуха до 80—90%.

У влажного (увлажненного) покрытия микроповерхность или собственная поверхность покрыта сплошной пленкой связанной воды. Это наблюдается при относительной влажности воздуха 90—100% и положительной температуре покрытия. При отрицательной температуре в этих условиях образуется микрогололед.

Мокрым будет покрытие, на микроповерхности материала которого имеется слой свободной воды.

К заснеженным отнесены покрытия, имеющие рыхлый снег на поверхности.

Снежный накат — наличие слоя снега на поверхности дороги, уплотненного колесами автомобилей.

В зависимости от технического уровня дорог, качества содержания, вида и интенсивности метеорологических явлений характерные для каждого периода года состояния могут распространяться на полную ширину проезжей части и обочин, охватывать большое протяжение дорог или только небольшую часть покрытия, образуя отдельные пятна.

Периоды года, состояние дорог и метеорологические факторы, следовательно, и условия движения можно разделить на благоприятные и неблагоприятные.

Под благоприятными понимают такие условия движения, дорожные и метеорологические факторы, отрицательные воздействия которых легко компенсируются изменением режима работы автомобиля при нормальной напряженности работы водителя без снижения общей надежности, производительности и эффективности функционирования комплекса ВАДС и режима движения.

Условия движения, влияние которых не может быть компенсировано изменениями режима работы автомобиля и водителя или требует очень высокой напряженности их работы для сохранения скорости и безопасности движения, называют неблагоприятными.

1.2. КЛИМАТ И ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДОРОГ

Роль и задачи учета климата. В период неблагоприятных метеорологических явлений езда по дороге значительно сложнее, чем летом: ухудшаются сцепные качества покрытия, его ровность под воздействием осадков, гололеда, тумана, повышенной влажности воздуха и других факторов; возрастает сопротивление движению из-за отложений снега, грязи, гололеда, появления неровностей, в результате сокращается свободная мощность двигателя автомобиля; изменяются очертания и внешний вид покрытия и обочин, параметры поперечного профиля за счет снежных отложений и образования полого наката, что ухудшает восприятие дороги водителем; снижается видимость в периоды туманов, осадков, пурги, пыльных бурь, слепящего действия солнца; ухудшаются эксплуатационно-технические качества автомобиля и прежде всего систем удобства и безопасности движения (тормозная система, рулевое управление, обзорность и видимость, сигнальная система).

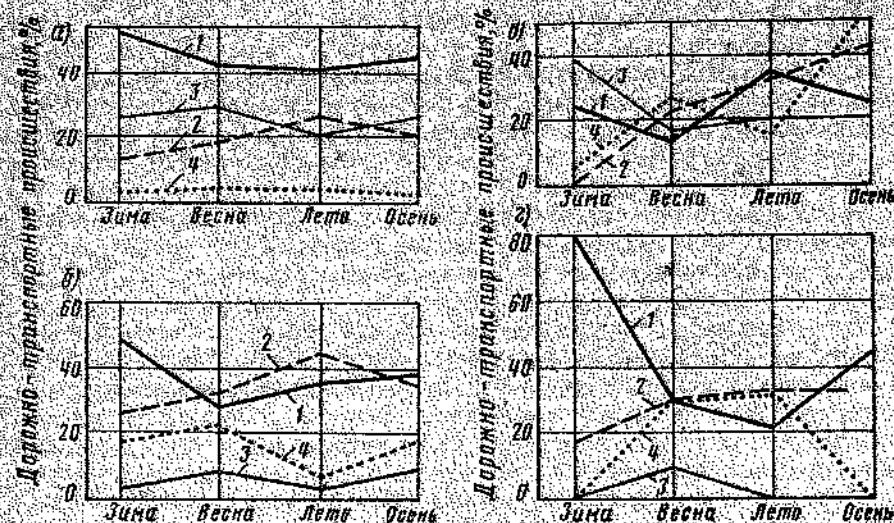


Рис. 1.4. Изменение структуры дорожно-транспортных происшествий по периодам года на дорогах.

а — Москва — Харьков, Москва — Кузбасс; б — Саратов — Воронеж; в — Свердловск — Н. Тагил; г — в Хабаровском крае; 1 — столкновения; 2 — опрокидывания; 3 — наезды на пешеходов; 4 — наезды на препятствия

Все это приводит к тому, что происходит снижение скорости движения, на величину которого существенно влияют геометрические параметры и состояние дороги [9, 10, 42]. Установлено также, что в разных климатических зонах различны закономерности распределения дорожно-транспортных происшествий, соотношения их видов по периодам года (рис. 1.4).

Исследования позволяют сделать вывод, что в неблагоприятные периоды происходит проверка надежности работы не только дорожной одежды, но и всей дороги в целом, качества ее проектирования, строительства и содержания. Особенно заметно влияние климата и погоды на состояние дорог и условия движения во время метелей, снегопадов, гололеда.

Недооценка на стадии проектирования и строительства требований снегопезаносимости, устройства снегозащитных сооружений, организации зимнего содержания и движения в неблагоприятных метеорологических условиях служит одной из главных причин ухудшения транспортно-эксплуатационных качеств дорог, повышения затрат на зимнее содержание, снижения скоростей и увеличения перерывов движения зимой. Ежегодные убытки от снижения скоростей, повышения аварийности и перерывов движения на дорогах при неблагоприятных метеорологических условиях исчисляются многими миллионами рублей [32, 42].

Однако до сих пор практические методы проектирования дорог базируются на учете взаимодействия одиночного автомобиля,

Параметры и транспортно-эксплуатационные показатели	Схема расчета	Состояние поверхности покрытия	Характеристика поверхности покрытия		
			Коэффициент сцепления	Сопротивление качению	Ровность
Расчетная скорость	Движение одиночного легкового автомобиля	Сухое или влажное, чистое	0,3—0,5	0,01—0,02	Не учитывается
Пропускная способность полосы	Равномерное движение потока легковых автомобилей	То же	Не учитываются		
Максимальный продольный уклон	Движение одиночного автопоезда	»	0,3—0,5	0,01—0,02	Не учитывается
Минимальный радиус кривых в плане	Движение одиночного легкового автомобиля с расчетной скоростью	»	0,3—0,5	0,01—0,02	То же
Расстояние видимости	То же	»	0,3—0,5	Не учитывается	
Расстояние видимости встречного автомобиля, радиус вертикальных выпуклых кривых	Движение двух встречных автомобилей с расчетной скоростью	»	0,3—0,5	То же	
Ширина полосы движения двухполосных дорог	Движение двух встречных автомобилей с пониженной расчетной скоростью	Сухое или увлажненное, чистое, обочины сухие	Не учитывается		
Число полос	Движение потока разнородных автомобилей	То же			То же

движущегося с расчетной скоростью, с дорогой. В нормативной литературе за расчетную принята наибольшая возможная скорость одиночного автомобиля на сухом или увлажненном чистом покрытии, а гололед, снежный накат, слой рыхлого снега, загрязненность покрытия, степень увлажнения, грязные обочины не учтены и обеспеченность расчетных скоростей в проектах дорог не определяется (табл. 1.1).

Основные геометрические параметры плана, продольного и поперечного профилей дорог, транспортно-эксплуатационные характеристики и элементы обустройства рассчитывают, как правило, на работу в летний, наиболее благоприятный период, и не проверяют на их обеспеченность в другие периоды, когда существенно изменяются интенсивность и состав движения. Не разработаны методы прогнозирования и определения уровня транспортно-эксплуатационных качеств дорог в указанные периоды, что

снижает ответственность проектных организаций за обеспеченность нормального движения в сложных погодных условиях.

Вся ответственность за обеспечение удобного и безопасного движения автомобилей возлагается на службу эксплуатации без определения и сравнения по вариантам требуемой мощности и ресурсов для содержания дорог, имеющих различные технические параметры.

Таким образом, возник разрыв в единой цепи создания и функционирования дороги. Методы ремонта и содержания направлены главным образом на обеспечение сложившихся, ненормированных режимов и уровней безопасности движения, а в неблагоприятные периоды и в сложных погодных условиях — на обеспечение непрерывности движения. Не разработаны научно обоснованные методы определения минимально допустимых показателей состояния дорог в указанные периоды, показателей режимов движения, путей и ресурсов для их обеспечения.

Отсутствуют требования к допускаемым изменениям транспортно-эксплуатационных качеств дорог в зависимости от природно-климатических и погодных условий, методы оценки их влияния на режим и безопасность движения, что не позволяет оценивать качество проектов, эффективность деятельности дорожно-эксплуатационной службы.

Параметры и характеристики дорог, зависящие от климата. В табл. 12 приведен перечень основных метеорологических факторов, которые необходимо учитывать при назначении параметров и характеристик дорог на стадии проектирования. Из этого перечня видно, что задача детального учета погоднo-климатических факторов чрезвычайно сложна и многообразна, если иметь в виду разную вероятность появления, интенсивность и длительность метеорологических факторов по территории страны.

Все это свидетельствует о необходимости дальнейшего развития и совершенствования методов проектирования дорог с учетом влияния факторов климата и погоды. Представляется целесообразным разделить все дороги по обеспеченности движения в период неблагоприятных погодных условий (исключая стихийные бедствия) на две группы:

дороги, на которых перерывы движения не допускаются в течение всего срока эксплуатации, а снижение скорости и пропускной способности в неблагоприятных погодных условиях не должно превышать нормативных требований;

дороги, на которых допускаются перерывы (закрытие) движения не более установленной нормативной длительности при метеорологических явлениях выше определенной интенсивности.

Такой подход позволяет уточнить требования к выбору критерия для оценки эффективности функционирования дорог и дополнить их требованиями, которые во многих случаях могут иметь решающее значение при выборе инженерных, организационных и других управляющих воздействий.

Параметры и транспортно-эксплуатационные характеристики	Метеорологические факторы							
	Жидкие и снежные осадки	Снеговая	Метель	Гололед	Температура воздуха	Влажность воздуха	Ветер	Уровень атмосферного давления
Основные расчетные параметры								
Скорость движения	+	+	+	+	+	+	+	+
Длина тормозного пути	+	+	+	+	+	+	+	+
Видимость поверхности дороги и встречного автомобиля	+	+	+	+	+	+	+	+
Время реакции водителя	—	—	—	—	+	—	—	—
Интенсивность и состав движения	+	+	+	+	+	—	+	+
Пропускная способность	+	+	+	+	+	—	+	+
Параметры поперечного профиля								
Число полос движения	+	+	+	+	+	—	—	—
Ширина полосы движения и проезжей части	+	+	+	+	—	—	+	+
Крайние укрепленные полосы и укрепленные обочины	+	+	+	+	—	—	+	+
Дополнительные полосы на подъемах	+	+	+	+	—	—	—	—
Поперечный уклон проезжей части и обочин, уклон выража	+	+	+	+	—	—	+	+
Ширина разделительной полосы	+	+	+	+	—	—	+	+
Крутизна откоса земляного полотна	—	—	+	—	—	—	+	+
Параметры плана и продольного профиля								
Радиусы кривых в плане	+	+	+	+	—	—	+	—
Радиусы кривых в продольном профиле	+	+	+	+	—	—	—	—
Продольные уклоны	+	+	+	+	—	—	+	—
Рабочие отметки насыпей и выемок	+	—	+	+	—	—	+	—
Инженерное оборудование дорог								
Ограждения	+	+	+	+	—	—	+	+
Дорожные знаки и указатели	+	+	+	+	—	—	+	+

Продолжение табл. 1.2

Параметры и транспортно-эксплуатационные характеристики	Метеорологические факторы							
	Жидкие осадки	Снегопад	Морось	Туман	Температура воздуха	Влажность воздуха	Ветер	Сумма метеорологических факторов
Линия разметки дорог	+	+	+	+	+	—	+	+
Автобусные остановки	+	+	+	—	—	—	+	—
Снегозащитные насаждения и сооружения	—	+	+	—	—	—	+	—
Ветрозащитные сооружения	—	—	+	—	—	—	+	—
Дорожная одежда	+	+	+	+	—	+	+	+
Сцепные качества и шероховатость	+	+	+	+	—	+	+	+

Конечной задачей в этом направлении должна быть разработка методов проектирования, содержания дорог и управления движением, позволяющих гарантировать удобный и безопасный проезд автомобилей с высокими скоростями независимо от периода года и погодных-климатических условий.

Основой разработки этих методов служат результаты анализа взаимодействия комплекса ВАДС и системы ДУ—ТП. Указанный комплекс обладает свойствами сложной динамической системы и к его исследованию применимы методы системного анализа и теории исследования операций. Приняв за главный показатель функционирования комплекса ВАДС скорость и безопасность движения, можно перейти к решению практических задач, поскольку скорость и безопасность являются основным транспортно-эксплуатационным качеством дороги, на обеспечение которого направлены все проектные решения и эксплуатационные мероприятия.

1.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГИ И ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ

Общие положения. Режим движения автомобиля прежде всего зависит от геометрических параметров и состояния поверхности дороги, с которой взаимодействует автомобиль и которую видит водитель. К их числу относятся: ширина проезжей части, краевых укрепленных полос и обочин, тип покрытия, его ровность, шероховатость и сцепные качества, а также сопротивление качению. Показатели прочности дорожной одежды и устойчивости земляного полотна с позиций взаимодействия автомобиля с дорогой могут быть выражены через ровность и сопротивление качению.

Движение автомобиля возможно, если сила тяги по сцеплению превышает силу сопротивления движению.

$$mq > f + i, \text{ или } mq > \psi,$$

где m — коэффициент сцепного веса (для легковых автомобилей 0,5—0,55, для грузовых 0,65—0,75); q — коэффициент сцепления колеса с дорогой; f — коэффициент сопротивления качению; i — продольный уклон, ‰; ψ — сумма дорожных сопротивлений.

Из неравенства видно, что движение на дороге возможно, когда коэффициент сцепления значительно больше коэффициента сопротивления качению. Это условие легко выполняется на сухих, чистых покрытиях. На мокрых или заснеженных покрытиях может наступить момент, когда силы сопротивления качению превысят силы сцепления и наступит перерыв в движении.

Если сцепные качества обеспечены, максимально возможная скорость автомобиля может быть получена из уравнения мощностного баланса:

$$v = \frac{N_e - \frac{K_x F v^3}{2580 \eta_T}}{\psi \frac{Q}{200 \eta_T}}, \quad (1.2)$$

где N_e — мощность двигателя, кВт; K_x — коэффициент обтекаемости, F — площадь лобовой поверхности автомобиля, m^2 ; v — скорость движения, км/ч; Q — масса автомобиля с нагрузкой, кг; η_T — механический к.п.д. трансмиссии (0,85—0,9).

Поскольку скорость автомобиля входит в обе части уравнения (1.2), оно решается итерационным методом. Скорость при различных состояниях покрытия и коэффициент обеспечения расчетной скорости можно получить и по графикам динамических характеристик автомобилей исходя из условия

$$D = f + i.$$

Подставляя в эту формулу значения сопротивления качения, соответствующие эталонному и фактическому состояниям, по графику динамической характеристики легко получить v_{max} .

Поверхность дороги и сопротивление качению. Установлено, что при изменении скорости от 10 до 50 км/ч коэффициент сопротивления качению колес грузовых автомобилей увеличивается в среднем в 1,2—1,4 раза. При изменении скорости от 20 до 100 км/ч этот коэффициент для легковых автомобилей возрастает более чем в 3 раза [25]. В связи с этим не совсем правильно называть средними значениями коэффициента сопротивления качению, приводимые в монографиях и статьях, без указания скорости, для которой определен этот коэффициент.

Коэффициент сопротивления качению следует принимать с учетом скорости

$$f = f_{20} + \frac{A_0 + K_1 v}{A_1 + 2 v^{A_2}}, \quad (1.3)$$

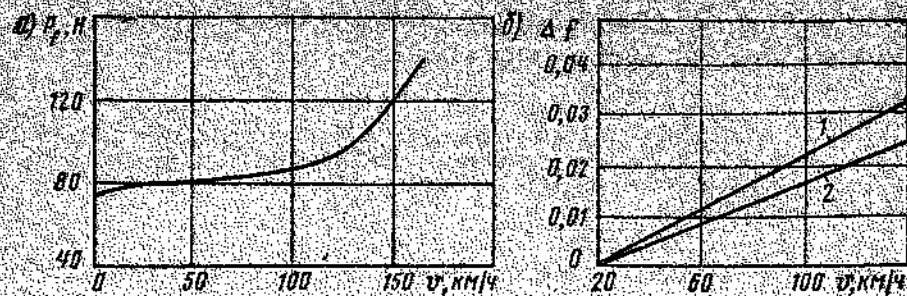


Рис. 1.5. Зависимость сопротивления качению шин от скорости на сухих чистых покрытиях.

а — характерные зоны изменения сил сопротивления качению; б — среднее нарастание коэффициента сопротивления качению;

1 — для легковых автомобилей; 2 — для грузовых автомобилей

где f_{20} — сопротивление качению при скорости до 20 км/ч; K_{f_1}, K_{f_2} — коэффициенты нарастания сопротивления качению ведущих и ведомых колес; Δv — прирост скорости сверх 20 км/ч.

Обработка данных [25] позволяет получить коэффициент сопротивления качению в среднем для ведущих и ведомых колес автомобиля. Тогда при различных скоростях

$$f_v = f_{20} + K_f(v - 20). \quad (1.4)$$

Для легковых автомобилей $K_f = 0,00025$, для грузовых 0,0002. Расчеты показывают, что уже при скорости выше 60 км/ч нельзя пренебрегать возрастанием сопротивления качению (рис. 1.5).

По данным В. И. Кнороза [25], зависимость коэффициента сопротивления качению от скорости (v) и внутреннего давления в шине (P_0)

$$f_v = \frac{31,56}{P_0} + \frac{v^{0,7}}{0,778 \cdot 10^6 \cdot P_0^{2,03}}. \quad (1.5)$$

На сопротивление качению большое влияние оказывает состояние поверхности покрытия, формирующееся под воздействием погоднo-климатических факторов, параметров дороги и уровня ее содержания.

Анализ измерений [6] показывает, что при наличии слоя воды на покрытии сопротивление качению возрастает примерно на 5% на каждый миллиметр ее толщины. Ориентировочное значение коэффициента сопротивления качению

$$f = f_0(1 + 0,05h_w), \quad (1.6)$$

где f_0 — коэффициент сопротивления качению сухого покрытия; h_w — толщина слоя воды и грязи на покрытии, мм.

Особенно значительно меняется сопротивление качению на заснеженных покрытиях. Наличие даже сухого снега приводит к значительному росту сопротивления качению колес автомобиля. В зависимости от толщины такого слоя коэффициент f может в 10—15 раз превышать его среднее значение у сухих цементно-и асфальтобетонных покрытий. Сопротивление качению влажного рыхлого снега еще больше.

Движение по уплотненному снегу сопровождается образованием колеи и ростом сопротивления качению, так как под воздействием подвижной колесной нагрузки (при достижении определенного значения) в уплотненном снеге возникает напряженное состояние, внутренняя связность снега нарушается и он получает необратимые деформации — осадку в виде колеи. При этом колеса автомобиля испытывают встречное сопротивление уплотненного снега, которое зависит главным образом от его прочности: чем она выше, тем мельче колея и меньше сопротивление качению.

В табл. 13 приведены предлагаемые расчетные значения коэффициента сопротивления качению при скорости 20 км/ч, дифференцированные по типам покрытий и их состояниям, полученные на основании обобщения данных многих исследователей [6, 25, 40].

Таблица 13

Тип покрытия	Где при различных состояниях покрытий				
	Экзальное (сухое)	Влажное, чистое	Мокрое, загрязненное	На покрытии ровный слой плотного снега	Гололед
	Рыхлый снег толщиной, мм				
	до 10	10—20	20—40	40—60	
Цементно-и асфальтобетонное	0,01—0,02	0,02—0,03	0,03—0,035	0,04—0,10	0,015—0,03
То же, с поверхностной обработкой	0,02	0,02—0,03	0,03—0,035	0,04—0,10	0,02—0,04
Холодный асфальтобетон, черное покрытие	0,02—0,025	0,025—0,035	0,03—0,045	0,04—0,10	0,02—0,04
Полное (гравийное) покрытие (шбб)	0,035	0,035—0,05	0,04—0,06	0,04—0,10	0,03—0,04
Грунтовый дорожный	0,03	0,04—0,05	0,05—0,15	0,06—0,10	0,03—0,05

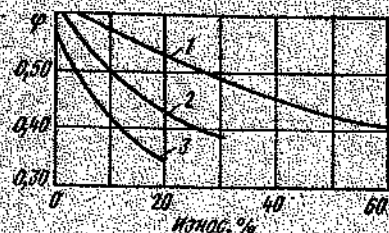


Рис. 1.6. Зависимость коэффициента сцепления от износа покрытия: 1 — бетонного; 2 — гравийного; 3 — асфальтового

Сцепление колеса с покрытием. Сухие покрытия практически все обладают достаточно высокими сцепными качествами. При этом заметно влияние износа покрытия (рис. 1.6).

Наличие воды снижает сцепление автомобильной шины с покрытием. Уже при влажности воздуха до 100% на покрытие выпадает влага, что способствует снижению сцепных качеств, особенно при температуре ниже

0°C, когда может образоваться микроголедед.

Практически вода начинает влиять на сцепные свойства, когда пленка ее толще 0,2 мм, снижая адгезионную составляющую силы трения. Толщина пленки воды на покрытии зависит от интенсивности и продолжительности осадков, длины пути стока (т. е. от ширины проезжей части, продольного и поперечного уклонов), его гидравлической шероховатости, направления и скорости ветра, ровности и чистоты покрытия [12].

$$h = \left(\frac{aLn}{30\sqrt{i}} \right)^{0,6}; \quad (1.7)$$

$$L = b \sqrt{1 + \left(\frac{i_{\text{прод}}}{i_{\text{поп}}} \right)^2}; \quad (1.8)$$

$$i = \sqrt{i_{\text{прод}}^2 + i_{\text{поп}}^2}; \quad (1.9)$$

где a — интенсивность дождя, мм/мин; L — длина участка стока, м; n — коэффициент гидравлической шероховатости покрытия; i — уклон участка стока воды, ‰; b — половина ширины проезжей части, мм; $i_{\text{прод}}$ — продольный уклон проезжей части, ‰; $i_{\text{поп}}$ — поперечный уклон проезжей части, ‰.

Расчеты показывают, что при интенсивности дождя 0,6—0,8 мм/мин и длине стока 10 м толщина пленки воды на идеально ровном и чистом покрытии составит 1—2 мм. В реальных условиях ее толщина зависит от ровности покрытия, наличия колея, трещин, выбоин, участков с нулевым уклоном и переходных кривых, силы и направления ветра и т. д.

Аквапланирование. Исследованию этого явления посвящено большое число работ отечественных и зарубежных ученых, в которых оно получило достаточно полное описание [6, 12, 35, 63, 65].

Различают три вида аквапланирования колес: динамическое, вязкое и паровое [6]. Физическая сущность динамического аквапланирования состоит в том, что при движении колеса по покрытию со сплошным слоем жидкости толщиной не менее критической $h_{\text{кр}}$ в зоне расположения головной волны (рис. 1.7) возникает жидкостный клин, оказывающий на колесо гидродинамическое дав-

ление R . С увеличением скорости это давление возрастает и при критической скорости аквапланирования $v_{\text{ак}}$ вертикальная составляющая Y давления сравнивается по размеру с вертикальной нагрузкой на колеса P . С этого момента колеса начинают скользить. На этапе, предшествующем динамическому аквапланированию, незагорможенные колеса постепенно замедляют скорость вращения ω (вследствие возникновения встречного крутящего момента от силы R) и к началу аквапланирования могут остановиться. После возникновения аквапланирования головная волна жидкости перед колесами уменьшается и при дальнейшем возрастании скорости исчезает.

На возникновение динамического аквапланирования наибольшее влияние оказывают глубина слоя и плотность жидкости, давление в пневматиках колес, рисунок и степень износа протекторов, а также структура поверхности покрытия. С учетом этих факторов В. В. Часовников предложил расчетные зависимости, позволяющие определять критическую глубину слоя жидкости на поверхности и скорость аквапланирования [6], которые после небольших преобразований имеют вид:

$$h_{\text{кр}} = \frac{0,72\Delta}{1 - \frac{0,235p}{\rho} \left(\frac{36}{v} \right)^2}; \quad (1.10)$$

$$v_{\text{ак}} = 36 \sqrt{\frac{0,235p}{\rho \left[1 - \left(\frac{0,72\Delta}{h} \right)^2 \right]}}; \quad (1.11)$$

где Δ — средняя высота выступов микрошероховатости покрытия, мм; p — давление воздуха в шинах, МПа; ρ — плотность жидкости (воды — 1,02 г/см³, грязи — 0,8 г/см³); v — скорость автомобиля, км/ч; h — глубина слоя жидкости, мм.

Формулы соответствуют наиболее неблагоприятному случаю, когда протекторы имеют значительный износ. Такая расчетная предпосылка позволяет получать искомые $h_{\text{кр}}$ и $v_{\text{ак}}$ с некоторым запасом.

Как показывают расчеты, на гладких покрытиях динамическое аквапланирование может возникать при толщине пленки воды или грязи всего в 2—3 мм. Если пленка толще 10 мм, его, как правило, уже нельзя избежать. Скорость аквапланирования зави-

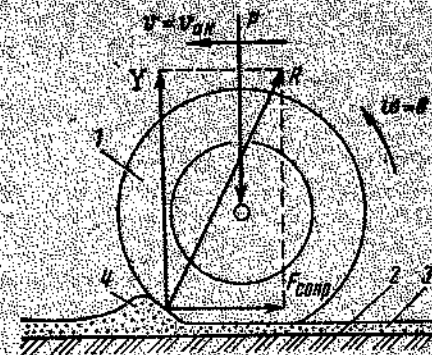


Рис. 1.7. Схема действия сил на колесо автомобиля при возникновении динамического аквапланирования:

1 — колесо автомобиля; 2 — покрытие; 3 — слой жидкости; 4 — головная волна жидкости

сит главным образом от давления в шинах: для давления 0,127—0,196 МПа и 0,392—0,588 МПа составляет соответственно 60—70 и 80—100 км/ч.

Динамическое аквапланирование представляет большую опасность, так как почти полностью теряется эффективность колесного торможения ($\phi=0,02\div0,05$). В результате возникают дорожно-транспортные происшествия с тяжелыми последствиями, чему часто способствует боковой ветер. Отмечено, что уже при скорости ветра более 5 м/с в момент аквапланирования автомобиль может развернуться в поперечном направлении.

Вязкое аквапланирование возникает вследствие наличия на гладком покрытии тонкого (не более 0,25 мм) слоя воды, загрязненного пылью, продуктами истирания резины, маслом и т. д. Потеря сцепления в этом случае наблюдается при значительно меньших скоростях, чем при динамическом аквапланировании.

Паровое аквапланирование может происходить на достаточно шероховатых покрытиях при торможении с полной блокировкой (юзом). В этих условиях в контактной зоне колеса выделяется тепло, и пленка воды превращается в перегретый водяной пар, оплавливающий (при температуре выше 200°C) резину протектора. Расплавленная резина препятствует выходу пара из-под протектора, вследствие чего скользящее колесо под воздействием высокого давления пара отрывается от покрытия. Паровое аквапланирование может возникать на покрытиях с ином, который, как и пленка воды, является источником образования перегретого

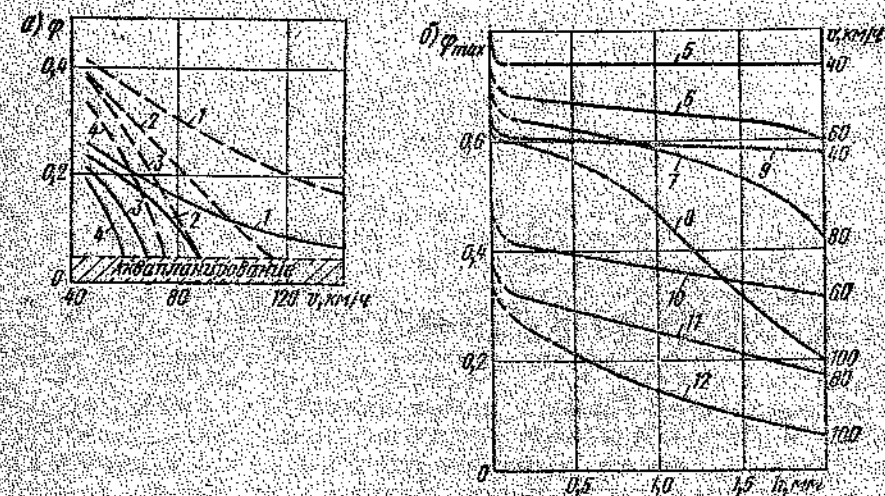


Рис. 1.8. Влияние толщины пленки воды на коэффициент сцепления:

а — зависимость ϕ от v при разной толщине пленки воды; б — зависимость ϕ от μ при разной толщине пленки воды; 1—4 — слой воды на покрытии соответственно толщиной 0,2, 4, 5, 8—9, 10—14 мм; 5—8 — для шин с новым протектором; 9—12 — для гладкой шины. Штриховые линии — для шин с глубиной канавок протектора 3 мм, сплошные — для гладкой шины.

пара в контактной зоне колеса. Паровое аквапланирование можно наблюдать даже при низких скоростях (до 40 км/ч и менее).

Большинство исследований сцепных качеств покрытий в СССР относится к влажному и мокрому покрытию, но не к покрытию, на котором имеется пленка воды. Исключением являются работы канд. техн. наук М. В. Немчинова [35]. Поэтому для решения практических задач может оказаться полезным зарубежный опыт [63, 65].

В ФРГ установлено, что при толщине пленки воды до 0,2 мм коэффициенты сцепления практически такие же, как на сухих покрытиях. При толщине пленки воды 1 мм коэффициенты сцепления определяются макро- и микрошероховатостями покрытия и скоростью. Если пленка воды 10 мм, влияние макро- и микрошероховатости покрытий практически не имеет значения. Измерения показали, что если толщина пленки воды 10 мм, аквапланирование шин с рисунком протектора 8 мм возникает при скорости 75 км/ч, а если пленка 6—8 мм — при скорости 90 км/ч (рис. 1.8). В то же время эти исследования позволяют утверждать, что при скорости до 60 км/ч аквапланирование не наблюдается даже у шин с гладким протектором при слое воды на покрытии до 14 мм. Это объясняется тем, что при низких скоростях вода успевает отжаться из зоны контакта колеса с покрытием.

Испытания, проведенные во Франции, показали, что аквапланирование колеса с гладким протектором возникает при толщине пленки воды 0,8 мм и скорости 140 км/ч, если средняя высота выступов шероховатости, определенная методом песчаного пятна, находится в пределах 0,1—0,15 мм.

Специалисты Японии установили, что аквапланирование колес легковых автомобилей возникает, если толщина пленки воды 7,5 мм, а скорость движения 80—100 км/ч. При полностью изношенном рисунке протектора аквапланирование возможно уже при скорости 60 км/ч (рис. 1.9).

Характеристики заснеженной и обледенелой поверхности дороги. Из числа климатических и метеорологических факторов наибольшее влияние имеют осадки в виде сухого или влажного снега, смешанные снего-дождевые осадки, метель, ветер, иней, гололед, температура и влажность воздуха, туман, солнечная радиация.

Большое значение имеет интенсивность воздействия каждого или нескольких неблагоприятных факторов.

При различных сочетаниях метеорологических факторов, параметров дороги, окружающей местности, интенсивности и состава движения, уровня содержания формируется множество состояний поверхности дороги, из которых можно выделить ряд наиболее характерных (табл. 1.4). Каждое из этих состояний создает

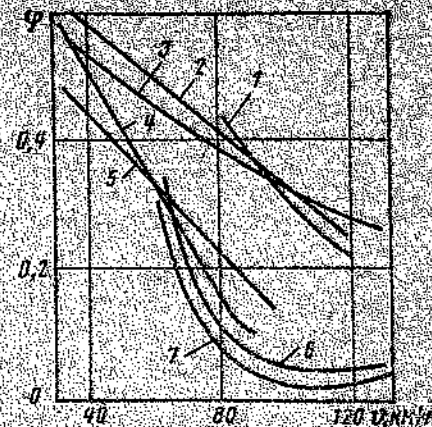


Рис. 1.9. Зависимость коэффициента сцепления от скорости на мокрых покрытиях:

1 — во время ливневого дождя; 2 и 4 — на шероховатом цементобетонном покрытии при толщине пленки воды 1 и 7,5 мм; 3 — 7 — на гладком покрытии соответственно при толщине пленки воды до 2,5 мм, 2—5 мм, 5—10 и более 10 мм.

свои условия взаимодействия автомобиля с дорогой и восприятия дороги водителем.

На полностью очищенной от снега и льда поверхности покрытия условия движения зимой практически мало отличаются от условий движения летом (за исключением случаев микрогололеда, образующегося при определенных сочетаниях температуры и влажности воздуха и покрытия).

Зимой наибольшее влияние оказывает коэффициент сцепления колеса с заснеженным покрытием, коэффициент сопротивления качению, ровность поверхности и, особенно, сочетание всех этих параметров. Кроме того, на режим и безопасность движения зимой существенное воздействие оказывает фактически используемая ширина проезжей части, которая даже при хорошем содержании дороги может колебаться в больших пределах. При этом фактически используемая ширина покрытия может быть меньше проектной из-за снежных отложений на прикромочной полосе и больше ширины проезжей части, если движение происходит по

Таблица 1.4

Характерное состояние проезжей части зимой	Состояние обочины зимой
Чистое сухое покрытие на всю ширину	1
Чистая сухая полоса покрытия шириной 2—6 м; на остальной части тонкий слой уплотненного снега (накат)	2—5
На покрытии слой рыхлого сухого или влажного снега толщиной до 5 см	2—5
На покрытии слой рыхлого сухого и влажного снега более 5 см	3—5
Мокрые покрытие или на нем слой снежной каши или слякоти	2—5
На покрытии тонкий слой уплотненного снега (накат) толщиной до 5 см	2—5
То же, толще 5 см	4—5
Слой рыхлого снега на слое уплотненного снега	4—5
На покрытии гололед или слой льда	Любое

Примечание. Типы состояний обочины зимой: 1 — чистые сухие; 2 — тонкий слой уплотненного снега (накат); 3 — ровный тонкий слой рыхлого или слежавшегося снега или снежной слякоти; 4 — слой рыхлого или слежавшегося снега толще 10 см; 5 — сплошные или прерывистые валы снега различной высоты.

уплотненному слою снега, лежащего на всей поверхности дороги.

Изменения сцепных качеств покрытий зимой одним из первых в СССР исследовал проф. М. С. Замахаяев [16]. В последующем был выполнен ряд работ по изучению сцепных качеств и сопротивления качению заснеженных дорожных и аэродромных покрытий [4, 6, 9, 15]. Обобщение результатов ранее выполненных исследований дано в книге [9], поэтому здесь не повторяется. Необходимо отметить, что во многих случаях указанные исследования выполнены различными методами и в разных условиях, что не позволяет сопоставить результаты.

Установлено, что при наличии рыхлого снега на покрытии коэффициент сцепления мало зависит от шероховатости, но существенно от толщины слоя, плотности, влажности и температуры снега.

В настоящее время имеется возможность определить только общую закономерность изменения коэффициентов сцепления и сопротивления качению от толщины слоя рыхлого снега на покрытии и амплитуду колебаний этих коэффициентов, в которые укладываются результаты измерений, выполненных многими авторами (рис. 1.10).

Ориентировочные значения коэффициентов сцепления при скоростях 40—60 км/ч и температуре воздуха -10°C — -20°C .

Прочность снега, МПа	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
μ	0.30—0.45	0.25—0.35	0.20—0.30	0.17—0.25	0.16—0.23	0.15—0.21

Учитывая зависимость коэффициента сцепления от многих факторов, для практических целей необходимо иметь большое число измерений, выполненных при различных сочетаниях этих факторов, чтобы всегда можно было найти значения коэффициентов, наиболее полно соответствующие расчетным условиям. К сожалению, широкомасштабных наблюдений за изменением сцепных качеств покрытий еще не организовано, поэтому во многих случаях приходится пользоваться приблизительными значениями этих величин.

Во многих расчетах при проектировании дорог и организации движения необходимы данные о сцепных качествах покрытия при разных скоростях. Поэтому весьма важным показателем является степень снижения коэффициента сцепления с увеличением скорости, которую можно оценить коэффициентом снижения сцепных качеств при изменении скорости

$$\beta_v = dq/dv.$$

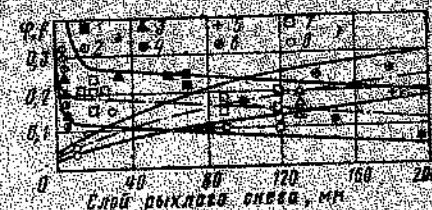


Рис. 1.10. Зависимость коэффициента сцепления и сопротивления качению от толщины слоя уплотненного снега на покрытии по данным:

1 — М. С. Замахаяев; 2 — В. А. Астрахан; 3 — В. И. Жуков; 4 — М. Г. Лазарев; 5, 6 — В. Н. Семенов; 7 — А. П. Васильев; 8 — В. И. Кироза

Зная характер изменения β_0 , можно перейти от значений коэффициента сцепления, измеренного при одной скорости, к коэффициенту сцепления при других скоростях:

$$\varphi_{v_2} = \varphi_{v_1} - \beta_0(v_2 - v_1). \quad (1.12)$$

Анализ измерений показывает, что зависимости коэффициента сцепления обычно имеют вид кривой, плавно убывающей со скоростью, для получения которой необходимо много точных измерений (рис. 1.11).

Измерительная аппаратура выпускается единичными экземплярами и разнородна по конструкциям. Результаты измерений, выполненных разными приборами, недостаточно коррелированы между собой и для одних и тех же условий имеют существенный разброс.

Поэтому в расчетах приходится пользоваться небольшим набором значений коэффициентов сцепления, измеренных при скорости, которая чаще всего не указана, и распространять эти значения на расчеты с другими скоростями, для других типов покрытий и их состояний, что приводит к очень большим допущениям.

Для повышения точности расчетов необходимо вводить в них не точечное значение коэффициента сцепления, а зависимость его от скорости движения, или принимать для каждой скорости соответствующее значение.

Учитывая существующее положение с точностью измерения коэффициента сцепления, представляется возможным до получения результатов измерений, необходимых при построении кривых $\varphi = f(v)$ для всех характерных условий, допустить аппроксимацию этих кривых прямыми в определенных интервалах скоростей, что значительно упрощает методику пересчета коэффициентов сцепления от одной скорости к другой. Как показывает анализ,

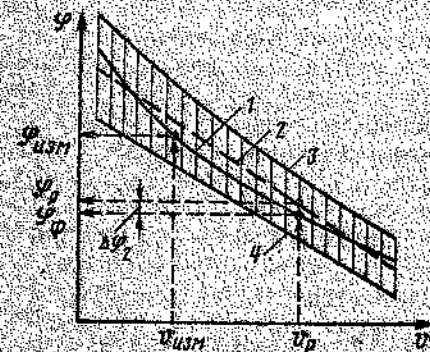


Рис. 1.11. Зависимость коэффициента сцепления от скорости:

1 — фактическая кривая; 2 — аппроксимирующая линия; 3, 4 — границы точности измерений коэффициента сцепления

в большинстве случаев различия между коэффициентом сцепления, вычисленным по аппроксимирующей прямой, но для данной расчетной скорости, и фактическим значением φ_f , которое было бы получено по фактической кривой изменения этих значений, значительно меньше разницы между измеренным $\varphi_{изм}$ при скорости $v_{изм}$ и фактическим φ_f , т. е. $\Delta\varphi_2 < \Delta\varphi_1$.

Обработка измерений разных авторов позволяет предложить значения коэффициентов сцепления для скорости 20 км/ч (φ_{20}) и коэффициентов снижения сцеп-

Таблица 15

Значения коэффициентов $\varphi_{ф}$ и β_0 с учетом состояния покрытия

Тип покрытия	Этапное (сухое)		Мокрое, чистое		Мокрое, грязное		Рыхлая снег на покрытие		Уплотненный снег		Гололед	
	$\varphi_{ф}$	β_0	$\varphi_{ф}$	β_0	$\varphi_{ф}$	β_0	$\varphi_{ф}$	β_0	$\varphi_{ф}$	β_0	$\varphi_{ф}$	β_0
Цементобетонное	0,80—0,85	0,002	0,65—0,70	0,0035	0,40—0,45	0,0025	0,15—0,35	0,001—0,004	0,20—0,50	0,0025	0,08—0,15	0,002
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,80—0,85	0,0035	0,60—0,65	0,0035	0,45—0,55	0,0035	0,15—0,35	0,001—0,004	0,20—0,50	0,0025	0,10—0,20	0,002
Горячий асфальтобетон без шероховатой обработки	0,80—0,85	0,002	0,50—0,60	0,0035	0,35—0,40	0,0025	0,15—0,35	0,001—0,004	0,20—0,50	0,0025	0,08—0,15	0,002
Холодный асфальтобетон	0,60—0,70	0,005	0,40—0,50	0,004	0,30—0,35	0,0025	0,12—0,30	0,001—0,004	0,20—0,50	0,0025	0,08—0,15	0,002
Черноцементное (гравийное) с шероховатой обработкой	0,60—0,70	0,004	0,50—0,60	0,004	0,30—0,35	0,0025	0,15—0,35	0,001—0,004	0,20—0,50	0,0025	0,10—0,20	0,002
То же, без обработки	0,50—0,60	0,004	0,40—0,50	0,005	0,25—0,30	0,003	0,12—0,30	0,001—0,004	0,20—0,50	0,0025	0,08—0,15	0,002
Щебеночное (гравийное)	0,60—0,70	0,004	0,55—0,60	0,0045	0,25—0,30	0,003	0,15—0,35	0,001—0,004	0,20—0,50	0,0025	0,10—0,15	0,002
Грунтовое уплотненное	0,4—0,50	0,005	0,25—0,40	0,005	0,26	0,003	0,12—0,30	0,001—0,004	0,20—0,50	0,0025	0,08—0,15	0,002

ных качеств (β_0) для различных типов покрытий и их состояний (табл. 1.5). Значения β_0 применимы до скорости 100—120 км/ч.

Коэффициент сцепления для различных скоростей

$$\varphi_v = \varphi_0 - \beta_0(v - 20). \quad (1.13)$$

Формула действительна при скоростях 20—120 км/ч. На заснеженном и обледенелом покрытии коэффициент сцепления с ростом скорости может уменьшаться, оставаться практически без изменения и даже несколько возрастать. Это зависит от температуры воздуха, снега и льда, их плотности и влажности.

Учитывая частую изменчивость сцепных свойств снежного и ледяного слоя, в расчетах целесообразно использовать значения коэффициентов сцепления, убывающие со скоростью. Кроме того, при указанных состояниях поверхности покрытия возможно движение со скоростью менее 20 км/ч и даже остановки. Поэтому возникает необходимость вычислить значения коэффициента сцепления на низких скоростях

$$\varphi_v = \varphi_0 - \beta_0 v, \quad (1.14)$$

где φ_0 — условный коэффициент сцепления при скорости, близкой к нулевой (для рыхлого снега 0,20—0,45, плотного 0,30—0,55, гололеда 0,12—0,22); β_0 — коэффициент снижения сцепных качеств при малых скоростях (для рыхлого снега 0,003—0,004, плотного 0,0025—0,0030, гололеда 0,002—0,0025).

Соотношение характеристик сцепных качеств поверхности покрытия и сопротивления движению имеет большое значение в тяговых расчетах, при определении возможных скоростей движения и максимальных уклонов, преодолеваемых на различных скоростях.

Глава 2

ОЦЕНКА КЛИМАТА ПРИ НАЗНАЧЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ДОРОГ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ

Расчетная скорость, уточнение этого понятия. Чтобы построить дорогу, обеспечивающую круглогодичное непрерывное удобное и безопасное движение, необходимо еще на стадии проектирования оценить влияние климата и погоды на параметры и характеристики дороги в условиях эксплуатации и назначить эти параметры так, чтобы исключить или ослабить отрицательное воздействие погодно-климатических факторов на режим движения автомобилей.

Сложность такой задачи в том, что большинство факторов климата и погоды оказывает одновременное и разнообразное влияние на состояние одного, нескольких или всех элементов комплекса ВАДС. Конечным результатом этого воздействия является изменение режима движения и прежде всего скорости автомобилей, что позволяет принять ее в качестве основного показателя для оценки климата и погоды при выборе параметров и характеристик дорог.

Один из главных показателей — расчетная скорость, исходя из которой определяют требования к параметрам и транспортно-эксплуатационным характеристикам, разрабатывают мероприятия, обеспечивающие безопасность движения. Средние скорости свободного движения и транспортного потока используют в технико-экономических расчетах и при проектировании организации движения. Следует отметить, что на дорогах IV, V и значительной части дорог III категории средние скорости свободного движения и транспортного потока практически совпадают из-за малой плотности потока. Различие этих скоростей наблюдается при высокой интенсивности, когда транспортный поток движется в частично или полностью связанном режиме.

Значения расчетных скоростей в настоящее время принимают для каждой категории дороги в зависимости от рельефа местности без учета возможности их реализации в неблагоприятные периоды года и в сложных условиях погоды. Проверка параметров дорог на обеспеченность расчетной скорости в этих условиях не выполняется. Такое положение приводит к тому, что даже на дорогах, построенных по лучшим проектам, скорости, на которые они рассчитаны, не могут быть достигнуты в течение значительной части года. Более того, обеспечение высоких расчетных скоростей в этих случаях часто оказывается невозможным или приводит к увеличению строительной стоимости и экономически нецелесообразно.

Исходя из погодно-климатических условий на большей части территории и особенностей развития автомобилизации в стране (большую часть транспортного потока составляют грузовые автомобили и автобусы) представляется целесообразным снизить максимальную расчетную скорость до 120 км/ч, но обязательно с учетом ее обеспеченности в неблагоприятные периоды года. Это позволит избежать чрезмерного роста затрат на обеспечение скорости отдельных легковых автомобилей летом и значительно увеличить скорость транспортного потока в осенне-весенний и зимний периоды, следовательно, и среднегодовую скорость.

На основе изложенных положений нами предложено уточненное определение понятия расчетной скорости.

Под расчетной следует понимать максимально возможную по динамическим характеристикам автомобиля, а также по условиям его взаимодействия с дорогой и максимально допустимую по условиям безопасности скорость одиночных расчетных автомобилей в эталонных (нормативных) условиях погоды (лето,

Таблица 2.1

Система комплекс ВАРС и их параметры	Эталонные значения	Система комплекс ВАРС и их параметры	Эталонные значения
Дорожные условия		Условия погоды	
Параметры дороги:		Период года	Лето
прямой горизонтальный участок, продольный уклон, %	0	Температура воздуха, °C	20
ширина полосы движения, м	3,75	Относительная влажность воздуха, %	50
ширина краевой укрепленной полосы, м	0,75	Интенсивность осадков, мм/мин	0
ширина обочины, м	3,75	Скорость ветра, м/с	0
в том числе укрепленной, м	2,50	Метеорологическая дальность видимости, м	>750
геометрическая видимость встречного автомобиля, м	750	Давление, МПа	1013
Состояние покрытия: шероховатое, коэффициент сцепления		Расчетный автомобиль	
сухого покрытия	0,7	Тип	ВАЗ-2107 ГАЗ-24
увлажненного	0,6	Максимальная скорость, км/ч	152 147
ровность: просвет под трехметровой рейкой, мм	5	Ширина колеи, мм	1365 1470
или сумма неровностей по ПКРС-2, см/км	300	Габаритная ширина, мм	1620 1820
сопротивление качению	0,01—0,02	Длина кузова, мм	4128 4735
		Максимальная мощность двигателя, кВт	56,6 69,9
		Полная масса, кг	1430 1820

солнечно, ясно, температура воздуха 20°C, относительная влажность воздуха 50%, ветер отсутствует, давление 760 мм рт. ст. или 1013 МПа) и сцепления колес с покрытием (сухое или увлажненное, чистое).

Элементы дороги и их сочетания должны быть запроектированы так, чтобы в эталонных условиях погоды было гарантировано безопасное движение расчетного автомобиля со скоростью не менее расчетной на любом участке. При погоде, отличающейся от эталонных условий, допускается снижение максимальной скорости, но размер такого снижения не должен превышать пределов, установленных для каждой категории дорог. Следовательно, задача ставится так, чтобы проектные решения не только обеспечивали возможность достижения максимальной скорости в благоприятных условиях, но и гарантировали высокую нормированную скорость в течение всего года.

Под эталонными условиями понимают такие сочетания параметров и транспортно-эксплуатационных качеств дорог, параметров расчетного автомобиля, характеристик климата и погоды, которые позволяют ехать с расчетной скоростью без повышения нервно-эмоциональной напряженности водителя. На двухполос-

ных дорогах наиболее близко этим требованиям соответствует движение одиночного автомобиля на прямом горизонтальном участке шириной проезжей части 7,5 м с укрепленными обочинами и шероховатым покрытием в сухой летний период, когда на встречной полосе движутся только одиночные автомобили. Для дорог I категории за эталонные условия можно принять движение одиночного автомобиля на прямом горизонтальном участке с шероховатым покрытием в сухой летний период, когда на соседних полосах движутся одиночные автомобили. Характеристики эталонных условий приведены в табл. 2.1.

Коэффициент обеспеченности расчетной скорости. Сформулированное определение эталонных условий движения, эталонного состояния дорог и метеорологических условий позволяет оценивать и сравнивать фактическое положение на каждой дороге, в каждый момент времени, при любой погоде с помощью системы коэффициентов, оценивающих изменение скорости.

С учетом изложенного автором разработан метод оценки совместного влияния параметров и состояния дорог, а также метеорологических условий на режим движения автомобилей при одновременном влиянии одного, двух и более параметров и факторов [16]. Метод заключается в сравнении максимальной скорости расчетного автомобиля в данных условиях движения $v_{ф\max}$ с расчетной скоростью $v_p = v_{\max}$. Их отношение названо коэффициентом обеспеченности расчетной скорости

$$K_{p,c} = v_{ф\max}/v_{\max}, \text{ или } K_{p,c} = v_{ф\max}/v_p \quad (2.1)$$

Таким образом, коэффициент обеспеченности расчетной скорости показывает ее долю, гарантированную по требованиям безопасного и удобного движения в реальных дорожных и метеорологических условиях.

Максимально возможные или допустимые (расчетные) скорости $v_{\max}$ и $v_{ф\max}$ могут быть определены путем статистической обработки данных натурных наблюдений и расчетно-аналитическим методом. Порядок их определения приведен в книге [11].

Влияние каждого метеорологического фактора и каждого параметра дороги в отдельности (x_i) на скорость оценивается частным коэффициентом обеспеченности расчетной скорости $K_{p,c,i}$. При его определении для оценки влияния одного фактора или параметра значения других факторов принимают за эталонные.

Воздействие метеорологических явлений можно разделить на простые и сложные. К простым следует отнести воздействие одного фактора на один параметр, к сложным — воздействие одного фактора на несколько параметров или одновременно нескольких факторов на один или несколько параметров или элементов комплекса.

Максимально допустимая или безопасная скорость

$$v_{ф\max} = K_{p,c}^{итог} v_{\max}, \text{ или } v_{ф\max} = K_{p,c}^{итог} v_p \quad (2.2)$$

В эталонных условиях $K_{p,0} = 1$, а максимальная и расчетная скорости будут равны, т. е.

$$v_{0, \max} = v_{p, \max} = v_p$$

Таким образом, метод позволяет оценить как раздельное, так и совместное влияние дорожных и погодно-климатических условий на все взаимодействие комплекса ВАДС и привести это разнобразное влияние к единому показателю — коэффициенту обеспечения расчетной скорости.

Действующие методы проектирования предусматривают несколько значений расчетных скоростей в зависимости от рельефа местности и проектируемого элемента. В целом используется 30 значений расчетных скоростей от 30 до 150 км/ч.

Чтобы упорядочить и упростить процесс проектирования и контроля соответствия запроектированных и существующих дорог нормативным требованиям, целесообразно принять одну основную (или базовую) расчетную скорость, а все отклонения от нее для дорог разных категорий и природно-климатических условий оценивать нормированными значениями коэффициента обеспечения расчетной скорости.

С учетом требований к топливной экономичности и возможностей уверенного управления автомобилем за базовое значение расчетной скорости можно принять $v_p^0 = 120$ км/ч, которое соответствует максимальной наблюдаемой скорости отдельных легковых автомобилей на дорогах I и II категорий.

Тогда коэффициент обеспечения расчетной скорости

$$K_{p,c} = v_{p, \max} / 120. \quad (2.3)$$

Такой подход позволяет значительно упростить оценку условий движения по одному показателю на дорогах разного технического уровня, работающих в различных условиях климата и погоды. Это означает, что на дорогах низких категорий $K_{p,c}$ может быть меньше единицы даже в эталонных условиях, а на скоростных автомобильных магистралях, где основная расчетная скорость будет больше 120 км/ч, $K_{p,c}$ в эталонных условиях погоды превысит единицу.

В неблагоприятных условиях погоды нет необходимости обеспечивать скорость более 120 км/ч (кроме автомобилей специального назначения). Верхний предел $K_{p,c}$ равен единице. Нижний предел снижения максимальной скорости и коэффициента ее обеспечения при неблагоприятной погоде должен быть нормирован на основании технико-экономических расчетов. В исключительных случаях, когда на дороге допустим перерыв движения, $K_{p,c} = 0$.

Таким образом, пределы колебания $K_{p,c}$ составляют:

для всей совокупности дорог и условий погоды в целом $0 \leq K_{p,c} \leq v_p^0 / 120$;

для всей совокупности дорог в эталонных условиях погоды

$$\frac{v_p^0}{120} \leq K_{p,c} \leq \frac{v_p^0}{120};$$

для всей совокупности дорог в неблагоприятных условиях

$$\text{погоды } \frac{v_p^0}{120} < K_{p,c} < 1;$$

в исключительных случаях при неблагоприятных условиях погоды $0 \leq K_{p,c} \leq 1$.

Важный момент в методике проектирования дорог по обеспечению расчетной скорости — выявить характерные промежуточные значения основной расчетной скорости, которые могут быть приняты за границы интервалов оценки условий движения и проектных решений. За критерий интервальных значений скорости нами приняты конечные результаты функционирования комплекса ВАДС: себестоимость перевозки, топливно-экономическая эффективность, безопасность движения и влияние скорости на эти показатели.

Анализ зависимостей, приведенных на рис. 2.1—2.4, позволяет выделить характерные интервалы скорости:

90—120 км/ч для одиночного автомобиля, или 60—80 км/ч транспортного потока, т. е. наиболее эффективный интервал для работы автомобильного транспорта. В то же время при скорости более 90 км/ч заметно возрастают число дорожно-транспортных происшествий, расход топлива и загрязнение воздуха окисью углерода;

60—90 км/ч одиночного автомобиля или 45—65 км/ч транспортного потока. Это наиболее оптимальный интервал скорости по безопасности движения, себестоимости перевозки и расходу топлива;

30—60 км/ч одиночного автомобиля или 20—45 км/ч транспортного потока. Это интервал, в котором с уменьшением скорости ухудшаются все показатели работы автомобильного транспорта;

Рис. 2.2. Зависимость дорожно-транспортных происшествий и относительного числа погибших от скорости:

1 — количество ДТП на 10 млн. авт.км по данным А. М. Зиндербранда; 2 — относительное число погибших по данным В. Ф. Базкова; 3 и 4 — количество ДТП и погибших по данным В. В. Новикова; I, II, III, IV — характерные интервалы скорости

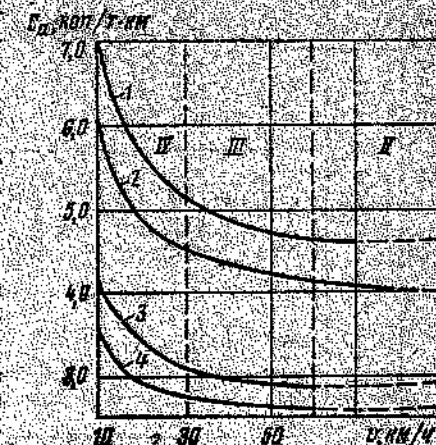


Рис. 2.1. Влияние скорости на себестоимость перевозки на усовершенствованном облегченном покрытии (данные Ю. М. Ситникова):

1 — автомобиль ГАЗ-53; 2 — ЗИЛ-130; 3 — МАЗ-500; 4 — ЗИЛ-130 с прицепом. I, II, III, IV — характерные интервалы скорости

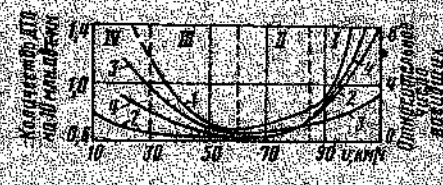


Таблица 2.2

Показатели	Дороги I—III категории						Дороги IV—V категории			
	120—90	90—60	60—30	< 30	80—60	60—40	40—20	< 20		
Максимальная обеспеченная скорость, км/ч	1,0—0,75	0,75—0,5	0,5—0,25	0,25	0,67—0,5	0,5—0,33	0,33—0,17	0,17		
Условия движения	Нормальные	Трудные	Очень трудные	Недопустимые в особых случаях	Нормальные	Трудные	Очень трудные	Допустимые в особых случаях		
Состояние дорог в неблагоприятных погодных условиях	Нормальное	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Аварийное	Нормальное	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Аварийное		
Метеорологические явления и условия	Не опасные (малоопасные)	Опасные	Особо опасные	Особо опасные, стихийное бедствие	—	—	—	—		
Требуемый уровень содержания дорог	Нормальный	Усиленный	Аварийный, с привлечением всех собственных средств	Полная мобилизация с привлечением средств других организаций	Нормальный	Усиленный	Аварийный, с привлечением всех собственных средств	Полная мобилизация или закрытие движения		
Фактический уровень содержания	Нормальный	Удовлетворительный	Неудовлетворительный	Допустимый в особых случаях	Нормальный	Удовлетворительный	Неудовлетворительный	Допустимый в особых случаях		
Качество проектных решений	Требования соблюдены	Перепроектировать или обосновать расчетами	Перепроектировать или обосновать расчетами	Перепроектировать	Требования соблюдены	Требования соблюдены	Перепроектировать или обосновать расчетами	Перепроектировать или обосновать расчетами		

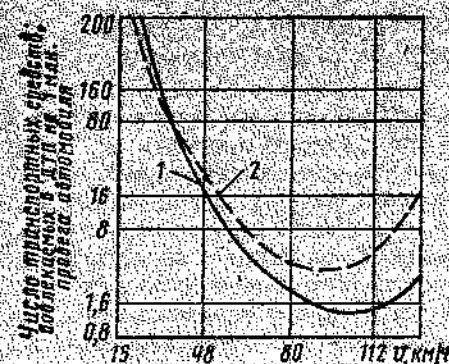


Рис. 2.3. Зависимость относительной аварийности от скорости (данные США): 1 — легковые, 2 — в темное время суток

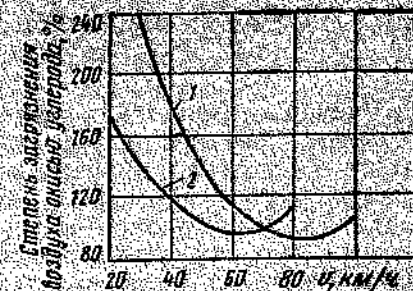


Рис. 2.4. Зависимость загрязнения воздуха окисью углерода от скорости (данные Н. А. Рябикова): 1 — легковые автомобили, 2 — грузовые автомобили с бензиновым двигателем

ниже 30 км/ч для одиночного автомобиля или ниже 20—25 км/ч транспортного потока. Это — интервал с очень неблагоприятными показателями работы автомобильного транспорта по себестоимости перевозки, расходу топлива, загрязнению воздуха отработавшими газами и удельной аварийности.

Кр.с. и показатели функционирования дорог. Выполненный анализ позволяет предложить шкалу оценки показателей функционирования дороги в неблагоприятных условиях погоды по коэффициенту обеспеченности базовой расчетной скорости (табл. 2.2).

В соответствии с принятыми уровнями оценки состояния дорог в неблагоприятные периоды года на дорогах I—III категорий в равнинной местности не должно быть участков с коэффициентами обеспеченности базовой расчетной скорости ниже 0,75, а на дорогах IV и V категорий — ниже 0,33. При технико-экономическом обосновании могут быть допущены участки с $K_{p.c.} = 0,5 \div 0,75$ на дорогах I—III категорий и $K_{p.c.} = 0,17 \div 0,33$ на дорогах IV и V категорий.

В проектах дорог каждый участок надо проверять на возможность достижения расчетной скорости и степень ее обеспеченности в реальных метеорологических условиях. Тем самым еще на стадии проектирования появляется возможность прогнозировать состояние дорог и режимы движения. На тех участках, где требуемый уровень обеспеченности расчетной скорости не достигнут, должны быть изменены проектные решения и разработаны мероприятия, обеспечивающие заданные требования.

Изложенная методика оценки проектных решений позволяет в принципе перейти на проектирование всех дорог на одну базовую расчетную скорость, но с разным уровнем ее обеспеченности в неблагоприятные годы в зависимости от перспективной интенсивности и состава движения (категории дороги), рельефа и климата местности.

2.2. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОРОГ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСЧЕТНОЙ СКОРОСТИ

Порядок оценки. При проектировании дорог оценка влияния каждого параметра или фактора на скорость состоит в том, чтобы обоснованно выбрать расчетную схему, установить механизм и физический смысл воздействия этого фактора или параметра на режим движения, дать количественные зависимости, позволяющие определить максимальную скорость расчетного автомобиля в анализируемых условиях. Параметры плана и продольного профиля, ширина, тип и состояние покрытия, состояние обочин не одинаково влияют на скорость движения в различных погодных-климатических условиях. Установить эти зависимости теоретически не всегда возможно, поэтому для получения указанных зависимостей, кроме теоретического анализа, проведены многочисленные наблюдения и обследования дорог различных категорий во всех природно-климатических зонах страны.

Для их проведения разработаны общая методология и частные методики исследований, которые базируются на анализе модели взаимодействия систем ВАДС и ДУ—ТП (рис. 2.5).

Наблюдения подтвердили наличие постоянных и переменных параметров и транспортно-эксплуатационных характеристик дорог, позволили выявить характер и пределы изменения переменных параметров в разные периоды года и в различных погодных условиях. Получены характеристики транспортного потока по периодам года (интенсивность, состав), влияния состояния дорог

и условий погоды на режим и безопасность движения. Установлены зависимости совместного влияния дорожных и метеорологических условий, а также параметров транспортного потока на выходные характеристики системы ДУ—ТП—скорость, безопасность движения и пропускную способность [9, 11, 42, 43]. Результаты этих и последующих исследований позволили установить влияние параметров дороги и метеорологических факторов на обеспеченность расчетной скорости.

Продольные уклоны. При расчете параметров продольного профиля и оценке их влияния на обеспеченность расчетной скорости важно учесть, как изменяется состояние покрытия во время дождей, снегопадов, метелей, гололеда и отражается на значениях коэффициентов сопротивления качению и сцепления, входящих в основное уравнение движения автомобиля.

Коэффициент обеспеченности расчетной скорости для легкового автомобиля с учетом изменения сопротивления качению

$$K_{p,c} = \frac{\psi_a (N_e - N_{w\phi})}{\psi_{\phi} (N_e - N_{w\phi})}, \quad (2.4)$$

где $N_{w\phi}$ и $N_{w\phi}$ — потери мощности двигателя из-за сопротивления воздушной среды на скоростях, близких или равных скоростям при фактическом и эталонном состоянии покрытия (могут быть определены по рис. 2.6); ψ_{ϕ} и ψ_{ϕ} — сумма дорожных сопротивлений при фактическом и эталонном состоянии покрытия.

Максимальная скорость и $K_{p,c}$ при оценке продольного уклона могут быть определены и другими методами. Однако эти скорости должны быть проверены по коэффициенту сцепления. Граничное условие движения

$$m\varphi = \psi.$$

Имея зависимость $\varphi = f(v)$, получим уравнение для скорости до 20 км/ч $m(\varphi_0 - \beta_{\varphi} v) = f_0 + k_{\varphi} v \pm i$ или, заменив $f_0 \pm i = \varphi_0$,

$$v = (m\varphi_0 - f_0) / (m\beta_{\varphi} - k_{\varphi}), \quad (2.5)$$

Поскольку при малых скоростях $k_{\varphi} = 0$, а $f_0 \approx f_{20}$,

$$v = (m\varphi_0 - f_{20} - i) / m\beta_{\varphi}, \quad (2.6)$$

При скоростях более 20 км/ч максимально возможная скорость на горизонтальном участке и на подъеме по сцеплению колеса автомобиля с дорогой с учетом сопротивления качению

$$v = (m\varphi_0 - f_{20} - i) / (m\beta_{\varphi} + k_f) + 20, \quad (2.7)$$

где k_f — коэффициент изменения сопротивления качению со скоростью (учитывается при скорости более 60—70 км/ч).

Формулы (2.5)—(2.7) действительны в диапазоне скоростей 0—120 км/ч. Для ориентировочных расчетов максимальные скорости при движении на подъеме по условиям сцепления колес

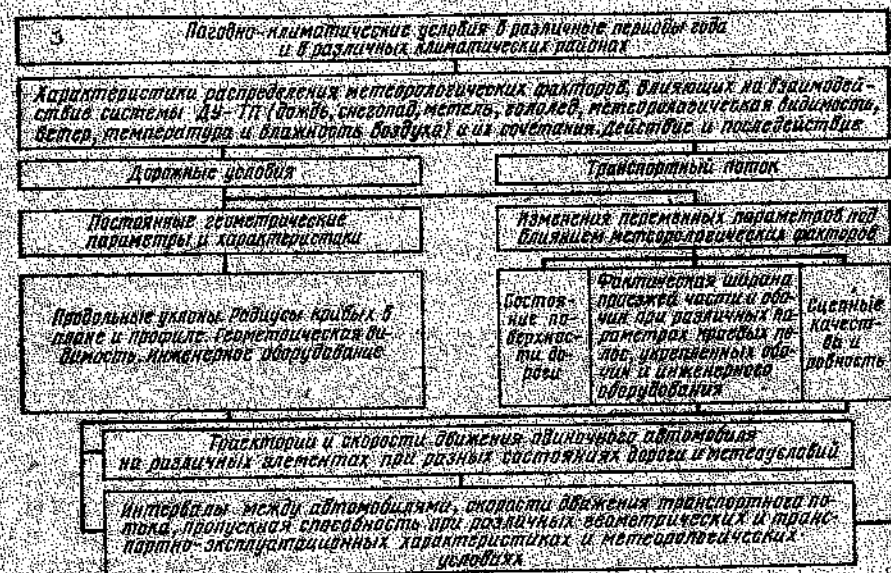


Рис. 2.5. Блок-схема комплексных экспериментальных исследований

автомобиля с дорогой и сопротивления качению могут быть определены по эмпирическим формулам:

$$\text{при снежном накате } \sigma = 120 - 667(f + i); \quad (2.8)$$

$$\text{на гололеде } \sigma = 120 - 874(f + i). \quad (2.9)$$

Полученные по соотношению сцепных качеств и сопротивления качению максимальные скорости (формулы 2.5—2.9) могут превышать возможные по динамике автомобиля и должны быть проверены по мощности двигателя, т. е.

$$N_{\text{д}}^{\text{тп}} < N_{\text{д}}^{\text{р}}$$

где $N_{\text{д}}^{\text{тп}}$ — требуемая мощность двигателя, кВт; $N_{\text{д}}^{\text{р}}$ — мощность двигателя расчетного автомобиля, кВт.

Требуемая мощность двигателя расчетного автомобиля

$$N_{\text{д}}^{\text{тп}} = \frac{Qv_{\text{фmax}}}{200\eta_{\text{т}}} [1 + f_{20} + k_f(v_{\text{фmax}} - 20)] + N_{\text{ш}}, \quad (2.10)$$

где Q — масса расчетного автомобиля, кг; $\eta_{\text{т}}$ — механический к. п. д. трансмиссии ($\eta_{\text{т}} = 0,85 - 0,9$); $N_{\text{ш}}$ — мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, кВт.

Когда мощность двигателя, требуемая для движения на подъеме со скоростью $v_{\text{фmax}}$ определенной по условию взаимодействия колес автомобиля с дорогой, меньше мощности двигателя расчетного автомобиля, для определения $K_{\text{р.с}}$ принимают указанную скорость $v_{\text{фmax}}$. Если $N_{\text{д}}^{\text{тп}} > N_{\text{д}}^{\text{р}}$, скорость должна быть снижена и выполнен перерасчет $N_{\text{д}}^{\text{тп}}$ до тех пор, пока не будет соблюдено требование $N_{\text{д}}^{\text{тп}} < N_{\text{д}}^{\text{р}}$. Скорость, при которой это условие соблюдено, и должна быть принята за максимальную при определении $K_{\text{р.с}}$.

Расчеты по изложенной методике показывают, что на заснеженном или обледенелом покрытии во многих случаях скорость будет ограничена не тяговыми характеристиками автомобиля, а соотношением сцепных качеств и сопротивления качению, и при определенной толщине снега в зависимости от его плотности, влажности и температуры воздуха проезд по дороге будет невозможен, какими бы динамическими качествами автомобиль не обладал, поскольку силы сопротивления движению будут больше сил сцепления.

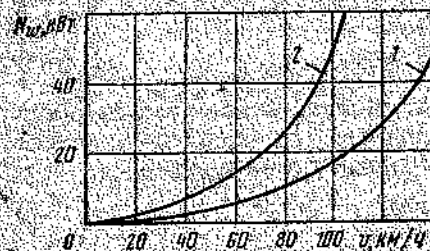


Рис. 2.6. Зависимость мощности двигателя, затрачиваемой на преодоление сопротивления воздуха, от скорости автомобилей:
1 — легковых; 2 — грузовых

Для легковых автомобилей такие условия могут наблюдаться на горизонтальном участке при слое снега 30—260 мм, для грузовых — 80—300 мм. На подъемах буксование автомобилей может

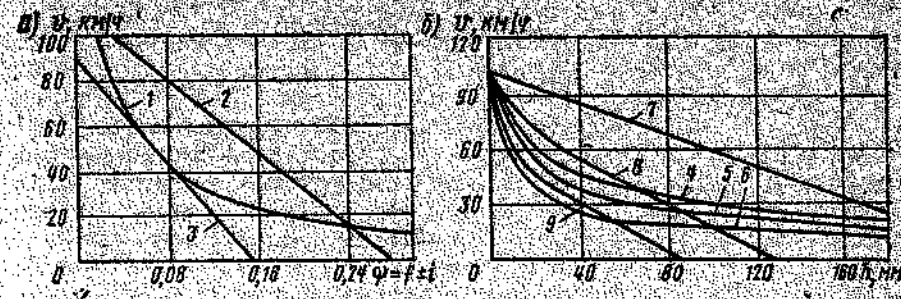


Рис. 2.7. Зависимость скорости грузового автомобиля:

а — от суммы дорожных сопротивлений; б — толщины слоя рыхлого снега на покрытии; 1 — скорость, возможная по динамическим характеристикам автомобиля; 2 — то же, по сцепным качествам и сопротивлению качению при наличии снега на покрытии; 3 — то же, на гололеде; 4, 5, 6 — скорости, возможные по динамическим качествам автомобиля ЗИЛ-130 при $f_{\text{мин}}$, $f_{\text{ср}}$ и $f_{\text{макс}}$; 7, 8, 9 — скорости, возможные по соотношению $\Phi_{\text{макс}}$ и $f_{\text{мин}}$, $\Phi_{\text{ср}}$ и $f_{\text{макс}}$

быть при значительно меньшей толщине снежных отложений. Следовательно, в районах с зимним расчетным периодом необходимо назначать продольный уклон и другие параметры дороги, учитывая соотношение коэффициентов сцепления и сопротивления в зависимости от толщины слоя снега, его плотности, влажности, температуры снега и воздуха.

При движении на подъеме по мокрому шероховатому покрытию максимальная скорость зависит от уклона и динамических качеств автомобиля. На мокрых покрытиях с низкими сцепными качествами так же, как на заснеженных покрытиях, максимальная скорость и уровень ее обеспеченности ограничены соотношением коэффициентов сцепления и сопротивления качению (рис. 2.7).

Максимальную допустимую скорость на спуске можно определить из условия торможения перед внезапно возникшим препятствием, а коэффициент обеспеченности расчетной скорости можно определить, принимая равными тормозные пути в эталонных и фактических условиях движения.

Учитывая, что за эталонные условия принято движение на горизонтальном участке и оставляя в запас безопасности при движении на спуске нарастание сопротивления качению, после преобразований получим формулу для определения коэффициента обеспеченности расчетной скорости на спуске при разных состояниях поверхности дороги

$$K_{\text{р.с}} = \sqrt{(\varphi_{\text{ф}} + f_{\text{ф}} - i) / (\varphi_{\text{э}} + f_{\text{э}})}, \quad (2.11)$$

где $\varphi_{\text{ф}}$, $f_{\text{ф}}$, i — значения коэффициентов сцепления и сопротивления качению, а также продольного уклона в фактических условиях; $\varphi_{\text{э}}$, $f_{\text{э}}$ — то же, в эталонных.

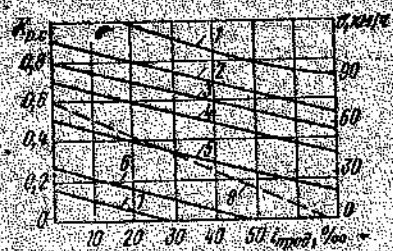


Рис. 2.8. Зависимость скорости автомобиля ВАЗ-2103 на подъеме от продольного уклона и состояния покрытия:

1 — сухое чистое покрытие, $f=0,015$; 2 — слой рыхлого снега, $h=2-5$ мм, $f=0,02$; 3 — уплотненный слой снега, $f=0,04$; 4 — слой рыхлого снега, $h=20$ мм, $f=0,06$; 5 — то же, $h=40$ мм, $f=0,10$; 6 — $h=80$ мм, $f=0,15$; 7 — $h=100$ мм, $f=0,17$; 8 — гололед на покрытии, $f=0,09$.

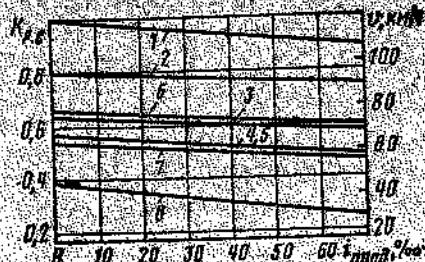


Рис. 2.9. Зависимость скорости легкового автомобиля на спуске от продольного уклона и состояния покрытия:

1 — сухое чистое покрытие, $\phi=0,7$, $f=0,015$; 2 — мокрое чистое покрытие $\phi=0,5$, $f=0,02$; 3 — слой рыхлого снега на покрытии $h=2-3$ мм, $\phi=0,30$, $f=0,03$; 4 — то же, толщиной 20 мм, $\phi=0,20$, $f=0,06$; 5 — то же, толщиной 40 мм, $\phi=0,18$, $f=0,08$; 6 — то же, толщиной 100 мм, $\phi=0,17$, $f=0,17$; 7 — снежный накат на покрытии, $\phi=0,2$, $f=0,04$; 8 — гололед на покрытии $\phi=0,06$, $f=0,04$.

На рис. 2.8 приведены результаты расчета скоростей и $K_{p,c}$ для средних значений коэффициента сцепления и сопротивления качению при разных состояниях покрытия.

Особый интерес представляют данные, характеризующие условия движения по заснеженному и покрытому гололедом покрытию. Даже при средних значениях ϕ и f , принятых в расчете, коэффициент обеспеченности расчетной скорости при движении на спуск колеблется в широких пределах. Еще шире эти колебания, если учесть диапазон изменения физико-механических свойств снежных отложений и различные сочетания толщины слоя снега и метеорологических условий. Именно соотношением указанных характеристик можно объяснить тот факт, что, например, допустимая скорость на спуске при толщине слоя снега 100 мм может быть выше, чем при толщине 20 и 40 мм.

Анализ полученных результатов показывает, что высокая скорость на спуске может быть обеспечена только при эталонных условиях погоды, т. е. на сухом, чистом покрытии. При гололеде, мокром и заснеженном покрытии расчетная скорость на спуске без специальных мероприятий обеспечить быть не может даже на дорогах высоких категорий. При проектировании участков на спуске следует установить нормативный уровень коэффициента обеспеченности расчетной скорости в неблагоприятные периоды года, который должен быть гарантирован комплексом инженерных решений: размером продольного уклона, типом и шероховатостью покрытия, параметрами земляного полотна, обеспечивающими снегонезаносимость, снегозащитными сооружениями, особыми требованиями к содержанию дороги на этом участке.

Исходя из принятого уровня обеспеченности расчетной скорости могут быть обоснованы и требования к допустимой толщине слоя снега на покрытии. Значение коэффициента обеспеченности расчетной скорости при наличии снега на покрытии почти всегда ниже 0,75, что очень опасно для езды с высокими скоростями. Это должно лежать в основе требований к снегоочистке дорог и организации движения зимой. На дорогах высоких категорий необходимо быстрее полное удаление снега с покрытия, какой бы толщиной он ни был, а патрульную снегоочистку следует начинать немедленно после начала снегопада, продолжая ее до полного удаления снега с покрытия. На дорогах низких категорий можно допустить движение по рыхлому и уплотненному снегу, но толщина его должна быть строго ограничена.

Проверку обеспеченности расчетной скорости необходимо выполнять для прямого и обратного направлений движения, что позволит назначить параметры продольного профиля, допускающие требуемые скорости на спуске и подъеме.

Сцепные качества и ровность покрытия. Оба эти показателя во многом зависят от типа покрытия и конструкции дорожной одежды, принятой в проекте с учетом перспективной интенсивности и состава движения. Особенно важно определить коэффициент сцепления, значения которого входят во многие расчетные формулы.

На основании зависимости коэффициента обеспеченности расчетной скорости от коэффициента сцепления (рис. 2.9) могут быть определены требования к сцепным качествам покрытий, шероховатости и структуре его поверхности, выбору материалов и технологии работ, а также требования к допустимой толщине слоя воды на покрытии, а следовательно, к ширине односкатного поперечного профиля проезжей части и размеру поперечного уклона.

Ровность покрытия — один из важнейших показателей, в зависимости от которого меняется и допустимая скорость автомобилей. Максимально допустимая скорость в диапазоне ровности 200—1200 см/км по ПКСР-2

$$v_{\max} = 7500 / (\sqrt{S_0} + 0,15S_0), \quad (2.12)$$

где S_0 — ровность покрытия, см/км.

Коэффициент обеспеченности расчетной скорости

$$K_{p,c} = (\sqrt{S_{0\text{э}}} + 0,15S_{0\text{э}}) / (\sqrt{S_{0\text{ф}}} + 0,15S_{0\text{ф}}), \quad (2.13)$$

где $S_{0\text{э}}$ — ровность покрытия по ПКСР-2 при эталонных условиях (принято 350 см/км); $S_{0\text{ф}}$ — фактическая ровность.

Геометрическая и метеорологическая видимость. На режим и безопасность движения автомобилей большое влияние оказывает видимость покрытия и встречного автомобиля, которая зависит от геометрических параметров плана и продольного профиля. К таким участкам могут относиться закругления малого

радиуса и вертикальные кривые с необеспеченной видимостью. Влияние ограниченной геометрической видимости на скорость остается почти постоянным в течение длительного времени, за исключением участков со снежными валами, и распространяется на сравнительно короткие отрезки дороги.

Метеорологическая дальность видимости (МДВ) бывает ограничена реже, но охватывает большие протяжения дорог одновременно и относится к факторам, воздействующим на режим движения. Механизм воздействия МДВ и ветра на условия и режим движения, результаты натурных наблюдений за режимами движения в этих условиях и предлагаемые мероприятия по снижению отрицательного воздействия указанных явлений рассмотрены в работах [9, 10]. Влияние геометрической и метеорологической видимости на скорость во многом зависит и от сцепных качеств покрытий.

Решая уравнение требуемой видимости относительно скорости движения, получим формулу для определения коэффициента обеспеченности расчетной скорости по схеме торможения перед препятствием

$$K_{p.c} = \frac{\frac{-\varphi t}{3,6} \pm \sqrt{\left(\frac{\varphi t}{3,6}\right)^2 + \frac{4K_0 \varphi}{254}(S - l_0)}}{\frac{K_0}{127}} \quad (2.14)$$

где t — время реакции водителя, с; K_0 — коэффициент эксплуатационного состояния тормозов; S — расстояние видимости, м; l_0 — запас пути (5–10 м).

В формулу входят два основных показателя, характеризующих условия движения: расстояние видимости и коэффициент сцепления, что позволяет определить их совместное воздействие при различных сочетаниях, а также степень опасности метеорологических факторов, ограничивающих только видимость, без влияния на коэффициент сцепления, и явлений, ограничивающих видимость и снижающих сцепные качества покрытий. К первым

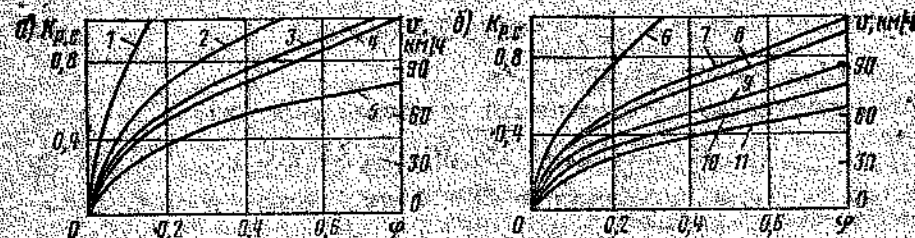


Рис. 2.10. Зависимость скорости от коэффициента сцепления:

а — по схеме торможения одиночного автомобиля; б — по схеме торможения встречных автомобилей. 1 — видимость поверхности дороги 750 м; 2 — то же, 300 м; 3 — то же, 200 м; 4 — то же, 175 м; 5 — то же, 100 м; 6 — видимость встречного автомобиля 750 м; 7 — то же, 350 м; 8 — то же, 300 м; 9 — то же, 200 м; 10 — то же, 150 м; 11 — то же, 100 м

относятся дымка, мглы, дымные гари, пыльные бури, ко вторым — туман, дождь, снег, метель.

Расчеты показывают, что при геометрической видимости в 250 м, принятой в нормах за максимальную, безопасные условия обеспечены, когда коэффициент сцепления выше 0,3 (рис. 2.10–2.11). Существенно изменяется обеспеченность расчетной скорости в зависимости от метеорологической видимости и состояния проезжей части (рис. 2.12).

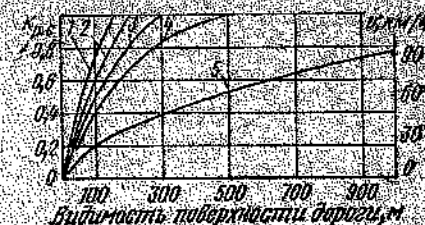


Рис. 2.11. Зависимость коэффициента обеспеченности расчетной скорости от видимости поверхности дороги:

1 — $\varphi=0,7$; 2 — $\varphi=0,5$; 3 — $\varphi=0,3$; 4 — $\varphi=0,2$; 5 — $\varphi=0,1$

Боковой ветер. Серьезную опасность может представлять ветер, дующий с большой скоростью. Воздействие ветра ощущается тем сильнее, чем выше скорость автомобиля и больше его боковая поверхность. Размер бокового отклонения автомобиля от заданной траектории в значительной степени зависит от реакции водителя, типа автомобиля, расположения центра его массы и центра давления на боковую поверхность [20, 25, 38].

Подробнее этот вопрос рассмотрен в монографии [9]. Установлено, что за критерий ограничения скорости можно принять минимально допустимый зазор безопасности между колесом автомобиля и кромкой проезжей части или границей встречной полосы движения при отклонении траектории автомобиля под действием ветра. Исходя из этого можно оценить обеспеченность расчетной скорости на ветроопасных участках дорог (рис. 2.13).

Предложенный метод позволяет количественно оценить воздействие любого элемента или фактора в отдельности и в сочетании с другими на функционирование комплекса ВАДС по скорости движения и привести все воздействия к единому показателю — коэффициенту обеспеченности расчетной скорости. Это позволяет сравнивать между собой указанные элементы и факторы

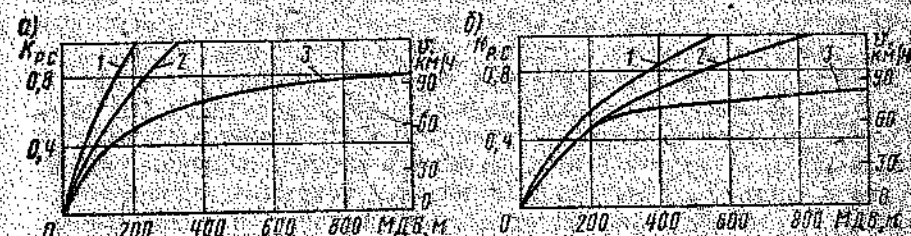


Рис. 2.12. Зависимость коэффициента обеспеченности расчетной скорости от метеорологической видимости:

а — по схеме торможения одиночного автомобиля; б — по схеме торможения встречных автомобилей.

1, 2 — коэффициент сцепления 0,5 и 0,3; 3 — по данным наблюдений при $\varphi=0,4-0,5$

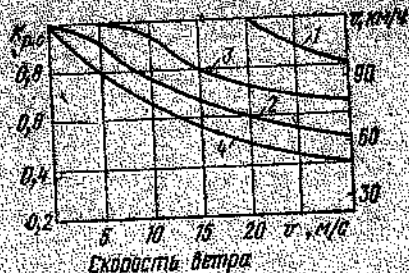


Рис. 2.13. Зависимость коэффициента обеспеченности расчетной скорости от скорости ветра.

1, 2 — для легковых автомобилей с передним расположением двигателя при времени реакции водителя 1—1,5 с; 3, 4 — то же, для автомобилей с задним расположением двигателя

метеорологического явления. Кроме эталонных метеорологических условий, при которых безопасно движение автомобиля на эталонном участке с расчетной скоростью, представляется целесообразным выделить три характерные интервала по влиянию интенсивности метеорологических явлений на скорость: малоопасный ($K_{p.c} = 1,0 \div 0,75$), опасный ($K_{p.c} = 0,75 \div 0,5$) и очень опасный ($K_{p.c} < 0,5$).

Чтобы определить граничные интенсивности каждого метеорологического фактора, соответствующие той или иной степени опасности, необходимо установить зависимость скорости движения на эталонном участке от интенсивности данного метеорологического явления [11]. Решение этой задачи еще нельзя считать полностью завершенным для всех случаев, однако исследования позволяют предложить шкалу для оценки опасности основных метеорологических факторов и отметить периоды, когда они наиболее часто наблюдаются (табл. 2.3).

Наибольшие трудности создают гололед, метель, дождь, снег, туман и ветер. В такой последовательности они могут быть расположены по степени воздействия на движение. Летом только четыре метеорологических элемента и их сочетания могут создать трудные и очень трудные условия движения (дождь, туман, ветер, высокая температура воздуха). Весной и осенью такие условия могут быть под влиянием шести элементов (гололед, дождь, туман, ветер, отрицательная температура воздуха и высокая влажность). В летний период проезжая часть и обочины обычно сухие и чистые, а в переходные периоды покрытие влажное или мокрое, а обочины во многих случаях грязные и разрушенные.

Отличительная особенность переходных периодов — возрастание длительности последствий осадков, что объясняется повышенной влажностью, пониженной температурой воздуха и испаряемостью в эти периоды. На длительность последствий влияют рельеф местности, тип грунтов, продуваемость участка дороги.

по размеру снижения скорости, а также оценивать значимость их влияния на режим движения.

Шкала оценки метеорологических элементов. Неблагоприятные воздействия погодноклиматических факторов приводят к снижению надежности функционирования систем комплекса ВАДС, увеличению нервно-психической напряженности водителя и повышению вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий. Влияние этих факторов тем ощутимее, чем с большей скоростью движется автомобиль и выше интенсивность самого метеорологического явления.

Таблица 2.3

Метеорологические факторы	$K_{p.c}$	Степень опасности	Интенсивность метеорологических факторов для скоростей, км/ч					Период наиболее вероятного появления			
			150	120	100	80	60	Зима	Весна	Лето	Осень
Метель, м/с	$1,0-0,75$ $0,75-0,5$ $< 0,5$	МО О ОО	$0-3$ $3-9$ Δ	$0-3$ $3-9$ Δ	$0-3$ $3-9$ Δ	$0-3$ $3-9$ Δ	$0-3$ $3-9$ Δ	+++			
Гололед (коэффициент сцепления)	$1,0-0,75$ $0,75-0,5$ $< 0,5$	МО О ОО	$1-1$ $1-1$ Δ	$0,2-0,4$ $0,2-0,2$ Δ	$0,2-0,35$ $0,2-0,15$ Δ	$0,2-0,20$ $0,2-0,15$ Δ	$0,2-0,15$ $0,2-0,15$ Δ	+	+		+
Осадки: дождь, мм/мин	$1,0-0,75$ $0,75-0,5$ $< 0,5$	МО О ОО	$1-1$ $1-1$ Δ	$0,2-0,4$ $0,2-0,2$ Δ	$0,2-0,35$ $0,2-0,15$ Δ	$0,2-0,20$ $0,2-0,15$ Δ	$0,2-0,15$ $0,2-0,15$ Δ	+	+		+
Снегопад, мм/ч	$1,0-0,75$ $0,75-0,5$ $< 0,5$	МО О ОО	$1-1$ $1-1$ Δ	$0,2-0,4$ $0,2-0,2$ Δ	$0,2-0,35$ $0,2-0,15$ Δ	$0,2-0,20$ $0,2-0,15$ Δ	$0,2-0,15$ $0,2-0,15$ Δ	+	+		+
Туман, видимость, м	$1,0-0,75$ $0,75-0,5$ $< 0,5$	МО О ОО	$1-1$ $1-1$ Δ	$0,2-0,4$ $0,2-0,2$ Δ	$0,2-0,35$ $0,2-0,15$ Δ	$0,2-0,20$ $0,2-0,15$ Δ	$0,2-0,15$ $0,2-0,15$ Δ	+	+		+

Метеорологические факторы	К _ф	Степень опасности	Интенсивность метеорологических факторов для скоростей, км/ч						Период наиболее вероятного появления			
			180	120	100	80	60		Зима	Весна	Лето	Осень
Ветер, м/с	1,0-0,75 0,75-0,5 <0,5	МО О ОО	<7 7-12 >12	<10 10-20 >20	<15 15-20 >20	<20 20-30 >30	<30 30-40 >40		+++	+++	+++	+++
Температура воздуха, °С: положительная	1,0-0,75 0,75-0,5 <0,5	МО О ОО	0-30 30-40 >40	0-30 30-40 >40	0-30 30-40 >40	0-30 30-40 >40	0-30 30-40 >40		+++	+++	+++	+++
отрицательная	1,0-0,75 0,75-0,5 <0,5	МО О ОО	10-30 0-10 30-40 <30	10-30 0-10 30-40 <40	10-30 0-10 30-40 <40	10-30 0-10 30-40 <40	10-30 0-10 30-40 <40		++++	+++	+++	+++
Относительная влажность воздуха, %	1,0-0,75 0,75-0,5	МО О	50-90 90-100	50-90 90-100	50-90 90-100	50-90 90-100	50-90 90-100		++	++	++	++

МО — замолосные, О — опасные, ОО — очень опасные.

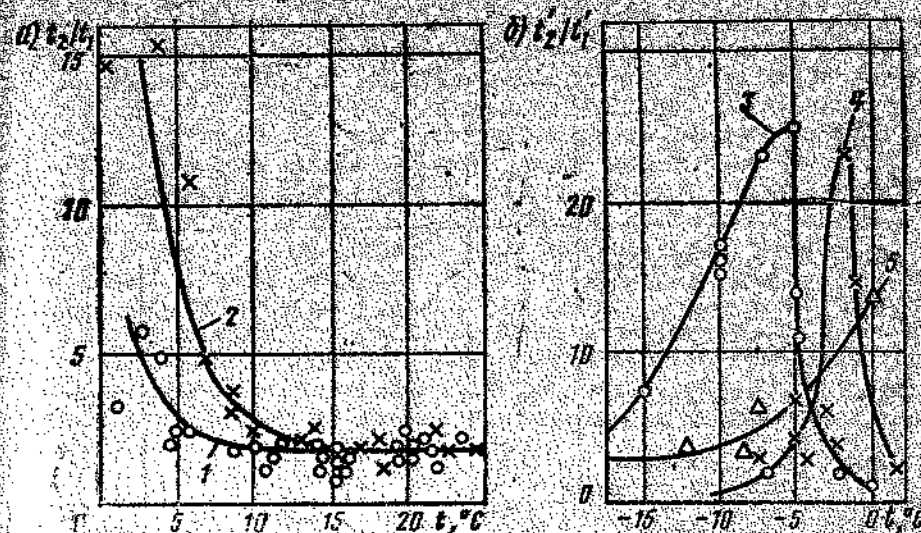


Рис. 2.14. Зависимость последствий осадков от температуры воздуха:

а — дождь летом и в переходные периоды; б — снегопад зимой;
 1 — мокрое покрытие летом; 2 — мокрое покрытие осенью и весной; 3 — снежный накат; 4 — гололед; 5 — мокрое покрытие зимой;
 4 и 4' — длительность дождя и снегопада; 6 и 6' — длительность характерного состояния покрытия

В осенне-весенний период просыхание покрытия и обочин во много раз дольше времени выпадения дождя или мокрого снега, особенно при температуре воздуха от 0 до +7°C. В этот период дожди даже небольшой интенсивности обладают последствием в 3—5 раз большим, чем ливневые дожди летом [9].

Наиболее неблагоприятен зимний период, когда трудные или очень трудные условия могут сложиться под влиянием семи метеорологических элементов (метель, гололед, снегопад, туман, ветер, низкая температура и высокая относительная влажность воздуха) или их сочетаний.

Существенно отличается от эталонного и состояние дорог в этот период. В зависимости от температуры воздуха, интенсивности снегопада, скорости ветра, конструкции земляного полотна и интенсивности движения выпадающий снег сдувается или остается на проезжей части, попадая под колеса автомобилей. Когда снег удаляют несвоевременно, на покрытии образуется слой рыхлого или накатанного снега, который под влиянием колес переходит в лед.

При температуре воздуха, близкой к 0°C, снег ложится на покрытие и тает под колесами автомобилей. Мокрая проезжая часть может быть при температуре воздуха до -7°C, а в случаях применения противогололедных солей или растворов и при более низкой температуре.

Таблица 2.4

Период года	Показатели	Состояние покрытия				В среднем за период года
		Сухое чистое	Мокрое, грязное	Снег, снежный накат	Искусственный лед, гололед, ледяная корка	
Зима	Продолжительность, % от года	14,6	3,1	5,0	16,7	39,4
	Ф	0,40	0,32	0,20	0,13	0,25
Весна	Продолжительность, % от года	9,9	3,3	—	—	13,2
	Ф	0,46	0,37	—	—	0,42
Лето	Продолжительность, % от года	24,7	6,0	—	—	30,7
	Ф	0,51	0,38	—	—	0,48
Осень	Продолжительность, % от года	11,7	4,3	0,6	0,1	16,7
	Ф	0,45	0,37	0,20	0,12	0,42
В среднем за год	Продолжительность, % от года	60,9	16,7	5,6	16,8	100
	Ф	0,46	0,36	0,20	0,13	0,37

Большую опасность создает снежный накат в виде отдельных пятен на покрытии. Неравномерность распределения таких пятен приводит к неравномерному распределению сцепных качеств покрытия как вдоль, так и по ширине дороги.

Особенно долго сохраняются на дороге накат и лед, образовавшиеся от уплотнения снега при температуре воздуха от -4 до -14°C (рис. 2.14). По приведенным в табл. 2.4 данным, сухое чистое покрытие на дорогах центральной зоны и Поволжья наблюдается около 60% от длительности года. В остальное время года оно мокрое, грязное, покрыто снегом или льдом, коэффициент сцепления снижается до 0,1—0,2.

Аналогичные результаты получены и при наблюдениях на дорогах других районов, которые показывают, что неблагоприятное состояние поверхности дорог продолжительнее, чем действие неблагоприятных метеорологических элементов. Разница объясняется продолжительностью последствия указанных элементов. В табл. 2.5 приведены пределы изменения продолжительности действия и последствия метеорологических факторов.

Во многих случаях последствие зависит не только от климатических условий, но также от категории и уровня содержания дороги. Так, при отсутствии патрульной снегоочистки, частой повторяемости снегопадов и метелей последствия накладываются и дорога находится в заснеженном состоянии длительное время.

Требования к параметрам и состоянию дорог. Высокая скорость и безопасность движения в реальных погодноклиматических условиях будут обеспечены, если проект дороги разработан

с учетом изменения ее параметров и характеристик в различные периоды года, а служба эксплуатации выполняет установленные требования по содержанию. Поэтому должны быть установлены требования к допустимым пределам колебаний переменных параметров и факторов, для чего необходим анализ этих изменений по периодам года и их влияния на скорость движения.

Обследования показали, что используемая ширина проезжей части и ширина обочин в различные периоды года на одном и том же участке дороги зависит от погодноклиматических условий, конструкции земляного полотна, проезжей части, краевых полос, обочин, наличия бордюров, от качества содержания дороги.

Летом в сухую погоду во всех климатических зонах в основном сохраняются проектные параметры поперечного профиля. Изменения фактически используемой ширины проезжей части начинаются с выпадением дождей, понижением и увеличением отно-

Таблица 2.5

Метеорологический фактор	Продолжительность действия	Продолжительность последствия*, ч. на дорогах					
		I и II категории			III и IV категории		
		на покрытии	на укрепленных обочинах	на неукрепленных обочинах	на покрытии**	на укрепленных обочинах	на неукрепленных обочинах
Снегопад (рыхлый снег, снежный накат)	4—12	6—10	6—10	Всю зиму	10—100 16—200	10—200	Всю зиму
Метель (рыхлый снег, снежный накат)	6—9	6—24	6—24	То же	10—100 16—250	40—250	То же
Гололед, искусственный лед	3—6	1—4	2—24	Не удаляется	2—12 4—24	≥ 24	Не удаляется
Дождь, мокрый снег	2—6	2—12	2—12	3—10	3—12	4—15	6—30
Температура воздуха:							
положительная	4—6	—	—	—	—	—	—
отрицательная	10—12	—	—	—	—	—	—
Относительная влажность воздуха	8—10	—	—	—	—	—	—
Ветер	8—12	—	—	—	—	—	—
Туман	4—8	—	—	—	—	—	—

* Продолжительность последствия снегопада, метели, гололеда и мокрого снега принимается с учетом уровня оснащенности дорожной службы машинами и оборудованием в процентах от нормативной. Минимальные значения принимаются при 100% оснащенности, средние при 60—80%, максимальные при 50% и ниже.

** В числителе — для дорог III категории, а знаменателе — IV категории.

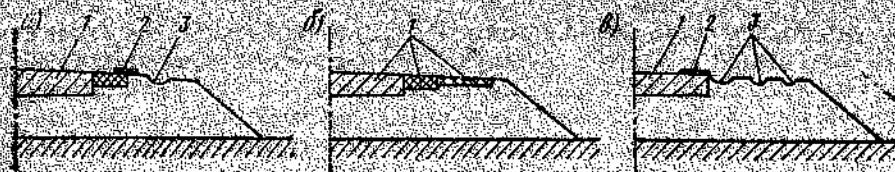


Рис. 2.15. Характерное состояние обочин в переходные периоды года:

а — при наличии краевых укрепленных полос; б — укрепление на всю ширину обочины; в — без укрепления обочины;
1 — чистая поверхность; 2 — слой пыли или грязи; 3 — колеи и неровности на обочине

сительной влажности воздуха, характерными для переходных периодов. Весной и осенью значительно изменяется состояние обочин, но ширина их остается почти постоянной на любых дорогах. Во II и III дорожно-климатических зонах в осенне-весенний период, а в IV и V и зимой особое значение имеет состояние обочин, оказывающее влияние на сцепные качества покрытия, прочность и долговечность. Если неукрепленная обочина переувлажнена и разрушена, выезд на нее невозможен при любой ширине. В этих условиях особенно заметна роль краевых переходных полос и укрепленных обочин.

В зависимости от грунтов обочин, ширины и типа их укрепления, ширины проезжей части, близости необорудованных выездов формируется характерное состояние проезжей части и обочин (рис. 2.15). При отсутствии укрепленных обочин сокращение проезжей части из-за загрязнения составляет 0,6—1,2 м. При наличии краевых укрепленных полос шириной не менее 0,3—0,75 м из цементобетона, асфальтобетона или из обработанных каменных материалов используемая ширина проезжей части в целом сокращается только на 0,2—0,5 м (если остальная часть обочин не укреплена щебнем или гравием). На участках с обочинами, укрепленными на всю ширину, сокращения используемой ширины проезжей части почти не наблюдается. Наибольшие изменения ширины проезжей части происходят зимой, когда исчезают четкие очертания границ земляного полотна и сглаживаются его формы.

На дорогах, очищаемых на полную ширину, геометрические параметры поперечного профиля чаще всего изменяются из-за возникновения полос наката или ледяных наростов на прикромочных полосах проезжей части и обочин, а также за счет использования обочин для езды. При регулярной снегоочистке на обочинах создается ровный, плотный слой снега толщиной 2—10 см. Ширина, используемая для движения на дорогах с хорошим зимним содержанием, увеличивается (рис. 2.16). Ширина полосы ледяного и снежного наката на прикромочных полосах и обочинах колеблется от 0,5 до 1,0 м с каждой стороны.

Как правило, зимой четко выделяется полностью очищенная полоса покрытия и фактически используемая ширина поверхности дороги, включающая полосы снежного наката, в том числе и на прикромочных полосах обочин, по которым происходит движение

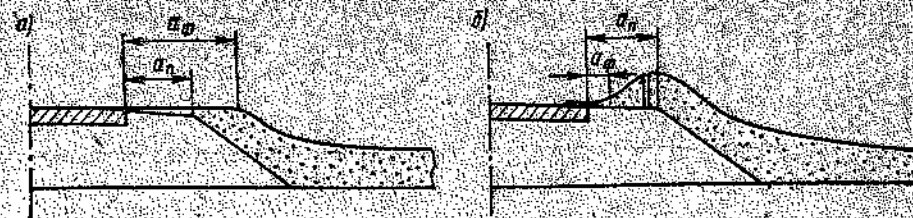


Рис. 2.16. Характерные параметры и состояние обочин зимой:

а — при тщательной очистке снега; б — при образовании бала снега на участках ограждений, сигнальных столбиков;

a_n — проектная ширина обочины; $a_ф$ — фактическая ширина

автомобилей периодическое при малой интенсивности или постоянное при высокой интенсивности. Ширина полностью очищенной полосы дороги колеблется от 4 до 7 м и меньше проектной ширины проезжей части на 1,1—3 м. Средняя фактически используемая для движения ширина поверхности дороги составляет 8—8,5 м, т. е. больше, чем ширина проезжей части. Важно отметить, что эту ширину водители выбирают в течение всей зимы и, по-видимому, она является наиболее предпочтительной для двустороннего движения.

Существенны изменения ширины обочин зимой на дорогах в I—III дорожно-климатических зонах, где выпадает много снега. Когда очистка проводится на всю ширину земляного полотна, перемещаемый снег откладывается за бровкой земляного полотна и разравнивается вровень с поверхностью обочины. Поэтому трудно отличить, где кончается обочина и начинается разровненный снег. Таким образом, на участках, где нет помех для снегоочистки и она проводится регулярно, фактическая ширина обочин становится больше, чем летом.

Наиболее часто это уширение не превышает 0,5 м, но может достигать 1 м.

Наоборот, на стесненных участках зимой более заметно сокращение ширины обочин. В зависимости от объема выпадающего снега, применяемых машин для снегоочистки, ширина обочин колеблется от 0,5 до 3 м. Таким образом, на стесненных участках вместе с сокращением ширины проезжей части происходит общее сужение земляного полотна на 0,5—1,5 м. Стесненные участки становятся опасными для движения.

Большое сужение проезжей части наблюдается в местах установки железобетонных брусьев, ограждений, надолб и столбиков в зоне расположения водопропускных труб и на высоких насыпях. Стесненные условия создаются также на участках, проходящих в нулевых отметках и мелких выемках глубиной до 1,5 м. Здесь часто сужается проезжая часть из-за затруднений с уборкой снега, пыли и грязи.

Как показывают обследования, количество стесненных мест составляет в среднем 3—5 на 1 км, а протяжение таких участков от

Основные технические требования для дорог категорий

Параметры и транспортно-эксплуатационные характеристики дорог	II и III				IV и V			
	90—120	60—90	30—60	60—80	40—60	20—40		
Максимальная скорость при неблагоприятных метеословиях, км/ч	7,8—8,5	6,5—7,8	5,5—6,5	6,5(4,5)*	5,9(4,5)— 6,5	5,5(4,5)— 5,9		
Ширина укрепленной поверхности дороги В _н (без отстояющих полос). Минимальная ширина оштотенной полосы, м	7,0—7,5	6,5—7,0	5,5—6,5	6,5(4,5)— 7,0	5,9(4,5)— 6,5	5,9(4,5)— 6,5		
Ширина проезжей части, м	0,5—0,75	0,3—0,5	0,3	0,3	0,3	0,3		
Ширина укрепленной краевой полосы, м	600—1200	150—500	50—150	150—400	80—150	30—60		
Радиус кривой в плане, м:	Снег не допущается	150—700	60—160	160—500	60—160	30—60		
при мокром покрытии	То же	250—700	80—250	250—500	100—250	50—100		
при наличии снежного покрова ($t_{\text{сн}} = -20^{\circ}\text{C}$)	То же	300	200	300	200	200		
то же, при $t_{\text{сн}} = +20^{\circ}\text{C}$	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
Минимальный радиус кривых в плане по условиям снегоочистки, м	20—50	50—70	70—100	60—70	70—90	90—100		
Максимальный продольный уклон, %:	Снег не допущается	0—10	10—70	0—10	10—60	50—100		
при мокром покрытии	0,4—0,7	0,35—0,4	0,30—0,35	0,35—0,45	0,2—0,35	0,2—0,3		
* наличие плотного снежного покрова	200—490	490—750	750—1000	350—750	750—1000	1000—1200		
Минимальный коэффициент сцепления	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
Ровность (сумма неровностей по ГИРС-2), см/км	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
Максимальная толщина слоя рыхлого снега на покрытии, мм:	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
на горизонтальных участках	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
на подъемах 10—40%	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
* 40—60%	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
> 60%	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
Максимальная толщина уплотненного снега на покрытии, мм	То же	То же	То же	То же	То же	То же		
Максимальная толщина слоя воды на покрытии, мм	То же	То же	То же	То же	То же	То же		

* В свободных пространствах требуется ширина при одностороннем движении

общего составляет 30—40% на дорогах I и II категорий, 40—50% на дорогах III и IV категорий.

В периоды сильных снегопадов и метелей ширина чистой проезжей части на дорогах значительно уменьшается, а на отдельных участках наблюдаются случаи образования сплошного снежного наката. Еще большие изменения транспортно-эксплуатационных качеств дорог происходят зимой при недостаточно высоком уровне содержания.

Анализ результатов обследований подтверждает возможность ограничения колебаний параметров и характеристик состояния дороги, если на стадии проектирования предусмотреть меры, учитывающие эти колебания. Оценка влияния метеорологических условий на состояние дорог по разработанной методике позволяет наметить технические требования к геометрическим параметрам и характеристикам поверхности дорог и в неблагоприятные периоды года (табл. 2.6).

Таким образом, введенные понятия эталонных условий движения и эталонного состояния дорог позволяют оценивать и сравнивать фактическое положение на дороге при любых условиях погоды с помощью системы коэффициентов $K_{\text{р.с.}}$.

2.3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСЧЕТНОЙ СКОРОСТИ

Учет совместного действия метеорологических факторов. В природе все взаимосвязано, и действие одних метеорологических факторов может усиливаться или уменьшаться в сочетании с другими.

Для учета совместного влияния метеорологических факторов на условия и режим движения предложен обобщенный показатель — среднегодовой коэффициент обеспеченности расчетной скорости $K_{\text{р.с.}}$. Он позволяет учитывать снижение скоростей в периоды действия каждого в отдельности или совместного действия двух и более факторов, а также их последствие. На основе такого показателя можно оценить условия движения в течение всего года, прогнотозировать на стадии проектирования их вероятный уровень с учетом климата данного района, параметров дороги, принятых в проекте, и уровня ее содержания.

На основании обработки данных климатических справочников можно получить вероятности метеорологических факторов $P(X_i)$ различной интенсивности для каждого пункта наблюдения.

Данные выписывают по следующим факторам: X_1 — температура воздуха; X_2 — его относительная влажность; X_3 — дождь; X_4 — ветер; X_5 — туман; X_6 — снег; X_7 — гололед; X_8 — метель.

Совокупность возможных температур воздуха, кроме того, разбивается на множество значений положительных и отрицательных температур $X_1^{(+)}$ и $X_1^{(-)}$.

Для определения коэффициента $K_{\text{р.с.}}$ предварительно вычисляют вероятности сочетаний двух и более метеорологических факторов при

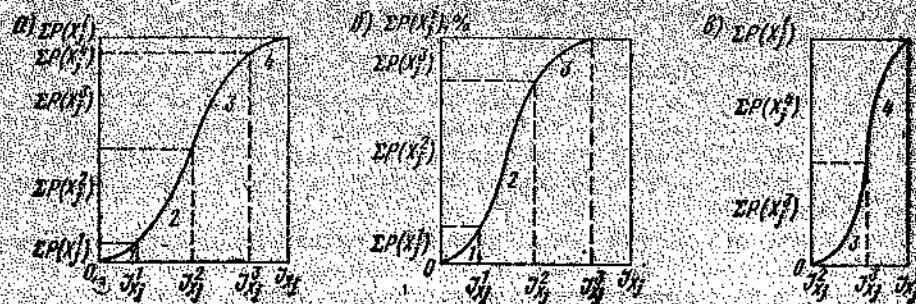


Рис. 2.17. Влияние интенсивности метеорологических факторов на условия движения:

а — факторы, действующие во всем диапазоне опасности (метеорологическая видимость, ветер и отрицательная температура воздуха); б — неопасные и опасные факторы (относительная влажность и положительная температура воздуха); в — опасные и очень опасные факторы (метель, гололед, дождь и снегопад);

1 — множество значений интенсивности фактора, не оказывающих неблагоприятного влияния на режимы движения; 2 — то же, оказывающих неопасное влияние; 3 — то же, оказывающих опасное влияние; 4 — то же, оказывающих очень опасное влияние.

условии, что их интенсивности разделены на интервалы по степени воздействия на движение.

Множества значений каждого метеорологического фактора $x_i^{(0)}$ разбивают на четыре интервала по степени влияния их интенсивности на режим движения (рис. 2.17):

$x_i^{(1)}$ — подмножество значений фактора $x_i^{(0)}$, не оказывающих неблагоприятного воздействия на движение, $K_{p.c} \geq 1,0$;

$x_i^{(2)}$ — подмножество значений факторов $x_i^{(0)}$, вызывающих снижение расчетных скоростей в диапазоне $K_{p.c} = 0,75 \div 1,0$;

$x_i^{(3)}$ — то же, в диапазоне $K_{p.c} = 0,5 \div 0,75$;

$x_i^{(4)}$ — то же, в диапазоне $K_{p.c} < 0,5$.

Граничные значения интенсивностей каждого метеорологического фактора $I x_i^{(0)}$ определяют по табл. 2.3.

Например, для скорости ветра $I x_1^{(1)} = 0$; $I x_1^{(2)} = 10$ м/с; $I x_1^{(3)} = 20$ м/с; $I x_1^{(4)} = 20$ м/с; для дождя $I x_2^{(1)} = I x_2^{(2)} = 0$; $I x_2^{(3)} = 0,2$ мм/мин; $I x_2^{(4)} > 0,2$ мм/мин и т. д.

Вероятность совместного действия двух и трех факторов определяют с учетом того, что между подмножествами $x_i^{(0)}$ множества факторов x имеются три типа соотношений: несовместимость двух факторов при данной интенсивности, независимость появления и влияния факторов, зависимость появления одного фактора от другого.

Вероятность совместного действия более чем трех отрицательных факторов ничтожно мала и поэтому не определяется. Математическая модель определения совместного влияния различных метеорологических факторов на обеспеченность расчетной скорости получена путем разложения функции F в ряд Тейлора, ограничиваясь при этом членами не выше третьего порядка,

$$K_{p.c}^{\text{итог}} = f(K_{p.c.1}, \dots, K_{p.c.n}) = \prod_{i=1}^n K_{p.c.i} + \sum_{i,j} \beta_{ij} (1 - K_{p.c.i}) (1 - K_{p.c.j}) + \sum_{i,j,k} \gamma_{ijk} (1 - K_{p.c.i}) (1 - K_{p.c.j}) (1 - K_{p.c.k}), \quad (2.15)$$

где $\prod_{i=1}^n K_{p.c.i}$ — произведение частных коэффициентов обеспеченности расчетной скорости.

Коэффициенты β_{ij} и γ_{ijk} являются параметрами парного и тройного взаимодействия. Если взаимодействие между факторами отсутствует и каждый из них действует независимо, то $\beta = \gamma = 0$ и для определения $K_{p.c}$ применима мультипликативная модель. Коэффициенты β_{ij} и γ_{ijk} могут быть определены только на основе экспериментальных наблюдений, при которых одновременно фиксируются интенсивность метеорологических факторов, их сочетание, состояние дороги и скорость автомобилей.

Так как положительные и отрицательные температуры представляют, по существу, два различных невзаимодействующих фактора, уравнение (2.15) распадается на взаимодействия при положительных и отрицательных температурах воздуха.

Факторы при положительных температурах воздуха:

$X_1^{(+)}$ — положительная температура воздуха; X_2 — влажность воздуха; X_3 — дождь; X_4 — ветер; X_5 — туман (метеорологическая видимость).

Формула (2.15) в данном случае имеет вид

$$K_{p.c}^{\text{итог}} = \prod_{i=1}^5 K_{p.c.i} + \sum_{i,j} \beta_{ij} (1 - K_{p.c.i}) (1 - K_{p.c.j}) + \sum_{i,j,k} \gamma_{ijk} (1 - K_{p.c.i}) (1 - K_{p.c.j}) (1 - K_{p.c.k}). \quad (2.16)$$

Согласно определению, в формуле $\beta_{ij} = 0$; $\beta_{ij} = \beta_{ji}$; $\gamma_{ijk} = 0$, если хотя бы два индекса совпадают. Таким образом, требуется определить 10 параметров β и 10 параметров γ . Для этого использованы данные 1410 измерений скоростей при различных метеорологических факторах и их сочетаниях в летний и осенне-весенние периоды и применен один из методов нелинейного программирования — метод локальных вариаций¹. В результате получено:

$$\beta = \begin{pmatrix} X_1 & X_2 & X_3 & X_4 & X_5 \\ X_1 & 0 & 2,15 & 0,8 & 1,0 & 0 \\ X_2 & 4,16 & 0 & -0,91 & 0 & 0 \\ X_3 & 1,1 & -0,91 & 0 & 0,28 & 0,36 \\ X_4 & 1,36 & 0 & 0,28 & 0 & 0 \\ X_5 & 0 & 0 & 0,36 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

¹ Программа, реализующая на ЭВМ предлагаемый метод расчета коэффициентов взаимодействия различных метеорологических факторов β и γ , написана канд. техн. наук М. Я. Ближним.

Параметры $\gamma_{123} = -4,56$; $\gamma_{134} = -4,09$. Остальные параметры тройного сочетания по t -критерию несущественно отличаются от нуля.

Анализ полученных данных подтвердил гипотезу о несимметричном влиянии метеорологических факторов и их сочетаний на режим движения, вследствие чего коэффициенты обеспеченности расчетной скорости при одновременном действии нескольких метеорологических факторов, вычисленные по мультипликативной модели, существенно отличаются от коэффициентов, полученных экспериментально.

Предложенная модель позволяет учесть несимметричность действия метеорологических факторов и дает результаты, близкие к экспериментальным. Коэффициент детерминации формулы (2.16) равен 0,91. При этом доля рассеяния, приходящаяся на слагаемое

$\prod_{i=1}^6 K_{p.c.}$ равна 0,52, на поправку второго порядка 0,31, на поправку третьего порядка 0,08, остаточное рассеяние 0,09.

Факторы при отрицательных температурах:

$X_1^{(-)}$ — отрицательная температура воздуха; X_4 — ветер; X_5 — туман (метеорологическая видимость); X_6 — снегопад; X_7 — гололед; X_8 — метель.

Относительная влажность воздуха при отрицательных температурах отдельно не учитывается, поскольку она влияет на образование гололеда и снегопада. Сочетание ветра и снегопада создает метель, поэтому не должно учитываться дважды.

Для определения параметров парного и тройного взаимодействия β_{ij} и γ_{ijk} были выполнены расчеты с использованием данных наблюдений за скоростями зимой. В расчете использовано 2550 измерений и получены следующие результаты:

$$P = \begin{pmatrix} X_1 & X_4 & X_5 & X_6 & X_7 & X_8 \\ X_1 & 0 & 0,19 & 0 & 0,27 & 0 & 0 \\ X_4 & 0,19 & 0 & 0 & -0,62 & 0,15 & - \\ X_5 & 0 & 0 & 0 & -0,17 & -0,32 & 0 \\ X_6 & 0,27 & 0,62 & -0,17 & 0 & 0 & -1,62 \\ X_7 & 0 & 0,15 & -0,32 & 0 & 0 & -0,30 \\ X_8 & 0 & - & 0 & -1,62 & -0,30 & 0 \end{pmatrix}$$

Параметры тройного сочетания $\gamma_{125} = 3,04$; $\gamma_{127} = -0,81$; $\gamma_{157} = -0,46$; $\gamma_{567} = 4,20$; $\gamma_{578} = -0,75$. Остальные по t -критерию несущественно отличаются от нуля. Коэффициент детерминации равен 0,94. При этом доля рассеяния на слагаемое $\prod_{i=1}^6 K_{p.c.}$ составила 0,54, на поправку второго порядка 0,31, на поправку третьего порядка 0,09, остаточное рассеяние 0,06.

Расчеты показывают, что точность оценки взаимного влияния метеорологических факторов по мультипликативной модели состав-

ляет в целом 52—54%, а по предлагаемой модели 91—94%. На основании модели (2.15) и полученных параметров парного и тройного взаимодействия предложены расчетные формулы для определения коэффициента обеспеченности расчетной скорости при одновременном воздействии двух и трех метеорологических факторов в различных сочетаниях (см. прил.). Таким образом, модель позволяет вычислять коэффициенты обеспеченности расчетной скорости для всех сочетаний метеорологических факторов и прогнозировать условия движения по данным метеорологических станций.

Среднегодовой и среднесезонный коэффициент обеспеченности расчетной скорости. Указанная модель дает возможность перейти к определению обобщенного показателя влияния климата на условия движения — вычислению среднегодового, а также среднесезонного значений коэффициента обеспеченности расчетной скорости $K_{ср}$ для каждого региона. Необходимое для получения $K_{ср}$ распределение вероятностей метеорологических факторов и их сочетаний $P(x) = P(x_1 \dots x_8)$ вычисляют на основе фактических значений $P(x_i^{(i)})$ для данного региона с учетом возможных соотношений метеорологических факторов и гипотезы о равномерном распределении x_i внутри каждого x_i' . Чтобы вычислить значение $K_{ср}$, необходимо, кроме длительности действия и последствия каждого метеорологического фактора, определить также длительность совместного действия двух и более метеорологических факторов, которая может быть принята по наименьшей длительности одного из них.

Следовательно, если наименьшим по времени действием обладает $x \in x_i'$, то вероятности P , учитывающие это, пересчитываются:

$$\bar{P}(x_1 \dots x_i' \dots x_8) = P(x_1 \dots x_i' \dots x_8) T_i$$

$$\bar{P}(x_1 \dots x_i' \dots x_8) = P(x_1 \dots x_i' \dots x_8) + P(x_1 \dots x_i' \dots x_8)(1 - T_i) \quad (2.17)$$

где T_i — продолжительность действия и последствия фактора x_i' при $t > 1$, выраженная в долях суток.

Окончательно формула определения среднегодового коэффициента обеспеченности расчетных скоростей имеет вид

$$K_{ср} = \int K_{p.c.}(x) A_T P(x) dx \quad (2.18)$$

где $K_{p.c.}(x)$ — коэффициент обеспеченности расчетной скорости по фактору x , определят по модифицированной модели оценки действия метеорологических факторов (2.15); A_T — линейный оператор времени действия и последствия метеорологических факторов.

Длительность действия каждого фактора можно определить по климатическим справочникам, а длительность последствия — на основании наблюдений за состоянием дорог. Весьма важным обстоятельством при определении $K_{ср}$ является то, что оператор A_T учитывает не только климатические характеристики, но и технический уровень дороги, качество ее содержания, которые собственно

и определяют длительность последствия. Для выполнения вычислений разработана программа для ЭВМ. Вычисления могут производиться и вручную, но требуют больших затрат времени и дают менее точные результаты.

В приближенных расчетах можно пользоваться упрощенной формулой

$$\begin{aligned} K_{с.г} = 1 - K_{р.с.х_1} p'(x_1^i) T(x_1^i) - K_{р.с.х_2} p'(x_2^i) T(x_2^i) - \\ - K_{р.с.х_{12}}^{итог} p''(x_1^i, x_2^i) T(x_{12}^i) - K_{р.с.х_{12}}^{итог} p''(x_1^i, x_2^i, x_3^i) T(x_{123}^i), \end{aligned} \quad (2.19)$$

где $p'(x_i^i)$; $p''(x_1^i, x_2^i)$; $p''(x_1^i, x_2^i, x_3^i)$ — вероятность совместного действия одного, двух и трех факторов

$$p'(x_1^i) = p(x_1^i) - p''(x_1^i, x_2^i) - p''(x_1^i, x_3^i) - p''(x_1^i, x_2^i, x_3^i) \quad (2.20)$$

$$p''(x_1^i, x_2^i) = p(x_1^i, x_2^i) - p(x_1^i, x_2^i, x_3^i). \quad (2.21)$$

По данным метеорологических наблюдений, техническим характеристикам и параметрам дорог, а также по принятому уровню содержания метод позволяет:

определить математическое ожидание числа случаев и дней с неблагоприятными метеорологическими факторами в каждом районе;

прогнозировать вероятность и длительность действия неблагоприятных метеорологических факторов для каждого района;

определять условия движения по коэффициенту обеспеченности расчетной скорости в периоды действия одного или нескольких метеорологических факторов;

определять среднегодовое и сезонное обеспечения расчетной скорости под влиянием климата на каждом участке и по всему протяжению дороги.

Практическая проверка методики расчета. Для проверки полученных результатов проведены четырехлетние наблюдения на постоянно действующем посту, расположенном в с. Песчаный Умет Саратовской обл. на дороге II категории. Особенность наблюдений состояла в том, что они проводились одновременно: за метеорологическими явлениями, состоянием проезжей части и обочины, характеристиками и режимом движения транспортного потока. При этом регистрировались число случаев отдельно каждого метеорологического явления и совместное действие двух и трех факторов. Затем по изложенной методике был выполнен расчет числа указанных случаев, результаты которого сопоставлены с фактическими данными.

Достоверность принципиальных положений методики видна из обработки результатов наблюдений за 2 года в диапазоне опасных и очень опасных метеорологических факторов, которых за это время отмечено 639. Из общего числа отмечено 212 случаев (33,3%) действия одного неблагоприятного фактора, в остальных случаях одновременно действовали два и три метеорологических фак-

тора. Определены сочетания этих факторов, вероятность появления каждого из них в отдельности и выполнены расчеты математического ожидания каждого метеорологического фактора в отдельности и в сочетании.

Для этого вначале определено математическое ожидание вероятности появления двух и более неблагоприятных метеорологических факторов, действующих одновременно,

$$\begin{aligned} \Sigma P_i(x_i) = (P_1 P_2 + \dots + P_1 P_n) + (P_1 P_2 P_3 + \dots + P_1 P_2 P_n) + \\ + (P_1 P_2 P_3 P_4 + \dots + P_1 P_2 P_3 P_n), \end{aligned} \quad (2.22)$$

где $\Sigma P_i(x_i)$ — общая вероятность появления каждого метеорологического фактора в сочетании с другими факторами; $P_1, \dots, P_n$ — вероятность появления каждого фактора.

Исключены явно невозможные сочетания, такие, как туман и сильный ветер, снег и высокая температура воздуха. Вычислена сумма произведений парных и тройных сочетаний, а также сочетаний четырех метеорологических факторов. Вероятность сочетания большего числа неблагоприятных факторов очень мала и ею можно пренебречь. Затем определена вероятность появления каждого неблагоприятного фактора, действующего отдельно,

$$P'_i(x_i) = P_i(x_i) - \sum_{j=1}^n P_i(x_i), \quad (2.23)$$

где $P_i(x_i)$ — произведение вероятностей двух и более факторов.

Математическое ожидание числа случаев появления каждого неблагоприятного метеорологического фактора за 2 года наблюдений для одиночных факторов

$$n_1 = 730 P'_1(x_1); \quad (2.24)$$

для сочетания двух, трех и четырех факторов соответственно

$$n_2 = 730 \sum_{i=1}^2 P_2 P_i(x_i); \quad (2.25)$$

$$n_3 = 730 \sum_{i=1}^3 P_3 P_i(x_i); \quad (2.26)$$

$$n_4 = 730 \sum_{i=1}^4 P_4 P_i(x_i). \quad (2.27)$$

Математическое ожидание общего числа неблагоприятных факторов

$$\begin{aligned} N_p = 730 \left[\sum P'_i(x_i) + 2 \sum_{i=1}^2 P_2 P_i(x_i) + \right. \\ \left. + 3 \sum_{i=1}^3 P_3 P_i(x_i) + 4 \sum_{i=1}^4 P_4 P_i(x_i) \right]. \end{aligned} \quad (2.28)$$

Таблица 2.7

Метеорологические факторы и их сочетания	Расчетные показатели		Фактически наблюдалось число случаев
	Вероятность появления неблагоприятных факторов	Ожидаемое число случаев	
Туман P_1	0,0380	28	32
Дождь P_2	0,0468	34	34
Снегопад P_3	0,0396	29	30
Ветер P_4	0,0298	22	23
Метель P_5	0,0490	35	38
Гололед P_6	0,0183	14	16
Температура воздуха P_7	0,0246	18	23
Относительная влажность воздуха P_8	0,0262	19	16
Итого	0,2723	199	212
Сочетание двух элементов	0,2523	184	194
» трех »	0,0212	15	13
» четырех »	0,0002	1	—

Результаты расчетов и их сравнение с данными наблюдений приведены в табл. 2.7.

Расчетное ожидаемое число наблюдений метеорологических факторов в диапазоне опасных и очень опасных по влиянию на скорость за 2 года

$$N = n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 = 199 + 2 \cdot 184 + 3 \cdot 15 + 4 \cdot 1 = 616.$$

Фактически за тот же период наблюдалось

$$N_{\phi} = 212 + 2 \cdot 194 + 3 \cdot 13 + 4 \cdot 0 = 639.$$

Таким образом, результаты проверки подтверждают достаточную надежность разработанной методики.

Показатель влияния климата на условия движения. Для комплексной количественной оценки предложен показатель влияния климата на условия движения автомобилей, основанный на методе определения коэффициента обеспеченности расчетной скорости:

$$P_k = K_{p.c.} - K_{ср} \quad (2.29)$$

$$P_k < 1,0.$$

где $K_{p.c.}$ — коэффициент обеспеченности расчетной скорости на эталонном участке в эталонных метеорологических условиях; $K_{ср}$ — среднегодовой коэффициент обеспеченности расчетной скорости на эталонном участке с учетом влияния всего комплекса погодных-климатических факторов, характеризующих климат данного района на водителя, автомобиль и дорогу, на их взаимодействие и режим движения.

Этот среднегодовой коэффициент показывает долю среднегодового снижения максимальной скорости на эталонном участке под воздействием комплекса погодных-климатических факторов.

Чем больше показатель влияния климата на условия движения P_k , тем значительнее отрицательное воздействие его элементов на режим движения транспортных потоков. Таким образом, этот показатель позволяет количественно сравнивать климат различных регионов страны по степени влияния на условия движения.

Аналогично можно оценить изменение условий движения автомобилей в одном и том же регионе, но в различные периоды года. В этом случае показатель влияния климата

$$P_{сез} = [(K_{p.c.} - K_{p.c.}^{сез}) D_{сез}] / 365, \quad (2.30)$$

где $K_{p.c.}^{сез}$ — среднесезонный коэффициент обеспеченности расчетной скорости на эталонном участке; $D_{сез}$ — длительность сезона, сут.

Очевидно, чем больше показатель влияния сезонных погодных-климатических факторов на условия движения, тем более трудным для движения является этот период, а сумма сезонных показателей дает значение показателя влияния климата данного региона, т. е.

$$P_k = P_{л} + P_{з} + P_{п}, \quad (2.31)$$

где $P_{л}$, $P_{з}$, $P_{п}$ — соответственно показатели влияния сезонных погодных-климатических факторов для летнего, зимнего и переходных периодов.

С использованием предложенных показателей могут быть разработаны шкалы количественной оценки климата различных регионов и погодных-климатических условий по степени их влияния на режим движения автомобилей.

Глава 3

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОГ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ

3.1. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ДОРОГ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТА И ПОРЯДОК ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Основные положения и требования. На нейтрализацию или снижение воздействия метеорологических факторов должны быть направлены все решения, инженерно-технические и организационные мероприятия, которые необходимо предусмотреть еще на стадии проектирования новой дороги, в проекте реконструкции или капитального ремонта существующей дороги. Указанные решения и мероприятия можно разделить на постоянно действующие, временного (сезонного) и кратковременного действия (табл. 3.1).

Анализ практики проектирования дает основание сделать вывод, что более всего недооценивается роль мер, направленных на предупреждение или нейтрализацию отрицательного воздействия временных и кратковременных факторов, к которым прежде всего относятся погодные-климатические. Это служит одной из главных

Таблица 3.1

Основные решения и мероприятия	Постоянно действующие	Мероприятия временного (сезонного) действия	Мероприятия кратковременного действия
Конструктивные элементы	Параметры плана, продольного и поперечного профилей, спрямление кривых, смягчение продольных уклонов, дополнительные полосы на подъемах, уширение проезжей части и мостов, краевые укрепительные полосы и укрепление обочин, срезка внутренних откосов на кривых, их расчистка, устройство пересечений и примыканий в разных уровнях	Снегозащитные посадки и сооружения, сборные защитные наветы, галереи и заборы, сооружения по борьбе с наледями	Поперечный уклон проезжей части и обочин, водоотводные лотки
Инженерное оборудование и обустройство дорог	Подземные пешеходные переходы, тротуары, ограждения дорог, направляющие устройства, освещение, дорожные знаки и указатели постоянного действия, системы и элементы автоматизированного управления движением или функционированием дорог, ветрозащитные сооружения и насаждения	Съемные ограждения, направляющие столбики и устройства, тротуары, дорожные знаки сезонного действия, разметка дорог	Знаки и табло кратковременного действия, разметка дорог
Организационно-технические мероприятия	Телефонная и радиосвязь	Шероховатые поверхности, работы, ямочный ремонт, устранение трещин и колеи	Патрульная снегоочистка, борьба с гололедом, очистка дорог и инженерного оборудования, профилирование и обеспыливание, информация по радио и телевидению об условиях движения

причин того, что даже на дорогах, запроектированных с соблюдением норм, во время дождей, снегопадов, метелей, сильного ветра условия и режимы движения отличаются от тех, которые предусмотрены проектом, а затраты на содержание в неблагоприятные периоды года существенно возрастают. Аналогичное положение отмечается в статье канадского специалиста, который пишет, что, несмотря на значительные достижения, сделанные в последние годы,

даже сегодня эксплуатационники согласны с утверждением, высказанным в начале 60-х годов, о том, что с первых шагов содержания дорог его традицией стало решение проблем, беззаботное и небрежное отношение к которым со стороны проектировщиков и строителей оказалось узаконенным¹.

Дорога еще при проектировании должна быть рассчитана на обеспечение нормальных условий движения в течение всего расчетного периода эксплуатации, в том числе в неблагоприятные периоды года в сложной погодной обстановке. Особенно высокие требования предъявляются к защите проектируемой дороги от снежных заносов. Учитывая важность этой задачи, проект может быть признан завершенным только тогда, когда в нем предусмотрены все мероприятия по снегозащите, обеспечивающие соблюдение установленных требований к толщине снега на покрытии во время метелей и снегопадов.

Представляется целесообразным в проектах дорог ввести новый раздел «Организация функционирования дороги в процессе эксплуатации», включающий в себя прогноз изменения интенсивности движения по участкам в процессе эксплуатации, оценку состояния дороги и возможность движения с установленными скоростями в неблагоприятные периоды года и в сложных метеорологических условиях, выявление опасных участков и степени их опасности в указанные периоды года. Он должен включать также комплекс технических, технологических и организационных решений и мероприятий постоянного, временного и кратковременного действия, создающих нормальные условия движения в неблагоприятные периоды года при воздействии отдельных метеорологических факторов и их сочетаний с определением эталов выполнения в зависимости от степени опасности участка дороги и темпов роста интенсивности движения.

Принципиально возможные пути предупреждения отрицательного воздействия климата, которые могут быть предусмотрены проектом, приведены в табл. 3.2.

К основным мероприятиям относятся:

- трассирование с учетом неблагоприятного воздействия метеорологических факторов;
- выбор и назначение параметров продольного и поперечного профилей земляного полотна и дорожной одежды; выбор руководящих рабочих отметок и очертаний земляного полотна; размеров и форм разделительной полосы, краевых полос, укрепленных обочин; назначение конструкции дорожной одежды, параметров шероховатости и сцепных качеств покрытия, краевых полос и обочин;

- проектирование снего- и ветрозащитных насаждений и сооружений, мест размещения баз по хранению противогололедных материалов;

¹ Robert A. Hogan. Transportation Research Board special Report, 1979, № 185, p. 74—78.

Таблица 3.2

Метеорологическое явление	Пути и меры по защите от его воздействия	Принципы защиты и техническая эффективность	Недостатки
Гололед	1. Трассирование с учетом частоты образования гололеда в зависимости от форм рельефа	Сокращение протяженности участков подверженных гололеду, снижение повторяемости гололеда	Повышение строительной стоимости
	2. Теплообогрев дорожной одежды	Устранение критической температуры замерзания воды	Высокая стоимость. Не защищает поверхность от влаги
	3. Регулирование теплотехнических свойств дорожной одежды	Сокращение диапазона критических температур замерзания воды на поверхности	То же
	4. Устройство гидрофобной поверхности покрытия	Устранение примерзания воды к покрытию	Не предотвращает полностью образования льда на поверхности
	5. Устройство шероховатой поверхности	Ослабление влияния гололеда	Короткий срок службы
	6. Оснащение дорожной службы для ликвидации гололеда. Проектирование баз хранения противогололедных материалов и систем сигнализации о гололеде	Профилактическое предупреждение и ликвидация гололеда	Высокие эксплуатационные затраты
Метель	1. Проектирование дорог с учетом влияния на снеготаносимость форм рельефа, растительности, скорости и направления ветра	Предупреждение возникновения метели в зоне дороги	Не защищает дорогу от попадания снега
	2. Проектирование снеготаносимого земляного полотна	Перенос снега через дорогу	Требуются большие объемы земляных работ и площадь земли. Не защищает дорогу от попадания снега

Продолж. табл. 3.2

Метеорологическое явление	Пути и меры по защите от его воздействия	Принципы защиты и техническая эффективность	Недостатки
Метель	3. Проектирование инженерного оборудования дороги (ограждения, озеленение, направляющие устройства) с учетом снеготаносимости	Перенос снега через дорогу	—
	4. Защитные навесы (укрытия), галереи	Полное устранение попадания снега и воздействия ветра	Высокая стоимость
	5. Снегозащитные насаждения	Снижение скорости ветроснегового потока и выпадение снега в заданной зоне	Не полностью защищают дорогу от метели, особенно от верховой и смешанной
	6. Снегопредохранительные заборы	Перенос снега за пределы земляного полотна	Работают при ограниченном диапазоне скоростей и направлении ветра. Повышают скорость ветра над дорогой
	7. Снегозадерживающие заборы, щиты, стены и т. п.	Изменение скорости ветра на подходе к дороге и выпадение снега в местах ее снижения	Не полностью защищают дороги от низовой метели, мало защищают от верховой. Быстро зарывающиеся
	8. Краевые полосы и укрепленные обочины	Способствуют переносу снега через дорогу	Увеличение строительной стоимости
	9. Обеспечение потребности в ресурсах и оснащении дорожной службы для предупреждения заносов	Удаление снежных отложений	Высокие эксплуатационные затраты
	Осадки в виде дождя	1. Защитные навесы на наиболее сложных участках	Предохранение от попадания воды

Продолж. табл. 3.2

Метеорологическое явление	Пути и меры по защите от его воздействия	Принципы защиты и техническая эффективность	Недостатки
Осадки в виде дождя	2. Выбор параметров продольного и поперечного профилей и их сочетаний с учетом отвода воды с поверхности дороги	Снижение толщины слоя воды на покрытии и ускорение ее стока	Не устраняет полностью влияния дождя. Не устраняет воздействия на водителя и автомобиль
	3. Устройство дренажных дорожных одежд и земляного полотна	Снижение толщины слоя воды на покрытии, повышение прочности дорожных одежд	То же
	4. Устройство шероховатой поверхности	Снижение толщины слоя воды на покрытии	
Осадки в виде снега	1. Защитные навесы, галереи	Предохранение дороги и автомобилей от попадания снега	Высокая стоимость
	2. Обеспечение потребности в ресурсах и оснащении дорожной службы для патрульной снегоочистки	Удаление снежных отложений	Высокие эксплуатационные затраты
Ветер	1. Проектирование дороги с учетом влияния форм рельефа и растительности на скорость ветра	Сокращение вероятности возникновения высокой скорости ветра	Возможно увеличение строительной стоимости
	2. Проектирование сочетаний элементов плана и профиля с учетом перепадов скоростей ветра	Создание условий для плавного изменения воздействия скорости ветра на автомобиль	
	3. Проектирование ветрозащитных насаждений и ограждений	Снижение скорости ветра над дорогой	То же
	4. Проектирование ширины полосы движения с учетом отклонения автомобиля	Предупреждение выхода автомобиля за пределы своей полосы движения	Увеличение стоимости строительства

Продолж. табл. 3.2

Метеорологическое явление	Пути и меры по защите от его воздействия	Принципы защиты и техническая эффективность	Недостатки
Туман	1. Проектирование дороги с учетом влияния рельефа, ландшафта и растительности на частоту образования тумана	Сокращение длины участков, проходящих в зоне образования туманов	Возможно увеличение строительной стоимости
	2. Устройство специального искусственного освещения и разметки	Улучшение визуального восприятия дорожной обстановки	Повышение строительной стоимости и эксплуатационных затрат

расчет и обоснование структуры и мощности службы содержания дороги и оснащения ее дорожной техникой исходя из годовых и сезонных объемов работ в данных климатических условиях.

выбор и обоснование схем организации и режимов движения в различные периоды года, разметки и расстановки знаков по сезонам года, мест установки знаков со сменной информацией.

Выбор и обоснование проектных решений и мероприятий, обеспечивающих технический уровень дороги, удобство и безопасность движения как в течение всего срока эксплуатации дороги, так и в неблагоприятных погодноклиматических условиях, предлагается выполнять на основе коэффициента обеспеченности расчетной скорости как одного из главных показателей технического уровня дороги.

Внедрение этого метода оценки проектных решений позволит повысить ответственность проектных организаций за надежность работы дорог.

Методы и порядок проектирования. Для предотвращения или ослабления влияния погодноклиматических факторов на условия движения возможны два метода проектирования.

Первый состоит в выборе таких параметров плана, продольного и поперечного профилей, транспортно-эксплуатационных характеристик, конструктивных и организационных решений, которые обеспечат требуемые удобство и безопасность движения в любой период года и в любых условиях погоды и снизят затраты на содержание дороги. За расчетную с самого начала принимают схему движения автомобиля в неблагоприятных погодных условиях, наиболее характерных для данного региона. При этом летний период в большинстве случаев рассматривают как частный более легкий. Параметры и транспортно-эксплуатационные характеристики назначают в расчете на допустимый коэффициент обеспеченности расчетной скорости для наиболее неблагоприятных условий погоды в расчетные периоды года, т. е. при проектировании по этому методу пара-

метры и транспортно-эксплуатационные характеристики дороги значают в расчете на допустимое понижение скорости по сравнению со скоростью движения в эталонных условиях.

Число полос, ширина проезжей части, значение продольных и поперечных уклонов, радиусов кривых в плане, ширина краевых полос и укрепленных обочин, инженерное оборудование дорог, шероховатость и сцепные качества покрытия, снего- и ветрозащитные сооружения должны быть назначены с учетом вероятности появления и интенсивности основных метеорологических факторов, характеризующих климат данного района.

По второму методу дорогу вначале проектируют в расчете на эталонные условия движения, которые близки к летним, наиболее благоприятным. Затем проверяют принятые проектные решения на обеспеченность расчетной скорости в неблагоприятные периоды года и в сложных условиях погоды. Для повышения удобства и безопасности движения в эти периоды разрабатывают комплекс мероприятий, направленных на нейтрализацию отрицательного воздействия всей совокупности метеорологических факторов, характерных для района проложения дороги. Этот подход ближе к традиционному методу проектирования, и он принят за основной.

Проектировать дорогу с учетом климата и погоды рекомендуется в такой последовательности: определяют погодно-климатические характеристики района проложения дороги и расчетные периоды года; назначают параметры и характеристики дороги в расчете на эталонные условия движения; вычисляют коэффициент обеспеченности расчетной скорости на характерных участках дороги для метеорологических условий, соответствующих принятому расчетному периоду.

В районах с зимним расчетным периодом такими являются условия движения во время метели, снегопада и гололеда, в районах с расчетным осенне-весенним периодом — движение во время дождя, сильного ветра и тумана, с летним расчетным периодом — движение при температуре воздуха выше 30°C . Строят эпюры коэффициентов обеспеченности расчетной скорости для каждого направления движения и выявляют участки, где значения коэффициентов опускаются ниже допустимых пределов.

В проекте целесообразно проверить, как обеспечена расчетная скорость на участках, где можно ожидать повышенную опасность воздействия тумана, ветра, песчаных заносов, пыльных бурь и др.

Назначают варианты технических решений и мероприятий для повышения транспортно-эксплуатационных характеристик на участках, где обеспеченность расчетной скорости ниже требуемого, и повторно проверяют ее обеспеченность в неблагоприятные периоды года на участках, где производилась корректировка проектных решений, и оценивают обеспеченность безопасности движения в различные периоды года по сезонным графикам коэффициентов аварийности каждого варианта.

Исходя из максимально возможных и максимально допустимых скоростей одиночного автомобиля на запроектированных участках,

прогнозируемой интенсивности и состава движения вычисляют средние скорости транспортного потока по периодам года, среднегодовую скорость и приведенные затраты по каждому варианту, на основании чего принимают окончательное решение.

Учитывая широкое разнообразие природно-климатических условий на территории СССР, целесообразно разработать региональные нормы и правила проектирования и содержания автомобильных дорог, включающие все технические и организационные мероприятия, обеспечивающие удобные и безопасные условия движения в неблагоприятные периоды года и в сложной погодной обстановке.

3.2. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ПЕРИОДОВ ГОДА

Задачи и общие принципы районирования. Региональный характер изменения погодно-климатических условий приводит к тому, что автомобильные дороги одинаковых технических характеристик в одних регионах допускают круглогодичное удобное и безопасное движение с высокими скоростями, а в других в отдельные периоды года наблюдается движение с пониженными скоростями и повышенной аварийностью.

Чтобы ответить на вопросы, где, когда и какие мероприятия надо реализовать в целях обеспечения требуемых транспортно-эксплуатационных характеристик дорог и организации движения, необходимо районировать территорию по условиям движения.

Районирование осуществляют либо по ведущему климатическому фактору (например, по продолжительности гололедных периодов, объему снеготранспорта), либо по совокупности факторов. Чаще применяется метод наложения, т. е. выделения физико-географических регионов путем наложения границ районирования по отдельным компонентам [1, 8, 23, 47].

По такому методу с учетом совокупности ряда природно-климатических факторов разработано дорожно-климатическое районирование территории СССР для расчета прочности дорожных одежд и устойчивости земляного полотна. Оно не может дать удовлетворительные ответы на многие вопросы проектирования дорог, организации и безопасности движения, поскольку не охватывает влияния природной среды на систему дорожных условий — транспортные потоки. Поэтому был предпринят ряд попыток районирования по отдельным показателям влияния климата на режим и безопасность движения. Так, А. Н. Нечасовым и И. А. Ореховым предложено районировать территорию Белорусской ССР по частоте изменения коэффициента сцепления. В дальнейшем ими была предложена формула для учета времени последствия некоторых погодных явлений [36].

Районирование европейской части РСФСР и частично Украины по условиям движения на мокрых покрытиях предложено канд. техн. наук М. В. Немчиновым [10]. Заслуживает внимания предложение проф. Я. В. Хомяка и канд. техн. наук В. С. Чивака райони-

ровать территорию Украинской ССР по длительности периодов с пониженным коэффициентом сцепления покрытия и длительности периодов с недостаточной метеорологической видимостью [59]. Для общей оценки воздействия климата на дорожное движение они применили метод приведенной длительности периодов с пониженным сцеплением и недостаточной метеорологической видимостью.

Ни один из рассмотренных методов в прямом виде не предусматривает выделения расчетных периодов года для назначения геометрических элементов и транспортно-эксплуатационных характеристик дорог.

Районирование по условиям движения. Идея районирования территории страны по условиям движения в неблагоприятных метеорологических условиях впервые была выдвинута автором в 1969 г. [9]. Принципиальное отличие предложенного метода состоит в том, что метеорологические и климатические факторы объединены не по виду, а по их воздействию на покрытие, на взаимодействие систем комплекса ВАДС и в итоге на условия и режим движения транспортных потоков по дорогам. Под зоной понимается часть территории, на которой можно четко выделить период года, когда условия движения самые сложные по сравнению с эталонными, и общую длительность неблагоприятных периодов. В расчете на создание удобных и безопасных условий движения в эти периоды и должна быть в первую очередь запроектирована дорога.

Доступным критерием, определяющим границы между зонами, служит коэффициент обеспеченности расчетной скорости под влиянием сезонных метеорологических факторов и показатель влияния климата на условия движения, которые позволяют выделить районы с различными расчетными периодами. При этом целесообразно учесть неравномерность изменения интенсивности движения по периодам года. Тогда формула (2.30) для оценки условий движения в разные периоды года с учетом неравномерности интенсивности движения

$$P_{\text{сез}} = (K_{p,c} - K_{p,c}^{\text{сез}}) D_{\text{сез}} K_{\text{н}} / 365, \quad (3.1)$$

где $K_{\text{н}}$ — коэффициент неравномерности интенсивности движения по периодам года.

Районирование территории выполняют по показателю влияния климата на условия движения по участку дороги с эталонными параметрами, для которого коэффициент обеспеченности расчетной скорости в эталонных условиях $K_{p,c_0} = 1$. Тогда расчетная формула [8, 1] примет вид

$$P_{\text{сез}} = \frac{(1 - K_{p,c}^{\text{сез}}) D_{\text{сез}} K_{\text{н}}}{365}. \quad (3.2)$$

Значение коэффициента $K_{\text{н}}$ по периодам года получено в результате обработки многолетних наблюдений за интенсивностью движения и применительно к дорогам с эталонными параметрами:

Период года	лето	зима	осень	весна
$K_{\text{н}}$	1	0,7—1,0	1,1—1,4	0,8—0,9

Граница между зонами с зимним и переходным периодами года проходит по линии, где $P_{\text{з}} = P_{\text{п}}$.

Таким образом выделяют зону с расчетным зимним периодом и определяют северную границу зоны с переходным расчетным периодом. Сложнее выделить южную границу зоны с переходным расчетным периодом или северную границу зоны с летним расчетным периодом.

При решении этой задачи можно исходить из того, что в районах с жарким, засушливым климатом, где условия движения летом принимают за расчетные, зима, как правило, мягкая, короткая с частыми оттепелями и мокрыми снегопадами, когда условия движения мало отличаются от осенних. Поэтому северную границу между зоной с расчетными летними условиями предлагается определять по линии, где

$$P_{\text{л}} = P_{\text{п}} + P_{\text{з}}. \quad (3.3)$$

Этот критерий и методологический подход применимы для выделения зон с расчетными периодами и в горной местности, где погодноклиматические характеристики изменяются по высоте.

Таким образом, на границы между зонами основное влияние оказывает вероятность неблагоприятных метеорологических факторов, продолжительность их действия и последствия, размер снижения расчетных скоростей.

Чтобы исключить влияние субъективных факторов на длительность последствий, коэффициенты обеспеченности расчетных скоростей и показатель влияния климата определены для эталонных участков, расположенных в разных зонах. Для выполнения расчетов в Гипродорнии инж. М. Н. Ермаковой разработана программа ВАЕМ-Р-1 для ЭВМ ЕС-1022, по которой выполнены расчеты более чем по 200 метеорологическим станциям страны.

Расчеты позволяют разделить территорию страны по влиянию климата на состояние поверхности дорог и условия движения на три основные зоны: с зимним расчетным периодом, с переходными осенне-весенними расчетными периодами и с летним расчетным периодом. Наибольшую часть территории занимает зона с зимним расчетным периодом, внутри которой можно выделить более мелкие подзоны.

В качестве одного из путей выделения подзон канд. техн. наук В. П. Расников предложил использовать изменение средней скорости свободно движущихся автомобилей с учетом реальных дорожных и климатических условий через коэффициент среднегодового снижения скорости [42].

В дальнейшем для этих целей был выполнен анализ распределения дорожно-транспортных происшествий и их причин по ряду областей внутри зоны с зимним расчетным периодом, что позволило выделить подзоны [9].

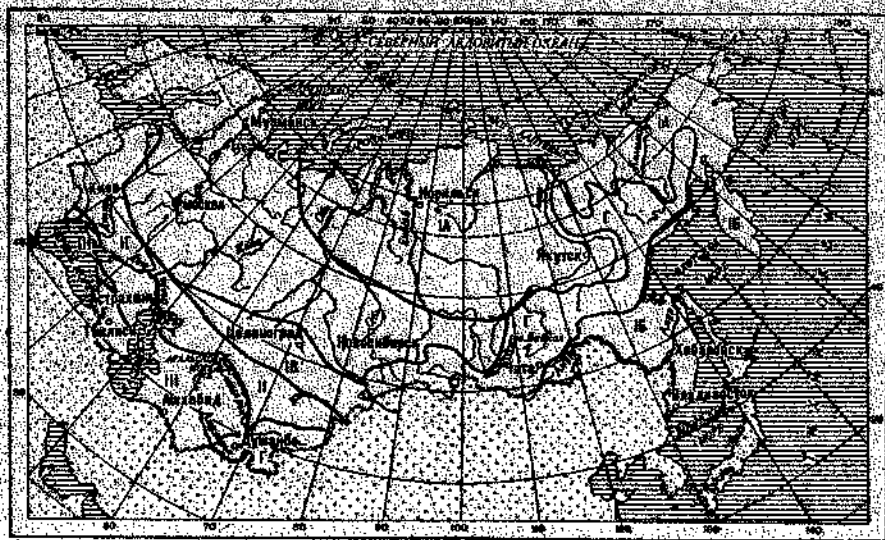


Рис. 3.1. Районирование территории СССР по условиям движения на автомобильных дорогах

Сходный принцип выделения зон по влиянию метеорологических условий на количество происшествий предложен позднее группой авторов¹. Суть этого предложения заключается в том, что для каждого региона вычисляются итоговые метеорологические коэффициенты аварийности.

На основании наших исследований уточнено районирование страны по влиянию климата на поверхность покрытия и условия движения (рис. 3.1).

Зона I с зимним расчетным периодом. К ней отнесены районы, где зимний период более 125 сут в году. Поскольку даты установления среднесуточной температуры 0°C почти совпадают с началом образования устойчивого снежного покрова (разница 2—5 сут), за длительность зимнего периода можно принимать число суток со снежным покровом. К этой зоне можно отнести примерно 87% территории СССР, расположенной в основном севернее 50° северной широты. Расчетным для этой зоны является скользкое покрытие при наличии суженной проезжей части. В пределах I зоны необходимо выделить подзоны с некоторыми отличительными признаками.

Подзона IA характеризуется тем, что здесь единственным является зимний расчетный период, поскольку переходные периоды очень короткие (20—60 сут в году) и ими можно пренебречь.

¹ Селюков Д. Д., Макулькина В. А., Клепичкая Н. С. Исследование влияния метеорологических условий на дорожные происшествия и районирование территории по условиям движения. — В кн.: Автомобильный транспорт и дороги Белорус. политехн. ин-т. — Минск, Высшая школа, 1980, с. 136—140.

Скользкость покрытия определяется только гололедом и наличием снежного накатанного или рыхлого слоя.

Подзона IB характерна тем, что ее зимний расчетный период дополняется значительным по длительности (60—100 сут) переходным периодом. Следовательно, в подзоне IB необходимо конструктивные и организационные мероприятия дополнять мероприятиями, рассчитанными на обеспечение удобства и безопасности в переходные периоды года.

Подзона IB близка к зоне II, так как длительность переходного периода достигает 120 сут. Расчетными условиями здесь служат скользкость и сужение покрытия из-за гололеда, снежных отложений, выпадения осадков и грязных обочин, т. е. в этой подзоне необходимы мероприятия, характерные для зимнего и переходных периодов.

Зона II с расчетными переходными периодами. Включает районы, где переходные периоды длятся 40—110 сут, а зимний 40—125 сут. Зима в этих районах малоснежная с частыми оттепелями, поэтому расчетным состоянием можно считать повышенную скользкость покрытия из-за увлажнения и загрязнения обочин и переходных полос.

Зона III с летним расчетным периодом. Зимний и осенне-весенний периоды весьма короткие и вместе составляют 80—110 сут. Основными расчетными условиями являются движение в период высокой температуры воздуха, а поверочными — в период выпадения дождей.

Районирование по условиям движения коррелируется с дорожно-климатическим районированием. Однако границы зон различаются.

Так, зона I по условиям движения включает в себя зоны I, II и III дорожно-климатического районирования. Зона II по условиям движения примерно соответствует зоне IV дорожно-климатического районирования, а зона III соответственно зоне V.

Особенностью районирования является расположение границ параллельно широтным поясам, так как главной метеорологической характеристикой в обоих случаях служат осадки, количество и длительность которых изменяются в меридианном направлении с севера на юг.

Предлагаемое районирование не охватывает горные районы (зоны Г на рис. 3.1), где климатические условия изменяются по высоте¹.

Предложенное районирование позволяет перейти к разработке региональных требований, технических и организационных рекомендаций по проектированию, ремонту и содержанию дорог, организации и управлению движением с учетом погодных-климатических условий.

¹ Магомедов М. М. Районирование горных областей по условиям движения. — Автомобильные дороги, № 12, 1984, с. 19.

Уточнение расчетного периода при проектировании. Не умаляя значимости разных методов районирования, следует иметь в виду, что любое природно-климатическое районирование может применяться только для решения общих, типовых задач с определенной долей приближенности, поскольку оно не может учесть многих местных особенностей климата и микроклимата, обусловленных рельефом местности, растительностью, наличием водных акваторий и другими факторами. Для точного обоснования расчетного периода года для каждой дороги на стадии изысканий полезно изучить многолетние данные о метеорологических условиях на метеорологических станциях, расположенных в непосредственной близости от проектируемой дороги. С использованием этих данных вычисляют среднесезонные коэффициенты обеспеченности расчетной скорости на эталонном участке и показатель влияния климата на условия движения. Период года, для которого $P_{\text{сез}}$ имеет большее значение, будет наиболее трудным и должен приниматься в качестве основного расчетного при назначении параметров и транспортно-эксплуатационных характеристик дорог, а также для проектирования оснащения дорожно-эксплуатационной службы и организации движения. В большинстве районов трудные условия движения наблюдаются не в один, а в два периода года. В этом случае наиболее трудный период принимается за расчетный, а второй — за поворотный.

Для вычисления коэффициентов обеспеченности расчетной скорости и показателей влияния климата на поверхность покрытия и условия движения в Гипродорнии разработана программа для ЭВМ, позволяющая быстро обработать метеорологические данные по одной или нескольким метеорологическим станциям (см. п. 3.3).

Состояние покрытия, принимаемое за расчетное.

Каждому периоду соответствует характерное часто повторяющееся состояние поверхности покрытий, которое формируется под влиянием метеорологических факторов, уровня содержания дороги и характера движения. При проектировании автомобильных дорог за расчетные могут быть приняты следующие состояния покрытия и метеорологических факторов.

В зимний период:

- 1) рыхлый снег на покрытии и обочинах бывает только во время снегопада и метелей в перерывах между проходами снегоочистительных машин;
- 2) проезжая часть чистая, уплотненный снег и лед только на прикромочных полосах, а рыхлый на обочинах;
- 3) проезжая часть покрыта слоем плотного снежного наката, на обочинах рыхлый снег;
- 4) на поверхности покрытия имеется гололед;
- 5) покрытие влажное, имеется рыхлый мокрый снег или слой снега и льда, растворенного хлоридами.

Характерные условия погоды: снегопад без ветра или с ветром скоростью до 3 м/с, метель (низовая, верховая, общая), сильный ветер, гололед.

Состояния 1, 2, 4 и 5 — расчетные для дорог I—III категорий, 2 и 3 — для дорог III и IV категорий.

В осенне-весенний переходные периоды:

- 1) вся поверхность покрытия и обочины мокрые, чистые;
- 2) проезжая часть мокрая, чистая, прикромочные полосы загрязнены;
- 3) проезжая часть мокрая, загрязненная.

Состояние 1 — расчетное для дорог I—III категорий с обочинами, укрепленными на всю ширину каменными материалами с применением минеральных или органических вяжущих.

Состояние 2 относится к дорогам или их участкам с укрепленными краевыми полосами и неукрепленными обочинами или с обочинами, укрепленными щебеночными (гравийными) материалами без вяжущих.

Состояние 3 относится к дорогам без укрепленных краевых полос и обочин.

Характерные условия погоды: дождь, дождь с ветром, туман, ветер.

В летний период: сухое чистое покрытие и обочины. Характерные условия погоды: температура воздуха 80°C и выше, ветер.

Каждому расчетному состоянию покрытия соответствуют определенный коэффициент сопротивления качению и коэффициент сцепления (см. табл. 1.3 и 1.5).

Исходя из расчетных условий движения выбирают параметры и характеристики дорог с соблюдением требований, наложенных в табл. 2.6.

Получение и обработка метеорологической информации. При проектировании дорог по методу обеспеченности расчетной скорости в неблагоприятные периоды года необходимо использовать большой объем метеорологической информации, характеризующей климат района проложения дороги.

Методика проектирования включает ряд последовательных операций по сбору и обработке метеорологической информации, которая для данного участка может быть получена в процессе изысканий от ближайшей метеорологической станции или из климатологических справочников.

При сборе метеорологической информации следует иметь в виду, что в настоящее время функционирует несколько систем метеонаблюдений, из которых наиболее распространенной и близкой к нуждам дорожной отрасли является система приземных наблюдений на сети стационарных метеорологических станций. В Советском Союзе насчитывается более 4000 метеорологических станций (без учета дождемерных постов), большинство из которых обладает рядом наблюдений около 30 лет. Данные этих наблюдений систематически публикуются в Справочнике по климату СССР.

Методика климатологической обработки данных является специальной частью климатологии [26]. В ее основе лежат общие методы математической статистики и теории вероятности, которые оперируют случайными величинами. Однако эти методы не всегда при-

меним и обработке метеорологической информации, поскольку физические свойства атмосферных процессов существенно влияют на структуру метеорологических факторов, которая имеет ряд особенностей.

Чисто случайные величины не связаны между собой. Они могут принимать любые значения, а их отклонения в обе стороны от средней равновероятны. Метеорологические элементы не всегда можно считать случайными величинами, поскольку значения их во многих случаях связаны между собой и зависят одно от другого как во времени, так и в пространстве. Значения ряда метеорологических величин ограничены с одной или двух сторон. Например, значения количества осадков, скорости ветра, метеорологической видимости и другое только положительны, а относительная влажность воздуха ограничена физически с двух сторон и ее значения могут меняться только от 0 до 100%.

Статистическую обработку метеорологической информации необходимо постоянно совмещать с анализом физического взаимодействия метеорологических факторов и разделять их на независимые друг от друга элементы, взаимосвязанные и взаимоисключающие. Эти соотношения могут быть распространены полностью на все случаи взаимодействия или частично, т. е. на взаимодействие двух или более метеорологических факторов в определенных интервалах или условиях.

Анализируя данные климатических справочников или данные метеорологических наблюдений, следует иметь в виду, что совокупность числовых значений метеорологического фактора может быть представлена в виде простого статистического ряда либо в виде статистического распределения. В первом случае значения x_i величины X , наблюдавшиеся в момент времени t_i , обычно располагают в хронологический ряд.

Время наблюдения	t_1	t_2	t_3	...	t_n
Наблюдаемые значения	x_1	x_2	x_3	...	x_n

Статистическое распределение:

Середина интервала (или интервал)	x_1	...	x_1	x_2	x_3	...	x_k
Абсолютная частота	m_1	...	m_1	m_2	m_3	...	m_k
Относительная частота	P_1	...	P_1	P_2	P_3	...	P_k

Абсолютная частота интервала m_i — число случаев попадания значений метеорологического фактора в i -й интервал.

При этом $\sum_{i=1}^k m_i = n$,

где n — объем статистической совокупности (число наблюдений).

Относительная частота интервала выражается отношением числа случаев со значениями, входящими в данный интервал, к общему числу наблюдений:

$$P_i = m_i/n; \quad \sum_{i=1}^k P_i = 1,0.$$

Климатологические данные часто представляются как совокупность предварительно осредненных во времени или пространстве значений метеорологических факторов, например, в виде их среднесуточных, максимальных или среднemesячных значений за отдельные годы.

Каждое такое значение в климатологии условно принято рассматривать как отдельный результат «наблюдений», ничем не отличающихся от рядов, составленных из результатов действительных наблюдений, хотя свойства тех и других рядов по одному и тому же элементу могут существенно отличаться.

Такие данные менее громоздки и обычно помещаются в справочниках.

Из числа характеристик каждого метеорологического фактора для проектирования дорог наибольшее значение имеют: вероятность или повторяемость явления, интенсивность, продолжительность действия и последствия.

Главной задачей сбора и обработки метеорологической информации для проектирования, организации движения и содержания дорог является получение именно этих данных, хотя источники их получения и методы обработки исходной информации могут быть различными.

Данные климатических справочников требуют предварительной обработки для составления таблиц вероятностей отдельных метеорологических факторов по интенсивностям, соответствующим принятой шкале обеспеченности расчетной скорости (см. табл. 2.3). Это весьма важный этап обработки.

Поскольку в метеорологических справочниках приводятся данные о повторяемости в днях или в часах, их необходимо привести к одному показателю.

Вероятность появления дня с метеорологическим явлением данной интенсивности по степени опасности:

$$\eta = M/365; \quad \eta_1 = M_1/365 \cdot 24, \quad (3.4)$$

где η — вероятность появления дня с метеорологическим явлением данной интенсивности; η_1 — то же, ч; M — продолжительность действия метеорологического фактора с интервалом интенсивности, соответствующим данному интервалу обеспеченности расчетной скорости, дни в году; M_1 — то же, число часов.

Необходимые для расчетов исходные данные о продолжительности периода года, вероятности дней с различной температурой, скоростью ветра и относительной влажностью воздуха можно получить из климатических справочников¹.

Несколько сложнее из этих справочников получить вероятность появления осадков различной интенсивности. Для этого необходимы данные табл. 8 ч. 4 «Число дней с различной величиной осадков

¹ Справочники по климату СССР. Вып. 1—34. Ч. 1—5. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965—1970.

по месяцам» и табл. 10 ч. 4 «Средняя продолжительность осадков по месяцам».

В указанных таблицах приведены раздельные данные по твердым, жидким и смешанным осадкам. При определении коэффициентов обеспеченности расчетной скорости жидкие и смешанные осадки объединяют в одну группу и рассматривают как жидкие осадки.

Расчет проводят в таком порядке:

определяют среднюю продолжительность осадков за рассматриваемый период (сезон, год или месяц) $t_{\text{ос}}$ по табл. 10 в днях или часах;

определяют число дней с осадками разной величины за рассматриваемый период по табл. 8, n , дней;

находят среднюю длительность осадков в день делением средней продолжительности осадков за период на число дней периода с осадками разной величины;

определяют интенсивность осадков, используя данные табл. 8 и 10;

зная число дней с осадками определенной интенсивности за рассматриваемый период, определяют вероятность появления осадков разной интенсивности.

Для определения вероятности появления тумана пользуются табл. 1 ч. 5 «Среднее число дней с туманом». Поскольку в этих таблицах не приведена градация туманов по видимости, ее принимают средней для всех случаев или уточняют соотношения по другим источникам (данные ближайших метеорологических станций, специальные издания по отдельным областям и регионам). Наиболее надежным источником являются данные журналов наблюдений метеорологических станций (форма ТМ-1), которые ведутся с 1966 г. и во многие издания еще не включены. Результаты этих наблюдений группируют в три разряда — видимость до 200 м, 200—500 м и 500—750 м.

Вероятность метели с определенной скоростью рассчитывают по табл. 1 ч. 5 «Среднее число дней с метелью» и табл. 5 ч. 5 «Повторяемость различных скоростей ветра при метелях» по формуле

$$q = \frac{M_m}{n} P, \quad (3.5)$$

где M_m — число дней с метелью; n — число дней рассматриваемого периода; P — повторяемость скорости ветра, %.

Данные для расчета вероятности появления гололеда определяют по табл. 1 «Среднее число дней с гололедом» справочника «Гололедно-изморосевые явления и обледенение проводов». Для получения метеорологической информации могут быть использованы и другие источники и издания.

В большинстве климатических справочников приводятся данные о продолжительности метеорологических явлений, которые можно считать продолжительностью (или длительностью) действия этого

явления или фактора. Их средние значения приведены в табл. 2.5, а более точно для каждого случая берут из климатических справочников. Для наблюдения за образованием искусственного гололеда путем уплотнения снега движущимися автомобилями, за продолжительностью последствий метеорологических явлений и другими специфическими по влиянию на автомобильные дороги климатическими факторами необходимо создать специальную дорожно-синоптическую службу.

С использованием обработанной по изложенной выше методике метеорологической информации предложенная математическая модель (см. формулу 2.15) позволяет вычислять на ЭВМ коэффициенты обеспеченности расчетной скорости для всех сочетаний метеорологических факторов и прогнозировать условия движения на дорогах.

Вычисления можно выполнять вручную, хотя и с меньшей точностью. В этом случае методика расчетов включает следующие операции:

1) обрабатывают данные метеорологических наблюдений и составляют таблицы вероятностей отдельных метеорологических явлений по интенсивностям, соответствующим принятой шкале обеспеченности расчетных скоростей;

2) определяют среднюю длительность действия метеорологических факторов t_i по данным метеорологических станций, а по данным натурных наблюдений время последствий метеорологических факторов t_2 в долях суток;

3) определяют вероятность сочетаний метеорологических факторов разной интенсивности с учетом их соотношений и длительность совместного действия и последствий двух и более факторов. Определяют число дней в году с неблагоприятными метеорологическими условиями

$$n = \sum \sum P(x) 365/r, \quad (3.6)$$

где $\sum \sum (x) = \sum p(x_i) + \sum p(x_i)p(x_j) + \sum p(x_i)p(x_j)p(x_k)$, т. е. сумма вероятностей одиночных, сочетаний двух и трех метеорологических факторов; r — коэффициент, учитывающий повторяемость фиксации одного метеорологического фактора в течение одного дня.

В зависимости от длительности действия и периодов между наблюдениями на метеорологических станциях коэффициент $r = 1-3$ (в среднем можно принять $r = 2-2.4$);

4) определяют коэффициенты обеспеченности расчетных скоростей по каждому метеорологическому фактору и при сочетаниях двух и трех метеорологических факторов;

5) определяют среднесезонную и среднегодовую обеспеченность расчетных скоростей движения.

Таким образом, предложенная методика может быть использована для определения и прогнозирования вероятности появления неблагоприятных метеорологических факторов и их сочетаний по распределениям вероятности каждого из них.

3.3. ОЦЕНКА ДОРОГИ ПО ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РАСЧЕТНОЙ СКОРОСТИ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ПЕРИОДЫ ГОДА

Значение оценки. Учитывая важность и значение скорости движения как технического и технико-экономического показателя, нормативно-технические документы требуют обязательной оценки проектных решений по скорости движения на основе показателей наибольших технических скоростей. Под руководством канд. техн. наук Н. Ф. Хорошилова разработана методика [61], согласно которой нельзя допускать проектных решений, не обеспечивающих расчетной скорости ни на одном из участков, а также с резким изменением максимальных скоростей на соседних участках. Отношение максимальных скоростей в начале и конце участка не должно превышать в равнинной местности для дорог I и II категорий — 0,9, III категории — 0,8, остальных категорий — 0,7, а в пересеченной местности — соответственно 0,8; 0,7 и 0,6.

Для построения эпилор скоростей при оценке проектных решений в Союздорпроекте, Гипродорнии, МАДИ, КАДИ и в ряде других проектных и научных организаций разработаны программы расчета скоростей на ЭВМ и вычерчивания графиков на графопостроителях.

Анализ указанных эпилор по многим проектам показывает, что в подавляющем большинстве случаев выполнить требования строительных норм и правил по обеспечению расчетной скорости не составляет трудностей, поскольку минимальные значения параметров элементов трассы рассчитаны на эти скорости при увлажненном и чистом покрытии, а все другие состояния покрытия и вообще влияние погодных-климатических факторов в требованиях не рассматриваются. Такое положение создает ложное впечатление о высоких транспортно-эксплуатационных качествах дороги в течение всего года и не стимулирует авторов проекта предусматривать какие-либо меры по повышению уровня удобства и безопасности движения в неблагоприятных условиях погоды.

Существующие методы не позволяют оценить качество проекта по скорости с учетом влияния погодных-климатических условий, хотя ни в одном документе не указано, что эти требования не должны быть обеспечены в какой-то период работы или сезон года. В то же время анализ взаимодействия автомобиля с дорогой в разных метеорологических условиях показал, что во многих случаях снижение скорости неизбежно и, следовательно, должно быть нормировано в обоснованных пределах. Игнорирование этого объективного факта привело к тому, что сегодня вообще нет нормированного уровня снижения скоростей в неблагоприятные периоды года, что снимает всякую ответственность с проектных организаций за принятие решений, которые могли бы смягчить или нейтрализовать неблагоприятное воздействие погодных-климатических факторов.

Точно так же нельзя предъявлять обоснованных претензий к дорожно-эксплуатационной службе, если она обеспечила проезд во

время снегопада по дороге I или II категории хотя бы со скоростью 20 км/ч.

Введение нового понятия — коэффициента обеспеченности расчетной скорости — требует нового средства его оценки и контроля — построения графика (эпилор) коэффициентов обеспеченности расчетной скорости, рассчитанных на реальные погодные-климатические условия работы дороги в характерные периоды года.

Построение и анализ эпилор коэффициентов обеспеченности расчетной скорости дают возможность еще на стадии проектирования предусмотреть меры, гарантирующие принятый уровень скоростей в сложной погодной обстановке.

Таким образом, расчетная скорость и уровень ее обеспеченности в различных условиях движения становятся показателями и мерой качества проекта новой дороги или оценки качества существующей дороги.

На дороге не должно быть участков с необеспеченной расчетной скоростью в эталонных условиях движения. На ней может быть допущено снижение максимально возможной или безопасной скорости в неблагоприятных погодных-климатических условиях, но не ниже установленного уровня.

Алгоритм и программа автоматизированного построения эпилор коэффициентов обеспеченности расчетной скорости. В Гипродорнии разработан комплекс программ для определения коэффициентов обеспеченности расчетной скорости с учетом геометрических параметров и состояния покрытия в двух вариантах: программа ВАЕМ-С-1 для дорог I категории и программа ВАЕМ-С-2 для дорог II—IV категорий¹ (рис. 3.2).

Программы позволяют строить эпилор коэффициентов обеспеченности расчетной скорости, вычислять максимальные скорости одиночных автомобилей, средние максимальные скорости и средние коэффициенты обеспеченности расчетной скорости на участке, время пробега автомобиля по дороге, коэффициенты безопасности движения в прямом и обратном направлениях.

При разработке алгоритма и программы использована программа Союздорпроекта «Расчет скоростей», в которой в основу определения максимально возможных или максимально допустимых скоростей на различных участках принята методика А. Е. Бельского [7]. Расчет производится для легковых автомобилей семейства ВАЗ («Жигули») и ГАЗ («Волга»).

Весь участок разбивают на характерные элементы плана и продольного профиля с одинаковыми продольными уклонами, радиусами кривых в плане и т. д. Каждый элемент в свою очередь разбивают на 20-метровые интервалы, для которых подсчитывают конечные скорости, являющиеся одновременно начальной скоростью для последующего интервала. По конечной скорости вычисляют значение $K_{рс}$. Воздействие ветра не учитывается на участках, расположенных в лесу и выемках глубиной более 1,5 м.

¹ Программы разработаны инж. М. Н. Ермаковой под руководством автора.

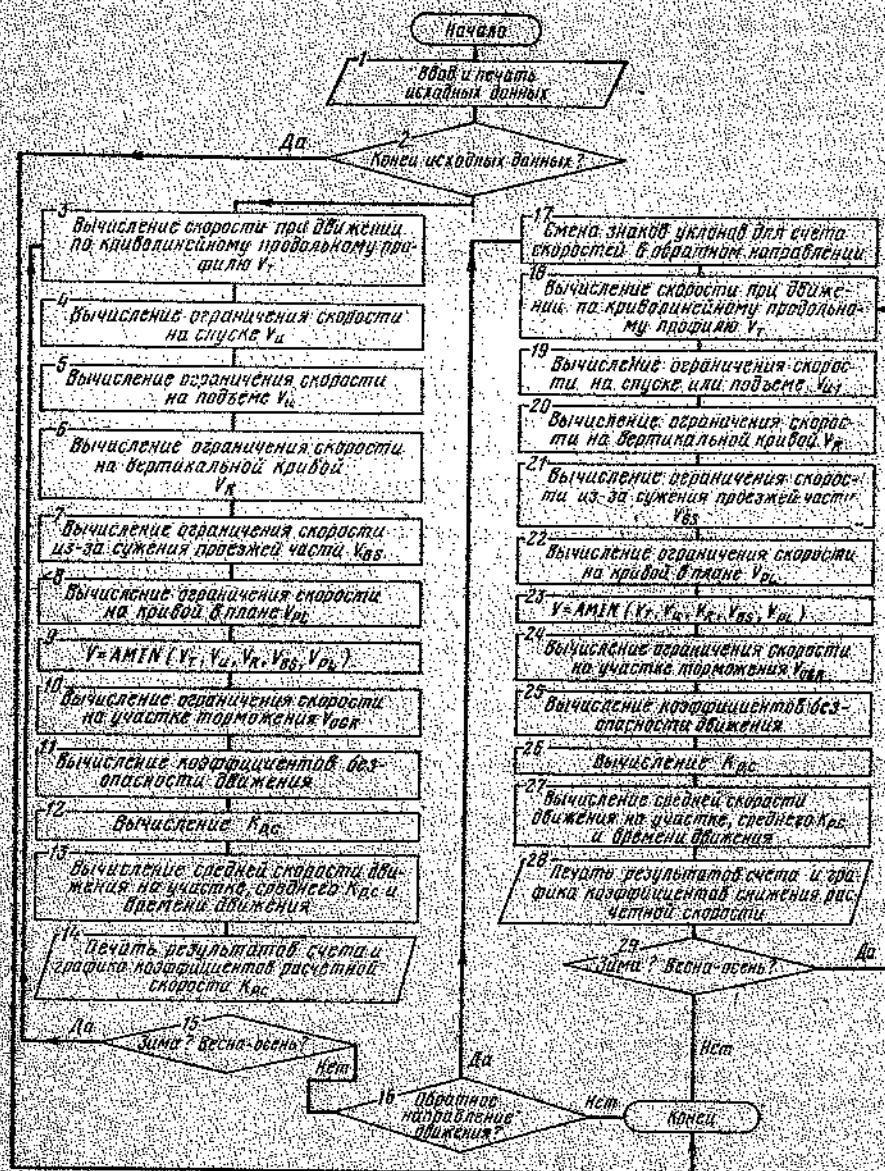


Рис. 3.2 Укрупненная блок-схема программы ВАЕМ-С-1 и ВАЕМ-С-2

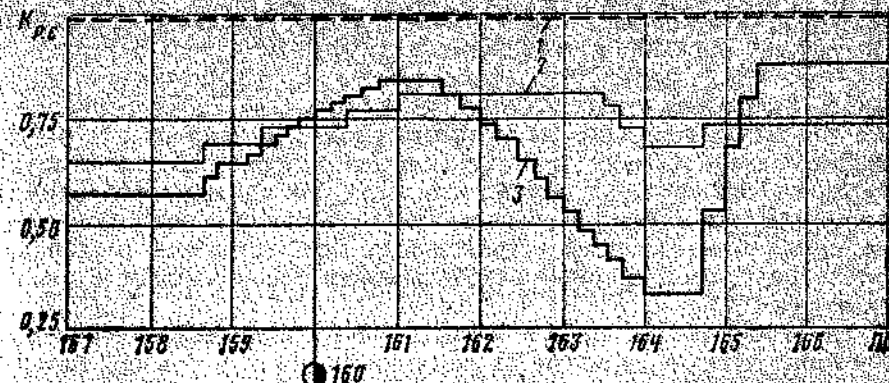


Рис. 3.3. Эпюра коэффициентов обеспеченности расчетной скорости:
1 — летний период; 2 — осенне-весенние периоды; 3 — зимний период

В качестве исходной информации в оперативную память машины внесены значения коэффициентов сцепления и сопротивления качению для разных типов покрытия и его состояния, а также закономерности изменения этих коэффициентов при увеличении скорости.

В число исходных данных в закодированном виде также входят: тип покрытия, его расчетное состояние для расчетных периодов года; ширина в виде укрепления обочины, фактическая ширина проезжей части по периодам года и краевой полосы; данные о наличии бордюров, ограждений, направляющих столбиков, о плане и продольном профиле, начальные скорости в прямом и обратном направлениях, признаки вариантов счета и наименование дороги.

В результате расчета ЭВМ выдает на печать исходные данные о плане и профиле дороги, пикетаже точек через 20 м и по длине дороги и соответствующие им значения максимальной скорости и $K_{рс}$, среднюю максимальную скорость по всему участку и время движения. Кроме того, выдаются точки с коэффициентом безопасности движения меньше единицы.

Анализ линейного графика коэффициентов обеспеченности расчетной скорости (рис. 3.3) начинается с выявления участков, где эти коэффициенты ниже допустимого. Установив местоположение таких участков, следует определить причину, вызвавшую снижение скорости. После этого необходимо изменить проектные решения и вновь определить значение коэффициента обеспеченности расчетной скорости. Решения повторяют до тех пор, пока $K_{рс}$ на данном участке не достигнет требуемых значений.

Упрощенный метод построения линейного графика коэффициентов обеспеченности расчетной скорости. На принципиальную возможность такого подхода указывают как результаты наших исследований, так и работы [22, 36, 42, 46, 69], в которых предложен ряд формул для учета погодноклиматических условий или отдельных

метеорологических явлений при определении средних скоростей свободного движения или транспортного потока.

Анализ показывает, что наибольшее влияние на скорость движения оказывают метеорологические факторы, воздействующие через изменение состояния поверхности дороги и ширину проезжей части. Указанные факторы можно отнести к первой группе осадки в виде дождя, снегопад, метели и гололед. Их влияние необходимо учитывать при выборе и обосновании требований к основным геометрическим параметрам и транспортно-эксплуатационным характеристикам дорог, а также снегозащитным сооружениям и мероприятиям.

Ко второй группе следует отнести факторы, воздействующие на движение через восприятие их водителем: туман и боковой ветер. Их учет необходим при выборе и обосновании дополнительных мероприятий по обеспечению удобства и безопасности движения. Если учесть, что практически все факторы первой группы воздействуют на скорость через коэффициенты сцепления и сопротивления качению, можно существенно упростить методику нахождения $K_{p.c}$ и определить комплексное влияние на $K_{p.c}$ продольного уклона, радиусов кривых в плане и состояния покрытия при разных видах и интенсивности осадков.

В зависимости от фактически используемой ширины проезжей части, сформировавшейся под влиянием отложений снега, льда или загрязнений прикромочных полос, можно определить $K_{p.c}$ как функцию ширины проезжей части.

Для дальнейшего упрощения допускается на участках, где совпадают два оцениваемых параметра дороги, влияющих на скорость, принимать $K_{p.c}$ по тому параметру, который дает меньшее значение. Например, если кривая малого радиуса в плане совпадает с крутым подъемом, то для летнего и переходных периодов $K_{p.c}$ может быть принят по схеме расчета скорости на кривой малого радиуса, а для зимнего периода при наличии рыхлого снега на покрытии — по схеме преодоления подъема.

Такой подход позволяет просто построить линейный график коэффициентов обеспеченности расчетной скорости для каждого периода года, назначив характерное состояние поверхности дороги, обеспечиваемое суммой проектных решений.

При детальном проектировании на наиболее сложных участках целесообразно проверить условия движения автомобилей в период действия наиболее опасных метеорологических факторов. Для этого по расчетным схемам и графикам (см. гл. 2) определяют максимальные скорости и значения $K_{p.c}$ для каждого метеорологического фактора.

Шкала оценки проектных решений. В соответствии с принятыми уровнями оценки состояния дорог в неблагоприятные периоды года на основных участках дорог I—III категорий не рекомендуется допускать коэффициент обеспеченности базовой расчетной скорости ниже 0,75, а на дорогах IV категории ниже 0,33. Меньшие значения $K_{p.c}$ должны обосновываться технико-экономическими расчетами.

Категория дороги	На основном протяжении дороги		На трудных участках в пересеченной местности		На трудных участках в горной местности		Уровни оценки проектных решений
	В зимн. период	$K_{p.c}$	В зимн. период	$K_{p.c}$	В зимн. период	$K_{p.c}$	
IA	150—110	1,25—0,92	120—90	1,0—0,75	80—60	0,67—0,5	А Б
	110—75	0,92—0,62	90—60	0,75—0,5	60—40	0,5—0,33	
IB	120—90	1,0—0,75	120—90	1,0—0,75	80—60	0,67—0,5	А Б
	90—60	0,75—0,5	90—60	0,75—0,5	60—40	0,5—0,33	
II	120—90	1,0—0,75	100—75	0,83—0,62	60—45	0,5—0,38	А Б
	90—60	0,75—0,5	75—50	0,62—0,42	45—30	0,38—0,25	
III	100—75	0,83—0,62	80—60	0,67—0,5	50—38	0,42—0,32	А Б
	75—50	0,62—0,42	60—40	0,5—0,33	38—25	0,32—0,21	
IV	80—60	0,67—0,5	60—45	0,5—0,38	40—30	0,33—0,25	А Б
	60—40	0,5—0,33	45—30	0,38—0,25	30—20	0,25—0,17	

Примечание. Классификация дорог приведена в соответствии с проектом СНиП 2.05.02 «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» М., Строймориздат, 1984. 277 с.

По обеспеченности расчетной скорости оценивается качество проектных решений (план, поперечный и продольный профиль, снегозащитные мероприятия и обустройство дорог). Шкала оценки проектных решений приведена в табл. 3.3. Требования к проектированию соблюдены на участках, где значения коэффициента $K_{p.c}$ соответствуют уровню А. Участки, для которых $K_{p.c}$ в расчетные периоды года ниже уровня А, необходимо перепроектировать.

Если по условиям местности или климата нельзя выполнить эти требования или их выполнение вызывает значительное увеличение объема работ и стоимости строительства дороги, при проектировании может быть допущено, как исключение, снижение норм на основе технико-экономического сопоставления вариантов. В этих расчетах обязательно учитываются снижение скорости и безопасности движения и увеличение затрат на содержание дороги в зимний и осенне-весенние периоды года на участках с пониженными нормами.

На основании анализа причин, обуславливающих снижение $K_{p.c}$, намечают мероприятия по обеспечению скорости движения в неблагоприятные периоды года. Однако как исключение могут быть

допущены только проектные решения, при которых $K_{p,c}$ в зимний период во время сильных снегопадов и гололеда соответствует уровню Б.

Таким образом, построение линейного графика коэффициентов обеспеченности расчетной скорости позволит заблаговременно определить, как будет работать дорога в расчетные периоды года, а оценка качества проекта будет стимулировать повышение ее технического уровня и надежности функционирования в реальных природно-климатических условиях.

Для перехода к технико-экономическим расчетам целесообразно определить среднюю максимальную скорость по маршруту в каждом направлении при каждом расчетном состоянии дороги или средний коэффициент обеспеченности расчетной скорости ($K_{p,c}$):

$$\bar{v}_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^n v_{\max j} l_j}{L} \quad \text{или} \quad \bar{K}_{p,c} = \frac{\sum_{j=1}^n K_{p,c j} l_j}{L}, \quad (3.7)$$

где $v_{\max j}$ — максимальная скорость в расчетных условиях, км/ч; $K_{p,c j}$ — значение на каждом участке длиной l_j ; L — длина участка дороги (маршрута), м.

3.4. ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ПЕРИОДЫ ГОДА

Методика оценки пропускной способности и уровня загрузки. Пропускная способность является функцией скорости и допустимого расстояния между автомобилями. В свою очередь, оба этих параметра зависят от состояния дорог и погодных условий. Взаимодействие автомобилей в транспортном потоке существенно зависит от состояния покрытия и условий погоды. На сухом шероховатом покрытии взаимное влияние автомобилей начинает ощущаться при интервалах менее 10 с, когда интенсивность более 360 авт/ч, на мокром шероховатом покрытии при интервалах менее 11 с, а на снежном накате взаимное влияние заметно при интервалах меньше 15 с, т. е. интенсивность более 240 авт/ч, а при гололеде уже при интервалах менее 20 с, т. е. интенсивность более 180 авт/ч. Соответственно изменяются скорость, пропускная способность (рис. 3.4) и уровень ее снижения при различных состояниях проезжей части [11].

Аналогичные результаты получены при наблюдениях за движением транспортных потоков на дорогах ФРГ во время тумана и снегопада¹ (рис. 3.5). Как видно из приведенных данных, интенсивность движения при одинаковой плотности во время снегопада на 30–40% меньше, чем в сухую ясную погоду, что вполне согласуется с нашими наблюдениями.

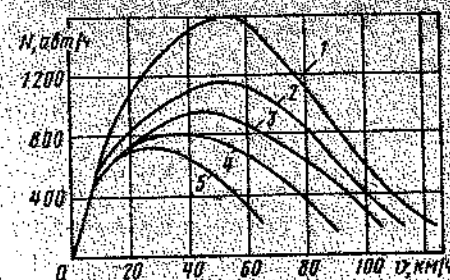


Рис. 3.4. Зависимость интенсивности от скорости при разных состояниях покрытия:

1 — сухое шероховатое; 2 — мокрое шероховатое; 3 — частично покрыто льдом; 4 — снежный накат; 5 — гололед

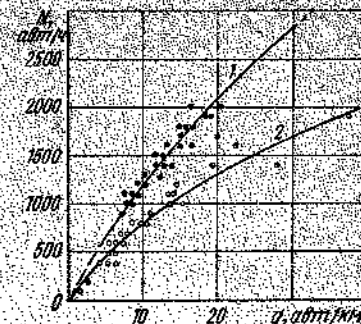


Рис. 3.5. Зависимость интенсивности от плотности транспортного потока при состоянии проезжей части:

1 — ясная погода; 2 — снегопад

Полученные результаты дают основание ставить вопрос о пересмотре методов оценки пропускной способности, в которых она принимается независимо от погодно-климатических факторов [8, 24, 48, 60]. Запроектированные по этим нормам дороги не рассчитаны на пропуск интенсивных транспортных потоков в неблагоприятных условиях погоды. Этим в значительной мере объясняются случаи образования заторов на дорогах в осенний и зимний периоды, во время выпадения дождя, тумана, снежных отложений и т. д.

Неблагоприятные с точки зрения пропускной способности условия движения длятся от 4 до 9 мес в году. При этом максимальная интенсивность движения на большинстве автомобильных дорог (кроме дорог к местам летнего отдыха и некоторых других) наблюдается, как правило, в начале осеннего периода, когда пропускная способность дорог под влиянием погодно-климатических факторов существенно ниже, чем в летний период.

Пропускную способность надо определять для наиболее трудного по условиям движения периода года и состояния дороги, принятого за расчетный в данной климатической зоне. Влияние состояния дороги и погодно-климатических факторов на пропускную способность можно учесть, введя понижающие ее коэффициенты, полученные из сопоставления пропускной способности в фактических и эталонных условиях движения [11, 42]. В наиболее полной мере этот учет можно осуществить, используя методику определения коэффициентов обеспеченности расчетной скорости. В этом случае пропускная способность полосы движения с учетом состояния дороги и погодно-климатических факторов

$$P_{сез} = \phi \alpha \bar{v}_0 q_{\max}, \quad (3.8)$$

где ϕ — коэффициент, учитывающий движение по встречной полосе, а для многополосных дорог — по соседней полосе; α — коэффициент, зависящий от дорожных и метеорологических условий; $\bar{v}_0$ — средняя скорость свободного движения автомобилей в реальных дорожных и метеорологических условиях, км/ч; $q_{\max}$ — максимальная плотность потока, авт/км.

¹ Лейтбах В. Учебная и научная работа транспортного института университета в Карлсруэ, ФРГ. — В кн.: Проектирование дорог и безопасность движения. — М.: МАДИ, 1979, с. 59–69.

Реальное состояние дорог и метеорологических факторов учитывается через коэффициент обеспеченности расчетной скорости:

$$\alpha = 0,65 + 0,00425 v_{\text{фmax}}, \quad (3.9)$$

$$\text{или} \quad \alpha = 0,65 + 0,51 K_{p.c.}, \quad (3.10)$$

где $v_{\text{фmax}}$ — максимальная скорость при фактическом (расчетном) состоянии дороги и метеорологических факторов.

Средняя скорость свободного движения для расчета пропускной способности с учетом состояния дороги и погоднo-климатических факторов (км/ч)

$$\bar{v}_0 = v_{\text{фmax}} - t \sigma_{\text{ф}}, \quad (3.11)$$

где t — гарантийный коэффициент или функция доверительной вероятности; $\sigma_{\text{ф}}$ — среднее квадратическое отклонение скорости движения свободного транспортного потока.

Значения t принимают в зависимости от доверительной вероятности получаемых результатов при одностороннем ограничении:

Доверительная вероятность, %	85	90	95	99,85	99,999
Расчетное значение t	1,04	1,28	1,64	3,0	4

Для проектируемых дорог фактическую максимальную скорость получают расчетным путем, а при определении средней скорости свободного движения принимают $t=3$. Аналогично можно определить эти скорости и для существующих дорог. Кроме того, на существующих дорогах указанные скорости могут быть получены непосредственными измерениями на каждом участке дороги при расчетных состояниях покрытия и метеорологических условиях. При этом за фактическую максимальную принимают скорость свободного движения транспортного потока 95%-ной обеспеченности, а при вычислении средней скорости свободного движения принимают $t=1,64$. За фактическую максимальную может быть принята также скорость свободного движения легковых автомобилей 85%-ной обеспеченности. В этом случае для вычисления средней скорости свободного движения принимают $t=1,04$.

Для построения линейного графика пропускной способности удобно и просто пользоваться значениями $K_{p.c.}$, полученными из

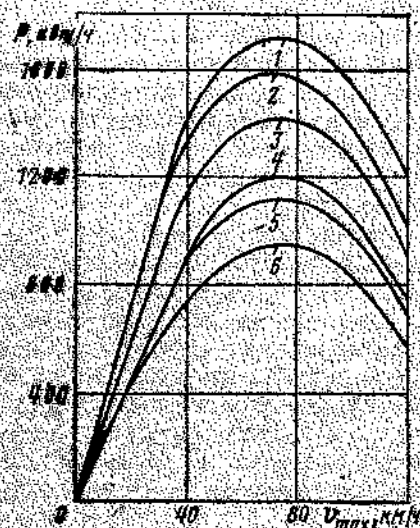


Рис. 3.6. Пропускная способность полосы движения при различных скоростях:

1, 2 — многополосные дороги при σ_{min} и σ_{max} ; 3, 4 — двухполосные дороги при $\phi = 0,9$ и $\phi = 0,7$; 5, 6 — то же, при $\phi = 0,9$ и $\phi = 0,7$.

линейного графика коэффициентов обеспеченности расчетной скорости, порядок построения которого изложен в п. 3.4.

Значения коэффициента ϕ принимают в следующих пределах:

Условия	эталонные	нормальные	трудные
$K_{p.c.}$	$\geq 1,0$	0,75—1,0	0,75
Многополосные дороги	0,9	0,9	0,8
Двухполосные дороги	0,9	0,8	0,7

Результаты расчетов по предлагаемой методике приведены на рис. 3.6. Уровень загрузки в расчетный период определяют как отношение

$$Z = N_{\text{сез}}^n / P_{\text{сез}} n, \quad (3.12)$$

$$N_{\text{сез}}^n = N_{\text{сез}} v_{\text{ср.вз}}, \text{ или } N_{\text{сез}}^n = n_1 v_1 + n_2 v_2 + \dots + n_i v_i, \quad (3.13)$$

где $N_{\text{сез}}^n$ — интенсивность движения в расчетный период года, приведенная к легковому автомобилю, авт/ч; n — число полос движения; $N_{\text{сез}}$ — сезонная интенсивность движения, авт/ч; $n_1, n_2, \dots, n_i$ — число автомобилей различных типов в потоке, авт/ч; $v_1, v_2, \dots, v_i$ — коэффициенты приведения различных автомобилей к расчетному легковому.

На стадии проектирования не всегда имеется возможность определить сезонную интенсивность движения, поскольку методы технико-экономического обоснования обычно позволяют получить среднегодовую интенсивность и состав движения. В этом случае можно воспользоваться полученными на основании многолетних наблюдений осредненными значениями коэффициентов сезонных колебаний интенсивности движения $K_{\text{сез}}$:

Период года	летний	осенний	зимний	весенний
Дороги I и II категорий	1,0	1,1—1,4	0,7—1,0	0,8—0,9
Дороги III—V категорий	1,0	1,2	1,0	0,8

Тогда уровень загрузки в расчетный период

$$z = K_{\text{сез}}^n N_{\text{ср.год}} / P_{\text{сез}} n, \quad (3.14)$$

В связи с тем что пропускная способность дорог при неблагоприятных условиях погоды меньше, чем в эталонных, уровень загрузки движением и состояние транспортного потока [45] при одной и той же фактической интенсивности в различные периоды года может колебаться в значительных пределах. Исходя из этого установлена максимальная часовая интенсивность движения для дорог различных категорий и периодов года, которая может быть принята за допустимые при проектировании дорог в зонах с соответствующим расчетным периодом (табл. 3.4).

Оценка пропускной способности по предлагаемой методике позволяет на стадии проектирования прогнозировать ожидаемые уровни загрузки дороги в разные периоды года и в различных метеорологических условиях и предусматривать меры, обеспечивающие требования удобства движения в реальных условиях эксплуатации дороги.

Таблица 3.4

Категория дороги	Характеристика проезжей части и обочин	Максимальная часовая интенсивность в двух направлениях при уровне загрузки 0,5—0,7, авт./ч		
		летом	в переходные периоды	зимой
II	Ширина проезжей части 7,5 м, укрепленные обочины или краевые полосы	1300	1100	1000
	Ширина проезжей части 7,5 м, неукрепленные обочины или краевые полосы	1200	900	800
III	Ширина проезжей части 7,0 м, укрепленные обочины или краевые полосы	1200	1000	850
	Ширина проезжей части 7,0 м, неукрепленные обочины или краевые полосы	1000	750	650
IV	Ширина проезжей части 6,0 м, укрепленные обочины или краевые полосы	1000	800	600
	Ширина проезжей части 6,0 м, неукрепленные обочины	800	600	400

¹ В составе транспортного потока 40—50% легковых автомобилей и 50—60% грузовых и автобусов.

Максимальная интенсивность наблюдается в осенний период. Этому же периоду часто соответствует и максимальный уровень загрузки. Зимой интенсивность, как правило, меньше, чем осенью. Однако уровень загрузки зимой может быть даже выше, чем осенью. Это объясняется двумя факторами. Во-первых, в зимний период пропускная способность может быть значительно ниже, чем в осенний. Во-вторых, зимой при меньшей среднесуточной интенсивности часовая интенсивность движения может быть равна или выше летней и осенней за счет сокращения светлой части дня. Это установлено исследованиями канд. техн. наук В. П. Расникова [42].

Таким образом, целесообразно внести в нормативно-технические документы по проектированию и содержанию дорог требование об обязательном определении пропускной способности и уровня загрузки дорог в неблагоприятные периоды года.

Необходимо сделать существенное сопоставление, которое часто игнорируется, когда рассматривают пропускную способность и уровень загрузки. В строительных нормах и правилах для каждой категории дорог приведены минимальные и максимальные значения физических транспортных единиц, в то время как пропускная способность определяется для расчетных легковых автомобилей.

В зависимости от состава транспортного потока и рельефа местности можно в каждом конкретном случае определить средневзве-

Таблица 3.5

Показатели интенсивности движения	Категория дороги				
	I	II	III	IV	V
Расчетная интенсивность движения физических транспортных средств на перспективу 20 лет, авт./сут	> 7000	3000—7000	1000—3000	200—1000	< 200
Максимальная интенсивность движения, приведенная к расчетному легковому автомобилю, авт./сут					
для равнинной местности	> 15 400	15 400	6600	2200	440
для пересеченной	> 19 600	19 600	8400	2800	560
для горной	> 26 600	26 600	11 140	3800	760

шенное значение коэффициента приведения транспортного потока к расчетному легковому автомобилю. Практика показывает, что при существующих соотношениях транспортных средств на автомобильных дорогах средневзвешенные значения этих коэффициентов колеблются от 1,8 до 2,2 в равнинной местности, от 1,9 до 2,8 в холмистой и от 2,2 до 3,8 в горной. С учетом этого характеристики интенсивности движения будут иметь значения, приведенные в табл. 3.5.

Сопоставляя полученные значения максимальной приведенной интенсивности движения на перспективу 20 лет с расчетной (см. табл. 3.4), можно сделать вывод, что даже при самом неблагоприятном составе транспортного потока в обычных условиях на дорогах III—V категорий уровень загрузки не будет превышать рекомендуемых значений и нет необходимости при проектировании дорог его оценивать.

Гораздо важнее для этих дорог имеет проверка обеспеченности расчетной скорости и безопасности движения в неблагоприятные периоды года. Исключение составляют участки горных дорог без укрепленных краевых полос, на которых в зимний и весенне-осенний периоды года уровень загрузки может превысить расчетный. Что касается дорог I и II категорий, то проверка их пропускной способности и уровня загрузки обязательна. В первую очередь эта проверка должна выполняться для условий работы дорог в зимний и переходные периоды. Особое внимание необходимо уделять оценке пропускной способности на подходах к городам, которые обычно перегружены. Анализ показывает, что на расстоянии 50—70 км, иногда 100 км, от границы крупных городов интенсивность движения падает.

Особого внимания заслуживает оценка пропускной способности и уровня загрузки при разработке проектов реконструкции и капитального ремонта дорог. Объективный учет интенсивности движения и правильная оценка пропускной способности по характерным периодам года позволяют в этом случае при одних и тех же ресурсах

предусмотреть более существенные меры повышения пропускной способности подходов к городам, а на остальных участках предусмотреть меры повышения скорости и безопасности движения.

Для оценки пропускной способности спроектированной или построенной дороги вычерчивают линейный график пропускной способности и уровня загрузки [45]. Представляется целесообразным порядок его построения дополнить определением этих показателей для расчетных периодов:

вычерчивают бланк линейного графика пропускной способности, нанеся основные характеристики плана и профиля;

выделяют однородные участки и зоны их влияния с учетом воздействия погодно-климатических факторов;

вычисляют пропускную способность в приведенных легковых автомобилях для летнего, осенне-весеннего и зимнего периодов на каждом выделенном участке;

определяют для каждого участка интенсивность, приведенную к легковым автомобилям по данным среднегодовой или среднесезонной интенсивностей и состава движения в реальных автомобилях;

определяют уровень загрузки и строят линейный график интенсивности движения и уровня загрузки для каждого периода года.

Методика позволяет оценивать не только значение среднесезонной пропускной способности и уровня загрузки, но и проверять возможность и очередность образования заторов при различных метеорологических условиях.

Так, можно построить линейный график пропускной способности во время дождя или снегопада, метели или гололеда, из которого будет наглядно видно, на каких участках пропускная способность ниже требуемой при данных метеорологических условиях. Это позволяет прогнозировать условия работы дороги в реальном климате и еще на стадии проекта предусматривать меры, обеспечивающие удобное и непрерывное движение транспортных потоков.

Для определения пропускной способности дорог в неблагоприятные периоды года и уровней загрузки дорог движением в Гипродорнии разработана программа расчетов на ЭВМ.

Методы оценки безопасности движения с учетом климата и погоды. Существует несколько методов, но основными являются методы оценки по коэффициентам аварийности и коэффициентам безопасности, разработанные проф. В. Ф. Бабковым [5] и нашедшие широкое практическое применение.

Аналогичный метод оценки проектных решений по коэффициенту относительной безопасности предложил канд. техн. наук Н. Ф. Хорошилов [61].

В развитие метода проф. В. Ф. Бабкова нами разработана методика оценки безопасности движения по сезонным графикам коэффициентов аварийности, которая позволяет учитывать влияние погодно-климатических факторов на состояние дорог и безопасность

движения¹. Линейный график коэффициентов аварийности по этому методу строят для каждого характерного периода года, а частные коэффициенты назначают в зависимости от фактических параметров и характеристик дорог, соответствующих расчетному состоянию в данный период года, учитывая их разделение на три группы: постоянные, переменные (сезонные) и временные (кратковременные). Метод позволяет оценить степень безопасности движения на всех участках дороги в каждый период года².

После многолетней широкой проверки метод сезонных графиков коэффициентов аварийности включен как обязательный в основной нормативно-технический документ [56]. В нем указано, что график сезонных коэффициентов аварийности является основным рабочим документом для оценки условий безопасности движения в различные периоды года, на основании которого разрабатывают конкретные мероприятия по повышению безопасности движения и сроки их проведения на разных участках.

Для вычисления коэффициентов и построения графика сезонных коэффициентов аварийности в Гипродорнии совместно с ВЦ Мин. автодора РСФСР составлена программа на ЭВМ.

Методы коэффициентов аварийности и сезонных графиков коэффициентов аварийности наиболее эффективны для оценки безопасности движения на дорогах с высокой интенсивностью движения.

На дорогах с малой интенсивностью или в часы спада движения на загруженных дорогах эффективнее метод коэффициентов безопасности, разработанный проф. В. Ф. Бабковым, который учитывает движение одиночного автомобиля.

Основываясь на методике проф. В. Ф. Бабкова и предложениях Н. Ф. Хорошилова, нами разработана методика построения сезонных коэффициентов безопасности движения с использованием коэффициентов обеспеченности расчетной скорости. Применимость такого метода видна из самого определения коэффициента обеспеченности расчетной скорости

$$K_{p.c} = v_{ф.мах}/v_p \text{ или } v_{ф.мах} = K_{p.c} v_p.$$

Тогда коэффициент безопасности

$$K_{бес} = v_{н.мах}/v_{уч.мах} = K_{p.cн} v_p / K_{p.cуч} v_p, \quad \text{т. е.} \quad K_{бес} = K_{p.cн} / K_{p.cуч}. \quad (3.15)$$

Поэтому при наличии элюры коэффициентов обеспеченности расчетной скорости не трудно определить коэффициенты безопасности в обоих направлениях для расчетных периодов года.

¹ Васильев А. П. Оценка сезонного состояния дорог — Автомобильные дороги, № 7, 1973, с. 15—17.

² В методических рекомендациях по оценке условий движения в разные сезоны года (М. Гипродорнии, 1975) по этому методу приведен подробный перечень мероприятий, направленных на обеспечение безопасности движения в сложных погодных условиях.

Таблица 3.6

Оцениваемые показатели	Рекомендуемая область применения	Рекомендуемые методы оценки
Обеспеченность расчетной скоростью	Выполняется на дорогах всех категорий для расчетных периодов года по условиям движения. Применяется также для оценки условий движения при воздействии отдельных метеорологических факторов	Метод коэффициентов обеспеченности расчетной скоростью
Пропускная способность и уровень загрузки дороги движением	Выполняется на дорогах I и II категорий и на участках дорог III категории в районе крупных городов для расчетных периодов года. Может также выполняться для периодов действия отдельных метеорологических факторов	Метод определения пропускной способности с учетом влияния климата и погоды
Удобство и безопасность движения	На дорогах всех категорий в расчетные периоды года по условиям движения	Метод коэффициентов безопасности для расчетных периодов года. Метод сезонных графиков коэффициентов аварийности

Вычисление коэффициентов безопасности производится на ЭВМ одновременно с вычислением коэффициентов обеспеченности расчетной скоростью.

На печать ЭВМ выдает все значения коэффициента безопасности, меньшие единицы, с указанием местоположения этого участка через каждые 20 м по длине дороги.

Изложенная методика является завершающей для оценки качества проекта дороги по скорости, пропускной способности и безопасности движения. Совокупность предложенных методов позволяет всесторонне оценить качество проектных решений по главным критериям, от которых зависят эффективность и качество работы всей дорожной системы. Эта оценка позволяет на стадии проектирования прогнозировать работу дороги во всех условиях эксплуатации, своевременно выявить слабые места проекта и разработать меры по его улучшению, в том числе и меры по эксплуатации за проектированной дороги и организации движения в сложных условиях погоды.

Не все методы оценки одинаково эффективны во всех случаях и не все их нужно использовать в каждом проекте. Поэтому представляется целесообразным рекомендовать методы оценки качества проектов в зависимости от категории проектируемой дороги (табл. 3.6).

Глава 4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ И ПЛАНА ДОРОГ В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

4.1. КОМПЛЕКСНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШИРИНЫ УКРЕПЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Ширина укрепленной поверхности. Поперечный профиль автомобильной дороги состоит из проезжей части, укрепленных краевых и остановочных полос, придорожных неукрепленных полос обочины (рис. 4.1).

Общая ширина укрепленной поверхности дороги

$$B_y = B + 2a_1 + 2a_2, \quad (4.1)$$

где B — ширина проезжей части, м; a_1 — ширина краевой укрепленной полосы, м; a_2 — ширина остановочной укрепленной полосы, м.

Ширина обочины

$$a = a_1 + a_2 + a_3, \quad (4.2)$$

где a_3 — ширина придорожной неукрепленной полосы, м.

К основной ширине укрепленной поверхности B следует отнести ширину покрытия и краевых укрепленных полос. Ширина покрытия краевых укрепленных полос и обочин, в первую очередь, характеризует транспортно-эксплуатационные качества дороги в любое время года и в любых условиях погоды. Поэтому к назначению и обоснованию их параметров необходимо подходить особенно внимательно. Всякое сокращение ширины этих элементов поперечного профиля против минимально необходимых требований, с одной стороны, приводит к снижению скорости и повышению аварийности, с другой, увеличение их ширины приводит к росту объемов работ по строительству земляного полотна и дорожной одежды, следовательно, к удорожанию строительства.

На выбор параметров поперечного профиля дороги влияют многие факторы, к которым следует отнести параметры автомобилей, характеристики транспортного потока, дорожные природные и климатические условия. Автомобиль при движении занимает «динамический коридор» [20], ширина которого во многом зависит от его скорости, поскольку поперечные отклонения автомобиля увеличиваются с ростом скорости (рис. 4.2).

Из характеристик транспортного потока на выбор ширины проезжей части более всего влияют интенсивность и состав движения. Различием состава транспортного потока во многом объясняется и различие ширины полосы движения. На дорогах СССР число грузовых автомобилей и автобусов в среднем составляет около 65—70% (с колебаниями 50—85%), в то время как на дорогах большинства зарубежных стран доля грузовых автомобилей и автобусов составляет в среднем около 25—35% (с колебаниями 20—45%). Соответственно ширина полосы движения двухполосных дорог, например, в нормативных документах штатов Кентукки и



Рис. 4.1. Основные параметры поперечного профиля двухполосной дороги

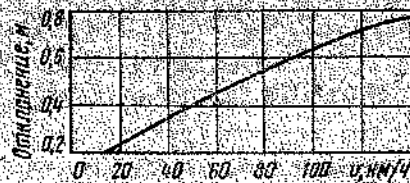


Рис. 4.2. Зависимость поперечных отклонений автомобиля от скорости (данные В. Н. Иванова)

Техас (США) составляет 3,3 м, а в СССР колеблется от 3 м на дорогах IV категории, до 3,5 м III категории и до 3,75 м I и II категорий.

Практика эксплуатации автомобильных дорог показывает, что эффективно используемая ширина полосы движения сокращается зимой из-за образования ледяных и снежных отложений на крайних полосах покрытия. В результате эффективно используемая проезжая часть может быть сужена на 1,5—2 м и более. Этот недостаток можно устранить созданием краевой укрепленной полосы на ширину, равную ширине образующихся ледяных отложений. На дорогах без краевых полос для полного использования нормативной ширины во все периоды года в проектах необходимо предусматривать меры, не допускающие ледяных отложений в зоне прикромочных полос. Таким образом, ширина полосы движения является первым элементом, который требует технико-экономического обоснования.

Чтобы при решении этой задачи учесть воздействие факторов климата на состояние дорог, необходимо оценивать в комплексе влияние фактической ширины проезжей части и укрепленных краевых полос в неблагоприятные периоды года на режим движения. Число полос определяют исходя из интенсивности потока и пропускной способности полосы в расчетный по условиям движения период года

$$n = N_{p, \lambda} / Pz, \quad (4.3)$$

где $N_{p, \lambda}$ — интенсивность движения в расчетный период года, приведенная к легковому автомобилю, авт/ч; P — пропускная способность полосы движения в расчетный период, авт/ч; z — уровень загрузки дороги движением.

Рекомендуемый расчетный уровень загрузки для сухого летнего периода приведен в табл. 4.1 [44].

При неблагоприятных погодных-климатических условиях в расчетные периоды года указанные уровни загрузки могут быть повышены, но не более чем на 10—15%.

Еще одним важным фактором, влияющим на выбор ширины проезжей части и полосы движения, является психологическое восприятие водителем условий движения и, особенно, дорожных условий. Именно от этого зависит размер зазоров безопасности между

Таблица 4.1

Тип дороги	Расчетный уровень загрузки при		Обеспечиваемый уровень удобства	Критерий определения уровня загрузки
	новом строительстве	реконструкция		
Автомобильные магистрали на подъездах к аэропортам, морским и речным причалам	0,2	0,5	A	Минимизация времени сообщения
Внегородские автомобильные магистрали	0,45	0,65	B	Минимизация приведенных затрат
Автомобильные магистрали на входах в города, обходах и кольцах вокруг больших городов	0,5	0,65	B	То же
Внегородские автомобильные дороги	0,5	0,6	B	»

кромкой покрытия и колесом автомобиля и между кузовами встречных или попутных автомобилей, которые выбирает водитель. В результате каждый автомобиль занимает коридор безопасности, который шире динамического коридора [20].

Главный элемент поперечного профиля — проезжая часть, ширину которой на двухполосных дорогах назначают с учетом размещения встречных автомобилей и обеспечения безопасных зазоров между движущимися автомобилями и кромкой проезжей части

$$B = a_k + c + 2y + 2x, \quad (4.4)$$

где a_k — ширина кузова автомобиля, м; c — колея автомобиля, м; $2x$ — зазор между кузовами встречных автомобилей, м; y — расстояние от внешней грани следа колеса до края проезжей части, м.

Расчетные значения x и y при различном направлении движения определяют по эмпирическим формулам [8, 17, 60].

Большинство наблюдений, лежащих в их основе, выполнялось летом при сухих покрытиях и обочинах в хорошем состоянии, и все ранее предлагаемые формулы применимы именно для расчета ширины проезжей части в указанных условиях.

Выполненные автором обследования дорог, траекторий и режимов движения автомобилей в неблагоприятные периоды года при различных состояниях покрытия и обочин [9] позволяют сделать вывод, что в этих условиях в момент встречи двух автомобилей в одном сечении дороги зазор безопасности от кромки проезжей части до колеса автомобиля примерно равен половине зазора безопасности между кузовами встречных автомобилей, а зависимость зазоров от скорости (в интервале 0—1,8 м) для расчетного автомобиля

$$x + y = 0,02u, \quad (4.5)$$

где u — средняя скорость двух встречных автомобилей, км/ч.

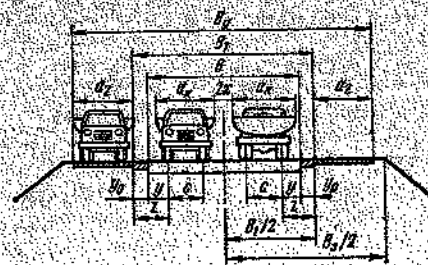


Рис. 4.3. Схема расчета ширины укрепленной поверхности дороги

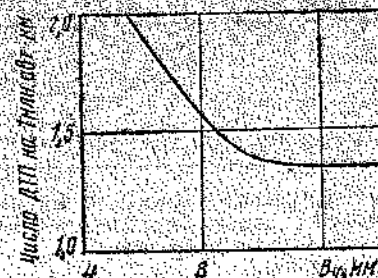


Рис. 4.4. Зависимость относительной аварийности от ширины укрепленной поверхности (данные США)

С учетом этого формула для определения ширины проезжей части двухполосных дорог имеет вид

$$B = a_k + c + 0,04v. \quad (4.6)$$

Расчет ширины укрепленной поверхности с учетом погодноклиматических и психологических факторов. Исследования и наблюдения показали, что при назначении ширины проезжей части следует учитывать психологическое воздействие на водителя состояния обочины, сформировавшегося под влиянием погодноклиматических факторов. Из-за неукрепленных обочин в период дождей загрязняется покрытие и сокращается его эффективная ширина. Зимой на кромках образуются полосы наката и обледенения, что также уменьшает эффективную ширину проезжей части и вынуждает снижать скорость.

Следовательно, с точки зрения максимальных скоростей, укрепление краевых полос и обочин равноценно увеличению ширины проезжей части. Укрепленная обочина выполняет две очень важные функции: создает психологическую уверенность водителя в безопасности случайного съезда на обочину на высокой скорости и допускает остановку и кратковременную стоянку без помехи транспортному потоку. Исходя из этого предлагается схема определения необходимой ширины укрепления поверхности дороги (рис. 4.3), которая учитывает всю ширину коридора, оказывающего психологическое воздействие на водителя при выборе траектории и режима движения.

Можно выделить три зоны по ширине дороги: полоса постоянного движения автомобилей шириной $B/2$ для одного направления; полоса, используемая для случайных выездов при отклонении от основной траектории движения шириной $y_0 = B/2 - B/2$; полоса для размещения автомобиля в случае вынужденной остановки шириной a_1 .

Психологический коридор включает прикромочную полосу проезжей части шириной y и прикромочную полосу обочины шириной

Таблица 4.2

Период года	Характерное состояние		Средние зазоры легковых автомобилей, см, при движении		Средние зазоры грузовых автомобилей, см, при движении	
	Покрытие	Обочины	свободном	встречном	свободном	встречном
Зима	Частично заснежено	Покр. снегом	150	90	105	60
	Покр. гололедом	Покр. снегом	210	120	120	100
Лето	Чистое сухое	Неукрепленные сухие	115	85	75	55
	Мокрое	Неукрепленные грязные	140	90	130	65
Весна	Сухое	Неукрепленные грязные	160	100	130	70
Осень	Мокрое грязное	Неукрепленные, грязные, разбитые	180	100	150	80

y_0 . Общая ширина укрепленной полосы от внешнего колеса автомобиля, необходимая для уверенного управления,

$$z = y + y_0. \quad (4.7)$$

Оценивая тип укрепления, размер и состояние этой части поверхности дороги вместе с оценкой полосы движения, водитель выбирает траекторию и режим движения автомобиля. Наблюдения показывают, что водители стремятся сохранить между правым колесом и неукрепленной обочинной полосой чистой укрепленной поверхности дороги шириной 1—1,8 м и при скоростях 40—120 км/ч (табл. 4.2). Для обеспечения расчетной скорости ширина этой полосы должна быть не менее 1,5 м.

Установлена корреляционная зависимость ширины укрепленной полосы поверхности дороги, которую водитель оставляет свободной от правого колеса до границы укрепленной поверхности, от скорости

$$z = 0,85 + 0,01v. \quad (4.8)$$

Следовательно, чем шире проезжая часть, тем больший зазор y она обеспечивает и тем меньшая часть укрепленной обочины y_0 необходима для уверенного управления автомобилем. И, наоборот, чем шире укрепленная краевая полоса, тем вероятнее возможность

для уверенного управления автомобилем и тем меньше полоса проезжей части (y) требуется для этого, т. е. тем меньше ширина проезжей части.

Расчеты и наблюдения [9] показывают, что для высоких скоростей двухполосная дорога должна иметь укрепленную поверхность шириной 8,5—8,9 м, включающую проезжую часть и обочины. Эти условия соблюдены на многих дорогах с проезжей частью шириной 7—7,5 м и укрепленными краевыми полосами шириной 0,5—0,75 м, а также на дорогах с укрепленными обочинами.

Исследования влияния ширины укрепленной поверхности двухполосных дорог на аварийность, проведенные на дорогах США [62], показывают, что с увеличением ширины укрепленной поверхности дороги от 5 до 9 м относительная аварийность быстро снижается (рис. 4.4). При дальнейшем росте этой ширины относительная аварийность остается на одном уровне. Это подтверждает гипотезу о наличии психологически необходимого коридора безопасности.

С учетом исследований можно предложить формулы для определения основной ширины укрепленной поверхности (без остановочных полос):

для двухполосной дороги при встрече двух одинаковых автомобилей

$$B_1 = a_{k1} + c_1 + 2x + 2z, \text{ или } B_1 = a_{k1} + c + 0,5 + 0,04v; \quad (4.9)$$

то же, при встрече разных автомобилей

$$B_1 = \frac{a_{k1} + c_1 + a_{k2} + c_2}{2} + 2x + 2z,$$

$$\text{или } B_1 = \frac{a_{k1} + c_1 + a_{k2} + c_2}{2} + 0,5 + 0,02(v_1 + v_2). \quad (4.10)$$

Ширина укрепленной поверхности (без остановочных полос) для одного направления двухполосной проезжей части автомобильной магистрали

$$B_1 = \frac{a_{k1} + c_1 + a_{k2} + c_2}{2} + 2Д + 2z; \quad (4.11)$$

$$Д = 0,25 + 0,005v; \quad (4.12)$$

При движении различных автомобилей по полосам

$$B_1 = \frac{a_{k1} + c_1 + a_{k2} + c_2}{2} + 1,0 + 0,015(v_1 + v_2). \quad (4.13)$$

При движении одинаковых автомобилей по полосам

$$B_1 = a_{k1} + c + 1,0 + 0,03v. \quad (4.14)$$

В проекте дороги должны быть предусмотрены параметры проезжей части, краевых укрепленных полос и обочин, при любой погоде сохраняющие чистой укрепленную поверхность шириной не менее значений, полученных по формулам (4.11)—(4.14) с учетом принятого в расчете уровня обеспеченности расчетной скорости.

Участки дороги	Период года	Суженные поверхности, м, укрепленной			
		свежем (гравием)	засеком травой	без укрепления	устойчивой бордюром высотой 7
Прямые	Зимний	0,2—0,4	0,2—0,75	0,2—0,75	3÷8h
		0,4—0,6	0,4—1,0	0,4—1,0	6÷12h
	Осенне-весенний	0,1—0,3	0,1—0,3	0,1—0,5	3h
		0,2—0,4	0,4—0,6	0,6—0,8	6h
Кривые в плане радиусом < 600 м	Зимний	0,3—0,5	0,3—0,5	0,4—0,6	3÷8h
		1,2—1,8	1,2—1,8	1,2—2,0	6÷12h
	Осенне-весенний	0,1—0,3	0,1—0,3	0,1—0,5	3h
		0,2—0,4	0,4—0,6	0,6—0,8	6h
Оборудованные ограждениями, направляющими столбиками, тумбами или парапетами	Зимний	0,3—0,5	0,3—0,5	0,4—0,6	3÷8h
		0,5—1,0	1,2—1,8	1,2—1,8	6÷12h
	Осенне-весенний	0,1—0,3	0,1—0,3	0,1—0,5	3h
		0,3—0,8	0,5—1,0	1,0—1,5	6h

Примечания. 1. В числителе приведены значения для дорог I—II категорий, а знаменателе для III и IV категорий.

2. При 100%-ном оснащении дорожно-эксплуатационных организаций машинами и оборудованием для содержания в текущем ремонте ширину полосы загрязнения принимают равной 0, при 60—80% оснащённости принимают средние значения, а при оснащении менее 50% — максимальные.

3. При устройстве покрытия на всю ширину обочин из асфальтобетона, цементобетона или из материалов, обработанных вяжущими, ширина полос загрязнения принимается равной 0.

Поэтому проектная ширина укрепленной поверхности дороги должна быть больше расчетной на ширину загрязнения прикромочных полос в неблагоприятные периоды года. Ширина загрязнения зависит от погодных-климатических и грунтово-геологических условий района проложения дороги, типа конструкции укрепления обочин и уровня ее содержания (табл. 4.3).

Общая проектная ширина укрепленной поверхности

$$B_1' = B_1 + 2b_z, \quad (4.15)$$

где b_z — ширина полосы загрязнения, м.

Чтобы упростить проектирование и строительство дорог, целесообразно во всех зонах назначать ширину проезжей части для каждой категории дороги в соответствии со СНиП II-Д-5-72, а все изменения основной ширины укрепленной поверхности выполнять за счет краевой укрепленной полосы.

Таким образом, методика позволяет рассмотреть в едином комплексе все параметры поперечного профиля и выбрать их с уче-

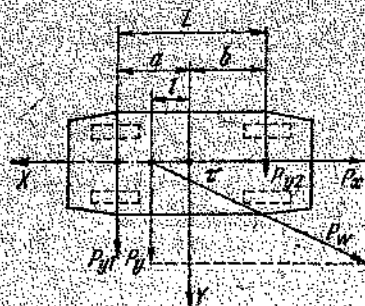


Рис. 4.5. Схема воздействия бокового ветра на автомобиль

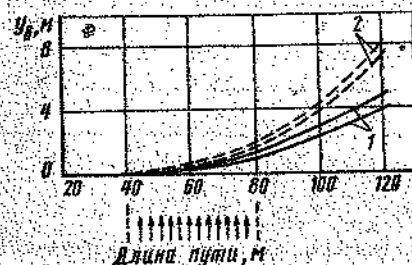


Рис. 4.6. Отклонение центра тяжести автомобиля при боковом ветре и блокированном рулевом управлении на скорости 100 км/ч (данные В. Н. Иванова):

1 — на вязком бетоне; 2 — на скользком покрытии (гололеди)

ком покрытия, возможна полная потеря управляемости автомобиля.

Размер отклонения зависит от скоростей автомобиля и ветра, площади боковой поверхности, массы и обтекаемости автомобиля, параметров плана и профиля дороги, особенно сцепных качеств и состояния поверхности качения (рис. 4.6).

Исследования приводят к выводу, что при расчете ширины укрепленной поверхности на прямых участках надо учитывать воздействие бокового ветра, если скорость автомобиля превышает 70—80 км/ч, поскольку при меньших скоростях воздействие ветра незначительно [11].

том погодно-климатических условий. При этом необходимо учитывать, что отсутствие краевой укрепленной полосы сокращает в сухой период года ширину коридора B , только на собственную ширину, а в осенне-весенний период приводит к сужению этого коридора не только на собственную ширину, но и на ширину загрязнения с каждой стороны.

Учет бокового ветра при определении ширины укрепленной поверхности. При назначении основной ширины укрепленной поверхности особое значение имеет учет ветрового воздействия на движущийся автомобиль. Боковой ветер силой P_w создает поворачивающий момент, поскольку поперечная боковая сила P_y приложена в центре боковой поверхности (в метациентре), а не в центре тяжести (рис. 4.5),

$$M_z = P_y l, \quad (4.16)$$

где l — расстояние от центра тяжести до метациентра, м.

Внезапный сильный порыв бокового ветра может отклонить автомобиль от заданного курса с выездом на встречную или соседнюю полосу движения или на обочину. Если это случится на скользком покрытии, возможна полная потеря управляемости автомобиля.

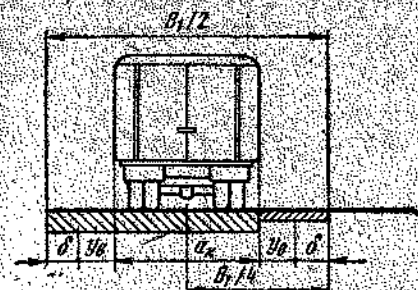


Рис. 4.7. Схема расчета ширины укрепленной поверхности с учетом воздействия бокового ветра

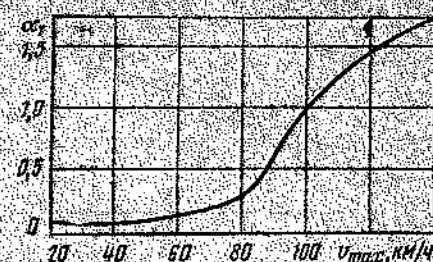


Рис. 4.8. Значения коэффициента α_1 , учитывающего скорость автомобиля

Требуемая ширина укрепленной поверхности дороги (без остановочных полос) с учетом воздействия ветра (рис. 4.7)

$$B_1 = 2a_k + 4y_a + 4b, \quad (4.17)$$

где y_a — отклонение траектории автомобиля под воздействием ветра, м; b — допустимое приближение автомобиля к границе полосы движения (принимается 0,2—0,3 м).

Отклонение автомобиля

$$y_a = \alpha_1 \alpha_2 t^3, \quad (4.18)$$

где α_1 — коэффициент, учитывающий скорость автомобиля (принимается по рис. 4.8); α_2 — коэффициент, учитывающий конструктивные характеристики автомобиля и скорость ветра; t — время реакции водителя на порыв ветра, с.

Значения коэффициента α_2 для легковых автомобилей принимают с учетом скорости порывов ветра:

Расчетная скорость ветра на уровне метациентра, м/с	10	20	30	40	50
Коэффициент α_2 для автомобилей:					
с передним расположением двигателя	0,3	0,55	0,65	0,75	0,80
с задним расположением двигателя	0,6	1,0	1,25	1,51	1,56

Определяя расчетную скорость ветра, учитывают положение дороги на местности и ее защищенность, порывистость ветра [9].

Возвышение метациентра легкового автомобиля над поверхностью земли

$$h = h_n + 0,75; \quad (4.19)$$

где h_n — высота насыпи, м.

Воздействие ветра надо учитывать, определяя ширину укрепленной поверхности на открытых участках, на участках, проходящих по водоразделам, открытым возвышенностям, на высоких насыпях, подходах к мостам и т. д. Боковое давление ветра учитывают и на участках, не защищенных лесом, проходящих в насыпях, в

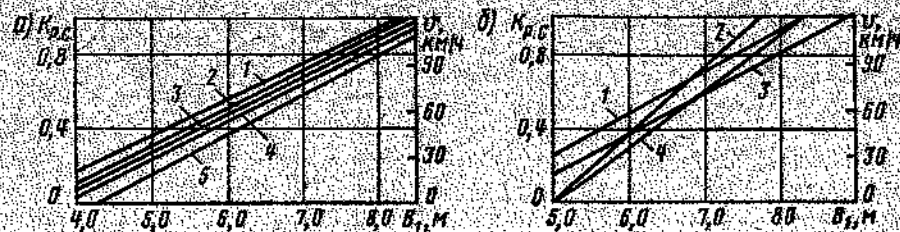


Рис. 4.9. Влияние ширины основной укрепленной поверхности на обеспеченность расчетной скорости:

а — на двухполосных дорогах; б — на автомобильных магистралях;
1 — ВАЗ-2103 + ВАЗ-2103; 2 — ГАЗ-24 + ГАЗ-24; 3 — ЗИЛ-130 (КАМАЗ) + ВАЗ-2103; 4 — ЗИЛ-130 (КАМАЗ) + ГАЗ-24; 5 — ЗИЛ-130 (КАМАЗ) + ЗИЛ-130 (КАМАЗ)

нулевых отметках, полунасыпях-полувыемках и в выемках глубиной до 1,5 м. Не учитывается воздействие ветра на участках, расположенных в лесу и выемках глубже 1,5 м.

Проверка обеспеченности расчетной скорости при разных состояниях поверхности дороги. Обеспеченность расчетной скорости шириной укрепленной поверхности проверяют для осенне-весеннего и зимнего периодов, поскольку летом при правильном содержании обочин вся укрепленная поверхность чистая и случайный выезд не опасен.

Максимальная скорость на двухполосной дороге при встрече двух легковых автомобилей

$$v_{\text{ф.макс}} = \frac{B_{10} - (a_k + e) - 0,5}{0,04}, \quad (4.20)$$

а коэффициент обеспеченности расчетной скорости

$$K_{p.c} = \frac{B_{10} - (a_k + e) - 0,5}{4,8}. \quad (4.21)$$

При встрече легкового и грузового автомобилей максимальная скорость легкового автомобиля

$$v_{\text{ф.макс}} = \frac{B_{10} - 0,5(1 + a_{k_1} + e_1 + a_{k_2} + e_2) - 0,02v_2}{0,02}, \quad (4.22)$$

а коэффициент обеспеченности расчетной скорости

$$K_{p.c} = \frac{B_{10} - 0,5(1 + a_{k_1} + e_1 + a_{k_2} + e_2) - 0,02v_2}{2,4}, \quad (4.23)$$

где a_2 — скорость грузового автомобиля (принимает равной 80—90 км/ч).

Результаты расчетов по этим формулам приведены на рис. 4.9. На ветроопасных участках максимально допустимую безопасную скорость определяют из равенства фактического отклонения траектории расчетного автомобиля допустимому отклонению исходя из

ширины фактически используемой укрепленной поверхности (рис. 4.10), т. е. $U_{\text{ф}} = U_{\text{доп}}$.

Допустимое отклонение $U_{\text{доп}} = B_{10}/4 - \delta$. (4.24)

Затем определяют коэффициент α_1 , учитывающий скорость автомобиля при заданных скорости ветра и времени реакции водителя t :

$$\alpha_1 = U_{\text{доп}} / (a_2 t^2). \quad (4.25)$$

По графику (см. рис. 4.8) определяют максимально допустимую безопасную скорость автомобиля $v_{\text{ф.в}}$ и вычисляют коэффициент обеспеченности расчетной скорости.

4.2. НАЗНАЧЕНИЕ ШИРИНЫ И УКРЕПЛЕНИЯ ОБОЧИН

Функции и значение обочин. Из большого числа функций, которые выполняют обочины, следует выделить две главные с точки зрения обеспечения удобства и безопасности движения: отвод транспортных средств с проезжей части для временной остановки; обеспечение безопасного случайного съезда с проезжей части при невозможности движения по проезжей части.

Есть еще ряд важных функций обочин, к которым можно отнести отвод воды от дорожной одежды, создание упора для дорожной одежды, место для размещения ограждений, знаков, освещения, устройства объезда ремонтируемого участка и складирования материалов, для пешеходов и велосипедистов. Для этого обочины должны иметь ширину, при которой стоящие на них автомобили не будут мешать движению, и покрытие, позволяющее въезжать автомобилям на обочину с большой скоростью.

При решении вопроса об оптимальных размерах обочин рассматривают комплекс показателей, зависящих от их ширины. При увеличении ширины обочины: сокращается число дорожно-транспортных происшествий, связанных с выездом автомобилей за пределы земляного полотна; создается резерв для расширения проезжей части; обеспечивается возможность пропуска автомобилей, складирования материалов при ремонте дороги, вынужденной остановки автомобилей вне пределов проезжей части.

Вместе с тем возрастает площадь сельскохозяйственных угодий, занимаемых дорогой. Увеличиваются объем земляных работ, строительная стоимость дороги.

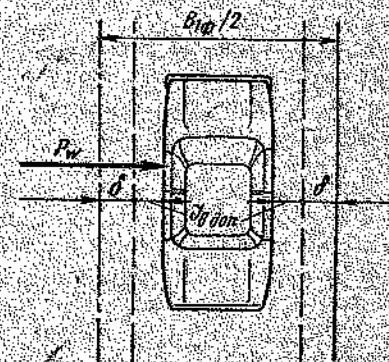


Рис. 4.10. Схема проверки обеспеченности расчетной скорости при фактической ширине проезжей части и боковом ветре

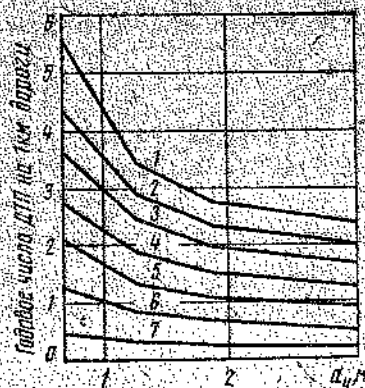


Рис. 4.11. Зависимость между частотой дорожно-транспортных происшествий при различной интенсивности движения и шириной укрепленной обочины (данные США):

1—7 — соответственно интенсивности движения 7000, 6000, 5000, 4000, 3000, 2000, 1000 авт/сут

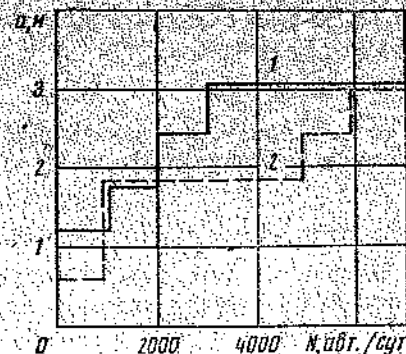


Рис. 4.12. Оптимальная ширина обочины для различной интенсивности и скорости:

1 — скорость 96 км/ч;
2 — то же, 48 км/ч

затраты на ремонт и содержание, на снегоочистку, объем работ по устройству морозозащитных и дренажных слоев, которые, как правило, сооружаются на всю ширину земляного полотна, площадь поверхности дороги, через которую влага может проникать в земляное полотно.

Затрудняется перенос снега через дорогу.

Без тщательного анализа этих факторов нельзя получить оптимального решения по выбору ширины обочины. Более того, это решение далеко не всегда однозначно, поскольку на режим и безопасность движения влияет не только ширина обочины, но и ее состояние, и сегодня трудно сказать, какая из этих составляющих влияет больше.

Конструктивные элементы обочины. По ширине обочину можно разделить на три характерные части (см. рис. 4.1): краевую укрепленную полосу для случайных наездов автомобилей; остановочную полосу для вынужденной остановки автомобилей; приобочную полосу.

Установлено, что с увеличением ширины укрепленной обочины число дорожно-транспортных происшествий сокращается. Наиболее резко их число сокращается при уширении укрепленной полосы на первые 0,6 м (рис. 4.11). Дальнейшее уширение укрепленной обочины значительно меньше влияет на снижение числа происшествий. Обращает на себя внимание тот факт, что при интенсивности движения до 2000 авт/сут ширина укрепленной обочины практически не влияет на число происшествий. Это можно объяснить тем, что при такой интенсивности встречные автомобили редки и размещаются ближе к осевой линии.

В США установлена рекомендуемая ширина обочины для различной интенсивности и скорости движения (рис. 4.12).

Для обеспечения безопасного и удобного движения автомобилей на дорогах с высокой интенсивностью движения ширину укрепления обочины обычно назначают как сумму ширины краевой укрепленной полосы и остановочной полосы, т. е. остановочную полосу отделяют от проезжей части краевой укрепленной полосой.

В этом случае ширина укрепления обочины

$$a_y = a_1 + a_2. \quad (4.26)$$

Ширина укрепленной краевой полосы

$$a_1 = (B_1 - B)/2. \quad (4.27)$$

Во многих случаях в целях экономии затрат на укрепление обочины ширину краевой укрепленной полосы включают в остановочную полосу, которая в этом случае состоит из: краевой укрепленной полосы, способной выдерживать периодические наезды автомобилей; укрепленной части обочины, которая в состоянии выдерживать остановку тяжелых грузовых машин в любое время года.

Так, по французским нормам максимальная ширина обочины равна 3,25 м. В эту ширину входит стояночная полоса шириной 2,5 м. Ее устраивают, если проезжая часть не менее 12 м, а также при ширине проезжей части 6—10,5 м, если анализ выявляет целесообразность и экономическую выгоду такого решения. Во многих случаях стояночная полоса не устраивается, и ширина обочины составляет 0,5—0,75 м.

Учитывая габариты автомобилей, ширина остановочной полосы не должна быть меньше 2,5 м. Тогда условием обеспечения безопасности движения будет $a_y \geq a_k$.

Ширина дополнительной укрепленной полосы для создания остановочной полосы

$$a_2 = a_k - a_1. \quad (4.28)$$

Ширина обочины, параметры ее конструктивных элементов, особенно краевых полос, имеют тем большее значение, чем продолжительнее неблагоприятные осенне-весенний и зимний периоды, вероятнее выпадение дождя, снегопада или появление метели. В эти периоды эффективность укрепления обочины проявляется во много раз больше, чем в сухое летнее время. Поэтому окончательное решение о ширине краевых укрепленных полос и обочины должно приниматься на основании технико-экономических расчетов с учетом влияния климата и погоды, интенсивности и состава движения (табл. 4.4).

Технико-экономические расчеты показывают, что во многих случаях в районах с зимним расчетным периодом экономически эффективно укреплять всю обочину, включая приобочную полосу, особенно на участках, где предусматривается установка железобетонных или металлических ограждений. В этом случае ширина укрепления обочины

$$a_{y,0} = a_1 + a_2 + a_3. \quad (4.29)$$

Таблица 4.4

Категория дороги	Ширина проезжей части, м	Ширина укрепленной краевой полосы, м, в районах по условиям движения		
		I	II	III
II	7,5 7,0	0,5 0,75	0,5 0,75	0,3—0,5 0,5
III	7,5 7,0	0,3—0,5 0,5—0,75	0,3—0,5 0,5	0,2—0,5 0,3—0,5
IV	6,0	0,5	0,5	0,3—0,5

Примечания. 1. В подзоне IB ширина краевой укрепленной полосы принимается по максимальному значению. В остальных случаях она может быть уточнена технико-экономическими расчетами.

2. Ширина краевой укрепленной полосы дорог I категории во всех случаях 0,75 м.

В районах с сухим, жарким климатом (кроме участков земляного полотна на сыпучих песках) достаточна краевая укрепленная полоса небольшой ширины, поскольку остановка автомобиля вполне возможна на сухой уплотненной обочине.

Выбор конструкции одежды на краевых укрепленных полосах. Для обеспечения безопасности движения покрытие краевой полосы и укрепленной обочины целесообразнее устраивать из материалов, заметно отличающихся по цвету и внешнему виду от покрытия проезжей части. Это позволяет водителям ориентироваться в дневное и ночное время. Покрытие краевых укрепленных полос и остановочных полос может быть однотипным с покрытием проезжей части, но с обязательным устройством краевой разметки из термопластика, краски или других разметочных материалов.

Существуют разные технологические способы устройства краевых укрепленных полос и обочин, которые необходимо учитывать в проекте дороги. При строительстве новых дорог одежду на краевых полосах часто принимают одинаковой с одеждой проезжей части, что очень удобно технологически. Практически в этом случае все слои основания и покрытия сразу устраиваются на общую ширину проезжей части и краевых полос, затем краевые укрепленные полосы отделяются от проезжей части разметкой.

При очередном ремонте дополнительные слои износа или защитные слои покрытия также строят на общую ширину и одинаковой толщины. Недостаток этого способа — перерасход дорожно-строительных материалов, а также одинаковый цвет и внешний вид покрытия как на проезжей части, так и на укрепительных полосах.

Другой способ — строительство одежды на краевых полосах, которая по толщине, материалу и внешнему виду отличается от одежды проезжей части. Такие конструкции закладывают в проектах строительства дорог, но особенно часто их используют в проектах

реконструкции и капитального ремонта существующих дорог. Этот способ позволяет экономить материалы, строить одежду укрепленных полос, отличающуюся по цвету и внешнему виду от дорожной одежды проезжей части, но сложнее технологически.

Остановочные полосы могут иметь различные покрытия, в том числе одинаковые с проезжей частью, или из связанных и местных щебеночных (гравийных) материалов, а также из грунтов, укрепленных вяжущими.

В настоящее время на вновь строящихся дорогах ежегодно укрепленные краевые полосы и обочины строят на протяжении 3—5 тыс. км и на протяжении 10—15 тыс. км существующих дорог. На это расходуются значительные объемы дорожно-строительных материалов, в том числе цемент и битум. Поэтому важное значение приобретает экономия ресурсов за счет правильного выбора параметров укрепленных краевых полос и обочин, конструкция которых должна обосновываться расчетом. Методы расчета толщины дорожной одежды краевых укрепленных и стояночных полос разработаны в Гипродорнии канд. техн. наук Ю. Р. Перковым [39, 54].

Критерием соответствия конструкции укрепления условиям движения служат неравенства:

$$E_{тр}^I < E_{обш}^I; E_{тр}^{II} < E_{обш}^{II},$$

где $E_{тр}^I, E_{тр}^{II}$ — требуемые модули упругости дорожной одежды на краевой укрепленной и остановочной полосах; $E_{обш}^I, E_{обш}^{II}$ — модули упругости, полученные в результате расчета.

Важный момент при расчете — назначение и выбор материала покрытия укрепленной полосы или всей обочины, поскольку число наездов на краевую полосу во многом зависит от сходства внешнего вида покрытия проезжей части и краевой полосы. Поэтому первым этапом конструирования и расчета является выбор типа и материала покрытия краевой укрепленной полосы.

Требуемый модуль упругости краевой укрепленной полосы устанавливают в зависимости от числа наездов, приведенных к расчетному автомобилю $N_{ар}^n$ на краевую укрепленную полосу для трех типов покрытий (рис. 4.13):

из асфальтобетона, цементобетона, битумо-минеральных смесей, приготовленных в установке и других конструкций, относящихся к усовершенствованным покрытиям капитального типа;

из битумо-минеральных смесей, щебеночных и гравийных материалов, построенных способами пропитки и полупропитки, из

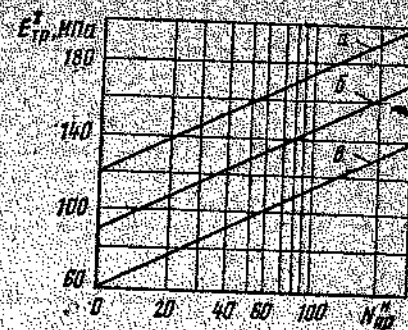


Рис. 4.13. Номограмма для расчета требуемого модуля упругости краевой укрепленной полосы (по Ю. Р. Перкову):

a—б— модули упругости $E_{тр}^I$ в зависимости от вида материалов, используемых в верхнем слое укрепления

Таблица 45

Интенсивность движения, авт/сут	Значение коэффициента А при ширине проезжей части, м							
	7,0	7,5	10,5	>10,5	7,0	7,5	10,5	>10,5
	Покр. обочин по виду аналогично покрытиям усовершенствованного типа				Покр. обочин по виду отличается от покрытий усовершенствованного типа			
2000	0,006							
3000	0,012	0,004	0,003	0,003	0,003			
4000	0,02	0,008	0,004	0,0035	0,004	0,003		
5000	0,03	0,012	0,005	0,004	0,005	0,004	0,002	
6000	0,04	0,016	0,007	0,005	0,007	0,005	0,003	
7000	0,055	0,020	0,01	0,007	0,01	0,007	0,004	0,002
8000	—	0,035	0,02	0,012	0,012	0,01	0,06	0,003
9000	—	0,05	0,03	0,018	0,02	0,02	0,009	0,004
10 000	—	—	0,04	0,024	0,04	0,03	0,015	0,006
>10 000	—	—	0,05	0,035	—	—	0,02	0,01

Примечания. 1. Для интенсивности движения и ширины проезжей части, расположенных выше верхней ограничительной линии, расчет ведется при коэффициенте А = 0,001.

2. При значениях коэффициента, расположенных ниже нижней ограничительной линии, целесообразно уширение проезжей части, так как в этих случаях требуются очень мощные конструкции укрепленных полос.

песчаных и супесчаных грунтов, обработанных цементом с битумной эмульсией смещением в установку, а также других грунтов, укрепленных вяжущими;

из грунтощебня (грунтогравия), шлака, отходов камнедробления и других несвязных материалов.

Число приведенных к расчетному автомобилю наездов на крайнюю укрепленную полосу:

$$N_{пр}^R = N_p A_i \quad (4.30)$$

$$N_p = N_0 q_k^T \quad (4.31)$$

где N_p — расчетная перспективная интенсивность движения автомобилей по дороге к моменту капитального ремонта краевой укрепленной полосы или дороги, авт/сут; А — коэффициент, учитывающий число наездов, приведенных к расчетному автомобилю на крайнюю укрепленную полосу (табл. 45);

N_0 — фактическая (запланированная) интенсивность на момент строительства укрепленных полос, авт/сут; q_k — коэффициент роста интенсивности движения; Т — межремонтный срок службы до капитального ремонта покрытия краевой укрепленной полосы или ближайшего капитального ремонта дороги, лет.

Число и толщина слоев укрепления в значительной степени зависят от характеристик грунтов земляного полотна и условий их увлажнения, которые, в свою очередь, зависят от климата района проложения дороги, укрепления обочин.

В проектах могут быть использованы различные материалы для укрепления обочин: сборный и монолитный цементобетон, асфальтобетон, черный щебень (гравий), обработанные различными вяжущими щебеночные (гравийные) материалы и грунты, щебеночные (гравийные) и другие несвязные материалы, грунтощебеночные и грунтогравийные смеси и т. д.

В последние годы для укрепления обочин в зонах с повышенным увлажнением применяют армирующие материалы, которые способны воспринимать растягивающие усилия. Их закладывают под слой укрепления, если он из несвязных материалов и грунтов, или на границе между слоями укрепления, если оба слоя выполнены из связного материала, укладываемого в горячем виде, или один из них из несвязного. При использовании для армирования обочин синтетических материалов тканого и нетканого типа расчетные модули упругости грунта или материала ниже лежащего слоя можно повысить на 20% за счет восприятия и распределения нагрузки прослойкой синтетического материала.

Еще одним важным моментом при проектировании обочин в районах с большим количеством осадков (дождь, мокрый снег) является необходимость защиты грунтов обочин от воздействия поверхностной воды и от ее дальнейшего проникания в земляное полотно. Для этого в проекте необходимо предусматривать гидроизоляционную защиту обочин путем укладки асфальтобетона, устройства поверхностной обработки на верхнем слое укрепления обочин или устройства промежуточного щебеночного слоя, применения синтетических пленочных или пленкообразующих материалов из органических вяжущих, наносимых путем набрызга на основание нижнего слоя укрепления или другими методами.

Очередность укрепления обочин и устройства укрепленных полос. Укрепление краевых полос и обочин на больших протяжениях требует значительных затрат финансовых средств и материально-технических ресурсов. Поэтому, проектируя новые и реконструируя существующие дороги, целесообразно установить очередность выполнения этих работ, рассматривая при этом в комплексе влияние укрепленных обочин на безопасность движения и на обеспечение сохранности и работоспособности дорог.

По условиям обеспечения безопасности движения укрепление обочин целесообразно предусматривать в первую очередь на участках в пределах населенных пунктов, на подходах к пересечениям и примыканиям в одном уровне, на участках с необеспеченной видимостью, на кривых в плане минимального радиуса и меньше минимальных, участках с максимальными продольными уклонами, на съездах и въездах пересечений и примыканий дорог в разных уровнях и подходах к ним, на снегозаносимых, ветроопасных и туманоопасных участках.

Таблица 4.6

Группа грунта	Наименование грунта
А В С	Супеси легкие и непылеватые и оптимальные смеси Легкие и тяжелые непылеватые суглинки, глины Супеси пылеватые и тяжелые пылеватые, суглинки легкие пылеватые и тяжелые пылеватые

По условиям обеспечения сохранности и работоспособности автомобильных дорог укрепление обочин вначале целесообразно на участках, где интенсивность движения выше расчетной для данной категории, а грунтовые и климатические условия относятся к неблагоприятным, а затем на участках с любой интенсивностью, где грунтовые и климатические условия относятся к неблагоприятным.

В неблагоприятных грунтовых и климатических условиях, к которым относится 3-й тип местности по условиям увлажнения, при земляном полотне, сложенном из грунтов группы С (табл. 4.6), одновременно с укреплением обочин полезно предусматривать защиту земляного полотна от поверхностной воды, используя материалы, обеспечивающие прочность обочин и гидроизоляцию земляного полотна, или создавая влагонепроницаемые экраны.

В соответствии с этими рекомендациями [54] твердые покрытия из связных материалов на краевых и остановочных полосах обочин обязательно выполняют:

на дорогах I—III категорий в зоне населенных пунктов и на подходах к ним на протяжении не менее 100 м;

на участках между населенными пунктами дорог I категории, а также II и III категорий при интенсивности движения, превышающей расчетные значения для этих категорий;

на подходах к пересечениям и примыканиям в одном уровне на расстоянии не менее 100 м для дорог I и II категорий и не менее 50 и 25 м для дорог соответственно III и IV категорий с усовершенствованными типами покрытий;

на подходах к пересечениям и примыканиям в разных уровнях, где не предусмотрены переходно-скоростные полосы, на расстоянии от оси не менее 150 м;

в местах размещения пунктов общественного питания, торговли, технического обслуживания автомобилей;

на участках дорог II и III категорий между населенными пунктами, если требуемый модуль упругости дорожной одежды на остановочной полосе близок к требуемому модулю упругости дорожной одежды на краевой укрепленной полосе, т. е. непосредственно на въездах и съездах пересечений и примыканий в разных уровнях $E_n^{II} > 0,85 E_n^{I}$. Как исключение, в этих условиях обочины можно укреплять на ширину не менее 0,5—0,75 м.

Большое влияние на выбор ширины и конструкции укрепления обочин оказывают интенсивность и состав движения. Исходя из

прогноза изменения интенсивности движения могут быть намечены стадии укрепления обочин, когда на первом этапе используют щебень или гравий, а на последующих асфальтобетон или другие материалы.

4.3. ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ ШИРИНЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Анализ путей сокращения ширины элементов поперечного профиля. В настоящее время во всем мире идет активный поиск путей сокращения объемов земляных работ при строительстве дорог и площади земель, занимаемых ими. К числу таких путей можно отнести более обоснованное назначение отметок земляного полотна по условиям возвышения низа дорожной одежды над уровнем грунтовой или поверхностной вод, а также возвышения бровки земляного полотна над уровнем снежного покрова, разработка мер, предотвращающих попадание грунтовой и поверхностной воды в тело земляного полотна, устройство армирующих и прерывающих прослоек, увеличение крутизны откосов насыпей и выемок, замена высоких насыпей эстакадами, защита дорог от снежных заносов и т. д. Одним из направлений является уменьшение ширины земляного полотна за счет обочин, ширина которых на дорогах большинства стран меньше, чем на наших дорогах.

Так, в Румынии ширина обочин на дорогах II и III категорий принимается равной 1—1,5 м, включая краевую укрепленную полосу шириной 0,25—0,50 м.

В стандарте СЭВ 2791—80 на международные автомобильные дороги наименьшая ширина остановочной полосы, в которую входит и укрепленная полоса, принята равной 1,75 м для дорог II и 0,75 м III категорий. При этом наименьшая ширина обочины, укрепленной частично или полностью засевом трав, одерновкой или другими аналогичными методами, принимается 0,75—1,5 м (только в случае расположения ограждающих устройств безопасности по обеим сторонам дороги). Ограничена и ширина полосы движения.

Нормативными документами ГДР на проектирование дорог ТГЛ 11685/01 для междугородных дорог предусмотрены параметры, приведенные в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Класс дороги	Поперечный	Проезжая часть, м	Краевая полоса, м	Укрепленная поверхность, м	Обочина, м	Земляное полотно, м
II	8,5	7,5	0,5	8,5	1,5	11,5
II, III	8,0	7,0	0,5	8,0	1,5	11,0
III	7,5	7,0	0,25	7,5	1,5	10,5

Стандарт СЭВ 2791—80 «Автомобильные дороги международные. Основные технические требования и нормы проектирования дорог II и III категорий» предусматривает для расчетных скоростей до 100 км/ч ширину полосы движения 3,5 м, а проезжей части 7 м, а для расчетных скоростей 100 км/ч и более соответственно 3,75 и 7,5 м.

По французским нормам ширина полосы движения в сельской местности вне населенных пунктов обычно 3,5 м. Она может быть снижена до 3 м на двухполосных дорогах 2—4-й категорий и на четырехполосных дорогах 3—4-й категорий. На дорогах 3—4-й категорий с очень слабым движением ширина проезжей части может быть уменьшена до 5 м.

По американским нормам ширина полосы движения на всех автомобильных магистралях с полным ограничением въезда, скоростных магистралях и транзитных дорогах не превышает 12 футов (3,6 м). На местных дорогах и улицах минимальная ширина полосы движения равна 11 футам (3,35 м), а на дорогах с низкой интенсивностью движения и малым числом грузовых машин ширина полосы движения может быть 10 или даже 9 футов (3 или 2,7 м).

Возможная ширина земляного полотна. На дорогах СССР сокращение ширины земляного полотна в принципе во многих случаях возможно прежде всего за счет уменьшения ширины неукрепленной части обочины, поскольку состояние такой обочины в осен-

не-весенний периоды оказывает большее отрицательное влияние, чем ее недостаточная ширина. В этих случаях гораздо важнее устройство краевую укрепленную полосу, чем широкую, но неукрепленную обочину.

С учетом зарубежного опыта и анализа условий работы дорог в различных регионах СССР представляется возможным внести некоторые коррективы в нормативы проектирования поперечного профиля, направленные на снижение объемов земляных работ и сокращение площади занимаемых дорогами земель (табл. 4.8) и уменьшить ширину земляного полотна дорог II—IV категорий на 1—2 м по сравнению с нормами за счет уменьшения ширины неукрепленной части обочины. Уменьшать ширину проезжей части нецелесообразно.

Одновременно необходимо в правила дорожного движения включить требование о запрещении остановок и стоянок на обочинах и предусматривать в качестве обязательного элемента дороги площадки для вынужденных остановок и стоянок автомобилей, а также устройство краевых укрепленных полос на всем протяжении дорог I—IV категорий. Ширина этих полос должна назначаться с учетом категории дороги и погодно-климатических условий района ее проложения.

Для дорог II категории на участках подходов к крупным городам протяженностью 30—60 км целесообразно сохранить действующие нормативы ширины земляного полотна, поскольку на этих участках в перспективе интенсивность движения может превысить пропускную способность, что потребует уширения проезжей части до трех полос (рис. 4.14).

Аналогичное положение может наблюдаться на дорогах I категории, поэтому целесообразно сохранять широкие обочины как резерва для расширения проезжей части и пропуска движения во время ремонтных работ.

На дорогах III категории чрезвычайно редка перспектива роста интенсивности движения на подходах к городам с превышением пропускной способности двухполосной дороги: ведь ее параметры рассчитывают на 20-летнюю перспективу. Если расчетная интенсивность на эту перспективу для дорог III категории составляет 1000—3000 авт/сут, а пропускная способность двухполосной дороги в среднем в физических автомобилях превышает 6000—8000 авт/сут, то ясно, что необходимость устройства третьей полосы может возникнуть только через 40—60 лет после строительства дороги и нет необходимости омертвлять средства на столь длительный период.

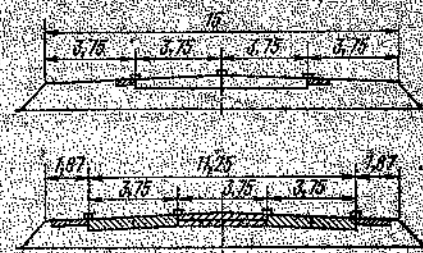


Рис. 4.14. Схема уширения проезжей части до трех полос

Таблица 4.8

Элемент поперечного профиля	Категория дороги							
	I		II		III		IV	
	СНП II-D.5-72	Предпочт.	СНП II-D.5-72	Предпочт.	СНП II-D.5-72	Предпочт.	СНП II-D.5-72	Предпочт.
Число полос движения	≥4	≥4	2	2	2	2	2	2
Ширина полосы движения, м:								
основной	3,75	3,75	3,75	3,75	3,5	3,5	3,0	3,0
дополнительной	3,75	3,50	3,50	3,50	3,5	3,5	—	—
Ширина проезжей части, м	≥15	≥14,5	7,5	7,5	7,0	7,0	6,0	6,0
Ширина обочины, м	3,75	3,75	3,75	3,00**	2,5	1,5—2	2,0	1,0
В том числе ширина краевой укрепительной полосы, м:								
в зоне I	0,75	0,75	0,75	0,50	0,5*	0,6	—	0,6
II	0,75	0,75	0,75	0,45	0,5*	0,5	—	0,5
III	0,75	0,75	0,75	0,35	0,5*	0,3	—	0,35
Наименьшая ширина разделительной полосы, м	5,0	5,0						
Общая ширина земляного полотна, м	≥27,5	≥27,0	15	13**	12	10—11	10	8

* Только для дорог с усовершенствованными покрытиями.

** За исключением участков подходов к городам.

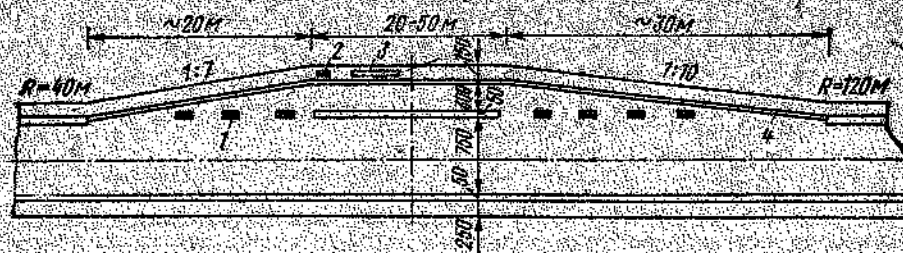


Рис. 4.15. Площадка для кратковременной или вынужденной остановки автомобилей.

1 — разметка; 2 — урка; 3 — скамейка; 4 — скрытый бордюр или крайняя полоса

Следует иметь в виду, что уменьшение ширины земляного полотна будет способствовать повышению снегонезаносимости дороги, поскольку при меньшей ширине снег легче переносится через земляное полотно. Его меньше приходится сбрасывать при снегоочистке.

Площадки для остановки автомобилей. Обязательным условием сокращения ширины неукрепленной части обочин дорог II—IV категорий является устройство площадок для остановок автомобилей вместо остановочных полос.

На дорогах с невысокой интенсивностью число остановок автомобилей на обочинах незначительно и отпадает необходимость создания сплошной остановочной полосы. Вместо этого на участках дорог II—IV категорий между населенными пунктами целесообразно устраивать площадки для остановки автомобилей [9] попарно с обеих сторон дороги так, чтобы они были сдвинуты одна относительно другой на 50—80 м и первой встречалась бы площадка по ходу движения (рис. 4.15). Расстояния между площадками, расположенными с одной стороны проезжей части, принимают равными 800—1000 м на дорогах II категории, 1500—2000 м на дорогах III и 3000—5000 м IV категории.

На дорогах многих стран появились такие площадки, называемые местами срочной остановки, «короткими остановочными полосами», местами вынужденной остановки и площадками для аварийной остановки. Они предназначены для срочного отвода транспортных средств с полосы движения из-за технических неисправностей или других причин. При этом длительность пребывания определяется продолжительностью устранения неполадок и может быть более 5 мин, что квалифицируется как стоянка транспортных средств. Во многих странах считают, что сплошное укрепление обочин шириной 2,5 м и более экономически неэффективно на большинстве дорог, а сплошную остановочную полосу шириной до 3,3 м (включая крайнюю разметку) на автомобильных магистралях целесообразно заменять аварийными стоянками.

Наблюдения, проведенные на Токийской автомобильной магистрали, показали, что при ширине обочины 1 м и интенсивности движения 48 000 авт./сут эффективность аварийные стоянки, расположенные на расстоянии 500 м одна от другой.

Частоту аварийных стоянок в различных странах рекомендуется принимать от 300 м до 6 км. Например, в НРБ их рекомендуется устраивать в шахматном порядке с обеих сторон дороги.

Интенсивность движения, тыс. авт./сут	до 2	2—4	4—6	> 6
Расстояние между стоянками, км	не устраивают	2	1	0,5

В Англии места для кратковременных остановок при интенсивности движения менее 900 авт./сут предложено размещать через 2 км, а при интенсивности 900—33 000 авт./сут через 1 км.

Во всех странах размеры стоянок принимают примерно одинаковыми: вместимость до 3 автомобилей, т. е. длиной 30—40 м, шириной 3 м и полосы отгона по 20—30 м или 1:10 на въезде и 1:7 на выезде.

Аварийные остановки не исключают необходимости устройства площадок для кратковременного отдыха и других сооружений технического и бытового обслуживания, но позволяют пересмотреть взгляды на строительство обочин автомобильных дорог. Нужны разнонаправленные исследования для определения экономически обоснованной ширины обочин и их конструктивных элементов в разных природно-климатических условиях, при различных интенсивностях движения и составах транспортного потока.

4.4. ПОПЕРЕЧНЫЙ УКЛОН ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

Значение поперечного уклона. Выбор поперечного уклона проезжей части производится на основе анализа условий взаимодействия колеса автомобиля с дорогой. На колесо автомобиля при движении по прямому участку с поперечным уклоном действует дополнительная боковая сила, пропорциональная поперечному уклону,

$$Y_k = G_k i, \quad (4.32)$$

где G_k — масса автомобиля, приходящаяся на колесо, кг; i — поперечный уклон, ‰.

Поперечная сила стремится сдвинуть автомобиль с дороги. Чтобы избежать этого, водитель поворачивает передние колеса под небольшим углом к направлению движения. В результате возникает боковой увод, приводящий к повышенному износу шины и увеличению расхода топлива [2, 25, 40]. Расчеты показывают, что при углах увода от 0,1 до 0,3°, вызываемых поперечным уклоном, износ шин увеличивается на 20—40%, а расход топлива до 10%. Кроме того, происходит неравномерное распределение массы по бортам автомобиля, которое вызывает неравномерный износ шин. Боковой крен создает определенные неудобства для пассажиров и водителей.

Таким образом, с точки зрения движения автомобиля в нормальных условиях сцепления поперечный уклон проезжей части на прямых участках имеет отрицательное влияние. Следовательно,

чем меньше поперечный уклон, тем меньше его отрицательное влияние. Наличие поперечного уклона усложняет многие расчеты и конструктивные решения.

Единственное требование, которое вынуждает устраивать поперечный уклон проезжей части, — необходимость обеспечения быстрого отвода воды с поверхности проезжей части. С этой позиции чем больше поперечный уклон, тем меньше вероятность образования слоя воды на покрытии, меньше его толщина и вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Необходимо подчеркнуть, что преимущества поперечного уклона проявляются только в периоды года с положительной температурой и тем ясственнее, чем больше выпадает жидких осадков. В остальные периоды и в остальных метеорологических условиях наличие поперечного уклона оказывает отрицательное влияние. Особенно оно ощутимо в зимний период, когда на покрытии имеется рыхлый или уплотненный снег, а также гололед. В этих условиях поперечный уклон способствует потере устойчивости автомобиля при движении, усложняет организацию борьбы с гололедом и снегоочистку.

Поперечный уклон в нормах принят одинаковым для всех дорожно-климатических зон. Такой подход нельзя считать обоснованным, поскольку вероятность метеорологических явлений, при которых возникает слой воды на покрытии, и продолжительность периодов, в течение которых поперечный уклон проезжей части действительно выполняет свои функции, изменяется на территории страны в 3—5 раз и составляет 2—10% годовой продолжительности.

Таким образом, 90—98% времени поперечный уклон проезжей части оказывает только отрицательное влияние и тем большее, чем больше этот уклон. Поэтому закономерна постановка вопроса о дифференцированном подходе к назначению размера поперечного уклона с учетом климатической зоны и в зависимости от суммарной продолжительности действия и последствия жидких и смешанных осадков, их интенсивности, соотношения длительности периодов с положительными и отрицательными температурами воздуха.

Положительное и отрицательное влияние поперечного уклона отражается на дороге (ее конструкции, стоимости, удобстве эксплуатации) и на транспортном потоке (скорости и безопасности движения) не однозначно, поэтому следует считать, что поперечный уклон может быть различным в одном и том же районе на дорогах с разной интенсивностью движения.

Анализ норм и методов проектирования дорог показывает, что влияние факторов климата и погоды на размер поперечных уклонов проезжей части учитывается во всех странах, но недостаточно дифференцированно и обоснованно. Поперечные уклоны на двукатном поперечном профиле назначают с учетом типа покрытия: от 15‰ для цементно- и асфальтобетонных покрытий до 40‰ для грунтовых дорог независимо от района проложения.

О необходимости дифференцировать требования к размеру поперечного уклона проезжей части свидетельствуют материалы XV Международного дорожного конгресса, в которых приведены многочисленные исследования влияния параметров дороги и интенсивности осадков на толщину слоя воды, коэффициент сцепления, на число дорожно-транспортных происшествий [63, 65].

Считается, что при поперечном уклоне 25‰ достигается оптимальная толщина водной пленки, вызывающей аквапланирование и уменьшение коэффициента сцепления. Рекомендуется выбирать большее из допустимых значений поперечного профиля при продольном уклоне дороги менее 5 и более 20‰, чтобы избежать образования длинных водных дорожек на проезжей части.

Таким образом, по отечественным и зарубежным источникам максимальный поперечный уклон (чтобы предотвратить «сползание» автомобиля с проезжей части) принимается не более 40‰.

Учет климатических условий при совместном проектировании поперечного уклона, ширины и шероховатости покрытия. Теоретически для идеально ровной поверхности толщина слоя воды в любой точке поперечного профиля определяется интенсивностью дождя, расстоянием от начала стока до рассматриваемой точки, шероховатостью, суммарным уклоном покрытия [10, 65].

Учет интенсивности осадков необходим, потому что от их интенсивности зависит толщина слоя воды на покрытии (в миллиметрах):

$$h = at_c, \quad (4.33)$$

где a — интенсивность дождя, мм/мин; t_c — продолжительность стекания воды, мин.

Для уменьшения толщины слоя воды на покрытии одним из первых решений является подбор его структуры, т. е. шероховатости с учетом быстрого отвода воды из зоны контакта колеса с покрытием. Шероховатость дает значительный эффект в широком диапазоне интенсивности дождя и только при ливнях очень высокой интенсивности (более 30—40 мм/ч) крупная шероховатость

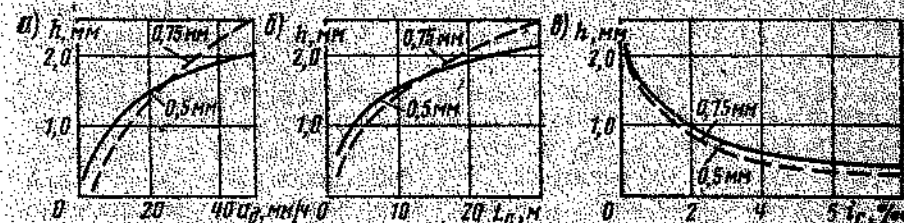


Рис. 4.16. Зависимость толщины слоя воды от интенсивности дождя, длины и уклона стока при высоте шероховатости покрытия 0,5 и 0,75 мм.

a — длина стока $L_c = 10$ м, уклон стока $i_c = 20‰$; $б$ — уклон стока $i_c = 20‰$, интенсивность дождя $a = 20$ мм/ч; $в$ — интенсивность дождя $a = 20$ мм/ч, длина стока $L_c = 10$ м.

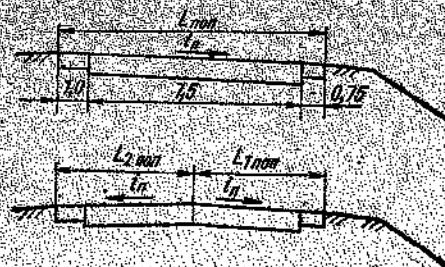


Рис. 4.17. Сокращение длины стока путем устройства двухскатного поперечного профиля

продольного уклона. Наконец, одним из самых действенных путей сокращения длины участка стока воды и увеличения ее скорости является увеличение поперечного уклона проезжей части. Таким образом, проектировщик располагает комплексом мер, сочетая которые, можно во многом сократить длину участка стока воды, увеличить ее скорость и уменьшить толщину слоя воды на покрытии.

Расчет толщины слоя воды на покрытии выполняют по методике, предложенной канд. техн. наук М. В. Немчиновым [35], в которой учитывается интенсивность дождя, длина участка стока, продольный и поперечный уклоны проезжей части, шероховатость покрытия. Расчеты позволяют учесть характеристики осадков по данным ближайшей метеорологической станции, принятую в проекте конструкцию проезжей части, тип и шероховатость покрытия.

Анализ расчетов позволяет сделать вывод, что из условий стока воды с покрытия поперечный уклон, равный 15—20‰, минимально допустим для асфальто- и цементобетонных покрытий при ширине односкатной части 3—4 м. На многополосных дорогах, проектируемых для высоких скоростей, при ширине односкатной проезжей части более 4—6 м целесообразно увеличивать поперечный уклон, начиная со второй-третьей полосы движения.

Необходимость увеличения поперечного уклона подтверждается опытом эксплуатации дорог в Англии и ФРГ, где поперечные уклоны при двухполосной односкатной проезжей части принимаются не менее 20—25‰.

Представляется целесообразным внести изменения в практику проектирования дорог I категории с отдельными проезжими частями. В настоящее время поперечный уклон этих дорог назначается, как правило, односкатным. Это приводит к увеличению количества воды, стекающей с покрытия во время дождя и мокрого снега, а также зимой при использовании химических реагентов для борьбы с гололедом. Наблюдения за эксплуатацией дорог показывают, что наличие односкатного уклона приводит к длительному увлажнению и загрязнению левой полосы движения во время дождей и таяния снега. Исходя из этого целесообразно назначать дву-

терять свои преимущества, как и при длине стока воды более 15—20 м (рис. 4.16). Второе решение — сокращение длины участка стока воды по покрытию. Так, на многополосных дорогах длина участка стока может быть значительно сокращена, если вместо односкатного поперечного профиля проезжей части запроектировать двухскатный (рис. 4.17). Еще один путь сокращения длины участка стока — уменьшение

Таблица 4.9

Категория дороги	Число полос и вид поперечного профиля	Поперечный уклон, ‰, в зависимости от климатической зоны				
		Ia	Ib	IIa	II	III
I с отдельными проезжими частями	При двухскатном профиле	15	20	20	20—25	15
	При односкатном профиле:					
	1-я полоса	15	15	20	20	15
	2-я "	15	20	20	20	15
	3-я "	20	25	25	25	20
	4-я и последующие полосы	20	25	25	25	20
II—IV	При продольных уклонах до 30—40‰	15	20	20	20—25	15
	При продольных уклонах более 40‰	10	20	20—25	25	15

скатным поперечный профиль проезжей части дорог I категории, при котором указанные недостатки исключаются.

Назначая поперечный уклон, необходимо учитывать также работу дорог зимой, когда увеличение поперечного уклона способствует снижению устойчивости автомобиля при снегопаде, снежном накате и гололеде, особенно на крутых подъемах и спусках. Это налагает существенные ограничения на размер поперечного уклона [9]. В районах с засушливым, жарким климатом, где осадки редки и покрытие быстро высыхает, поперечный уклон также может быть уменьшен. Для асфальто- и цементобетонных покрытий рекомендуемые поперечные уклоны приведены в табл. 4.9.

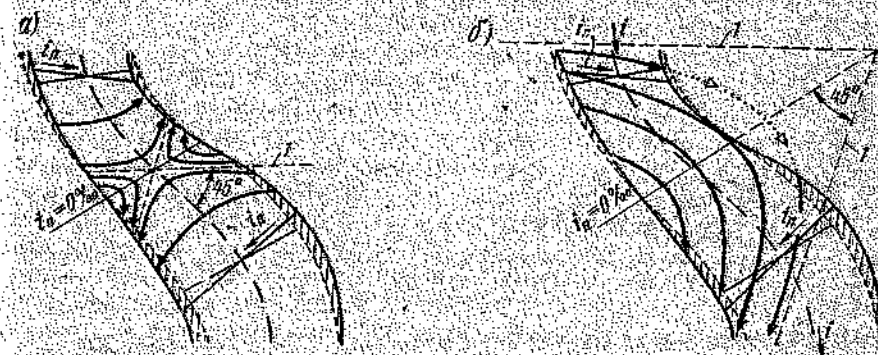


Рис. 4.18. Сток дождевой воды по проезжей части с изменяющимся поперечным уклоном:

a — участок с продольным уклоном $i=0$; б — участок с продольным уклоном, превышающим дополнительный уклон ($i > \Delta i$); i — асимптота

При проектировании водоотвода с поверхности дороги особого внимания заслуживают участки отгона выражей, на которых происходит перемена знака поперечного уклона в случае разных сочетаний с продольными уклонами. Для таких участков необходимо составлять детальную схему отвода воды с поверхности и предусматривать меры, исключаящие ее накопление и застой (рис. 4.18). Сток на участках с переменным поперечным уклоном происходит по гиперболам, стремящимся к своим асимптотам.

4.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРИВЫХ В ПЛАНЕ С УЧЕТОМ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГ И БОКОВОГО ВЕТРА

Условия движения на кривых. При проектировании дорог радиусы кривых в плане назначают исходя из устойчивости автомобиля против заноса. Важную роль в этом случае играет поперечный коэффициент сцепления, принятый за расчетный.

Наблюдения показали, что на кривых малых радиусов и сухом покрытии коэффициент поперечной силы μ , равный используемой части коэффициента поперечного сцепления φ_2 , достигает у наиболее быстроходных автомобилей весьма высоких значений [14]. Так, для скоростей, соответствующих 95%-ной обеспеченности, значения μ достигали 0,48 у легковых автомобилей и 0,41 — у грузовых (рис. 4.19). Такая большая доля использования поперечного сцепления возможна и безопасна только при хорошей шероховатости и ровности покрытия и его сухом состоянии. Наибольшие значения коэффициента поперечной силы, характерные для наблюдаемых средних скоростей, также высоки и достигают 0,25—0,28.

Таким образом, при надежном сцеплении колес с покрытием водители не опасаются заноса и идут на значительное снижение удобства движения, сохраняя высокую скорость на кривых малого радиуса, несмотря на то, что использование значительной части по-

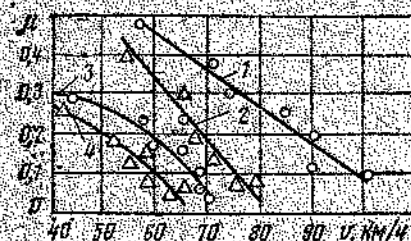


Рис. 4.19. Зависимость коэффициента поперечной силы от скорости на кривых (данные М. Б. Афанасьева и В. Н. Иванова).

1 — для 95% значений скорости легковых автомобилей; 2 — то же, для грузовых; 3 — для средней скорости легковых автомобилей; 4 — то же, для грузовых.

перечного сцепления вызывает дополнительный износ шин и расход мощности двигателя для преодоления сопротивления качению с большими углами увода колес.

С увеличением радиусов кривых в плане более 500—600 м используемая доля коэффициента поперечного сцепления сравнительно быстро уменьшается и для 95% значений скоростей легковых автомобилей составляет 0,1. При этом быстро растут и абсолютные значения скорости.

Иное положение наблюдается при движении по покрытиям,

имеющим низкий коэффициент сцепления. В этом случае на кривой малого радиуса значительно возрастает опасность заноса автомобиля, поскольку снижается как абсолютное значение коэффициента поперечного сцепления, так и используемая его доля. Последнее объясняется психологическим воздействием состояния покрытия на водителя, которые больше опасаются заноса автомобиля на кривых малого радиуса, когда на покрытии имеется вода, снег или гололед.

Следовательно, проектирование элементов плана и профиля нельзя отрывать от назначения требований к сцепным качествам покрытия и его состоянию в неблагоприятные периоды года и от проектирования технических и организационных решений, обеспечивающих эти требования в процессе эксплуатации дороги.

Учитывая, что на кривых используется не вся величина поперечного сцепления, в расчете радиусов кривых в плане принимают только долю коэффициента поперечного сцепления [60]:

$$\gamma_0 = \gamma_2 \varphi_2,$$

где γ_2 , φ_2 — используемая часть коэффициента поперечного сцепления, принятая для расчетного состояния покрытия в указанные периоды года.

В СНиП II-Д.5-72 приняты значения коэффициентов сцепления, соответствующие условиям движения по мокрому чистому шероховатому покрытию, поэтому на мокром, грязном, шероховатом покрытии расчетные скорости, превышающие 100 км/ч, не обеспечиваются при тех параметрах, которые заложены в нормах. На покрытиях без шероховатой обработки, на заснеженных и обледенелых покрытиях расчетные скорости при нормативных параметрах кривых в большинстве случаев не обеспечены, если учесть снижение коэффициента сцепления с увеличением скорости.

При проектировании кривых в плане для более полного учета влияния погодных климатических условий целесообразно расчет радиусов вести с учетом расчетных состояний в летний, осенне-весенний и зимний периоды, а окончательное решение о размере минимального радиуса закругления принимать после технико-экономических расчетов, учитывающих интенсивность и состав движения, соотношения длительности различных периодов года.

Для каждого периода года назначают расчетное состояние покрытия и расчетную формулу. Для летнего периода при сухом покрытии практически на всех закруглениях занос автомобиля маловероятен. Поэтому минимальный радиус можно принимать по значению коэффициента поперечной силы μ :

$$R = v^2 / 127 (\mu + i_n). \quad (4.34)$$

При благоприятных условиях местности для расчетов наименьшего радиуса целесообразно ориентироваться на значение $\mu = 0,05-0,1$, принимая его тем меньшим, чем выше расчетная скорость.

Эта самая распространенная схема проектирования кривых в плане применима именно для сухих покрытий и, как исключение,

для влажных с хорошей шероховатостью. Во всех других случаях радиус кривой в плане необходимо рассчитывать по схеме обеспечения устойчивости автомобиля против бокового заноса, поскольку опасное по удобству движения пассажиров и водителей значение поперечной силы μ не будет достигнуто из-за низкого коэффициента сцепления.

Поэтому радиус кривой в плане для осенне-весеннего и зимнего расчетных периодов целесообразно определять по схеме обеспечения устойчивости автомобиля против заноса

$$R = \frac{v^2}{127(\gamma_2 \varphi_2 \pm i_n)} \quad (4.35)$$

Один из путей учета погоднo-климатических факторов при выборе радиусов кривых в плане — более строгое назначение коэффициента сцепления. Расчетный коэффициент сцепления надо назначать для каждого расчетного периода года с учетом расчетного состояния покрытия, которое, в свою очередь, зависит от климатических условий и качества содержания дороги.

Особенно большая разница в расчетных и фактических скоростях отмечается на кривых малого радиуса. Что касается дорог местной сети, то назначение этих радиусов в расчете на высокие сцепные качества покрытий вообще не оправдано, так как большую часть года они находятся под снегом или имеют загрязненное покрытие. На них редко устраивают виражи. Поэтому радиусы таких кривых нужно рассчитывать на коэффициент сцепления, равный 0,15—0,20 (т. е. $\varphi_2 = 0,09 \div 0,12$). Это тем более важно, что именно на дорогах местного значения устраивают большое число закруглений.

На кривых большого радиуса, которые применяют на дорогах с большой расчетной скоростью, необходимо в значительно большей степени учитывать снижение коэффициента сцепления при высоких скоростях.

Особенности проектирования виражей. Выбирая уклон виража, необходимо исходить из условий движения в расчетный период года и соответствующего ему состояния поверхности дороги. Чтобы учесть влияние погоднo-климатических условий района проложения дороги, важно правильно выбрать коэффициент поперечного сцепления для принятой расчетной скорости и состояния по-

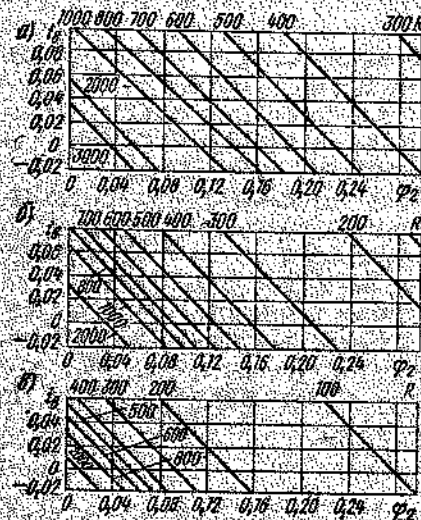


Рис. 4.20. Зависимость уклона виража от коэффициента поперечного сцепления при:
а — $K_{\varphi} = 1,0$, $v_r = 120$ км/ч; б — $K_{\varphi} = 0,75$, $v_r = 90$ км/ч; в — $K_{\varphi} = 0,5$, $v_r = 60$ км/ч.

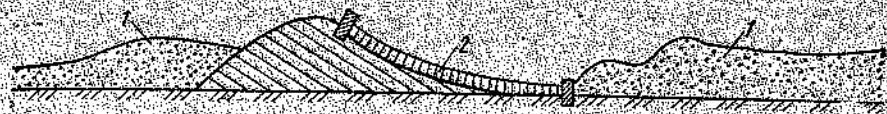


Рис. 4.21. Криволинейный вираж:
1 — скрежные отложения; 2 — вираж

верхности дороги в расчетный период года, исходя из которых можно определить рекомендуемый поперечный уклон виража i_n в зависимости от радиуса кривых в плане R , коэффициента поперечного сцепления φ_2 для заданной расчетной скорости v_r (рис. 4.20).

В современной практике проектирования критерием комфортабельности движения по закруглению служит используемая часть коэффициента поперечного сцепления $\varphi_0 = \gamma \varphi_2$ или допустимый коэффициент поперечной силы μ , значения которых не должны превышать 0,08—0,18.

Обеспечение этих значений во многом зависит от общего сопротивления покрытия скольжению шин. В связи с этим возникает необходимость учета многих факторов, определяющих условия движения по закруглениям: скорости и режима движения (разгон, торможение), ровности и состояния поверхности покрытия, износа шин, температуры воздуха, влияния ветра и т. д. Полностью учесть эти факторы в расчетах не представляется возможным, поэтому до более полного и точного выявления и учета их влияния необходимо обеспечивать запас поперечного сцепления, численно равный 0,08—0,12.

Измерения скоростей показали, что с уменьшением радиуса кривой существенно возрастает число случаев превышения расчетной скорости на виражах.

В целях повышения устойчивости автомобиля и безопасности его движения на кривых малого радиуса канд. техн. наук Т. А. Шилакадзе предложил устраивать ступенчатый вираж¹.

Еще более эффективно строительство криволинейного виража на закруглениях малого радиуса (рис. 4.21), что обеспечивает устойчивость автомобиля против заноса и удобство проезда для пассажиров. На криволинейном вираже водитель практически не испытывает неудобств в управлении автомобилем. Опыт показывает, что строить виражи круче 70% не следует, поскольку составляющая центробежной силы, прижимая пассажира к сиденью, вызывает неприятные ощущения.

Следует отметить высокие эксплуатационные качества закруглений с криволинейными виражами в зимний период. По данным

¹ Шилакадзе Т. А. Ви́ражи с переменным поперечным уклоном на горных дорогах. — Автомобильные дороги, № 5, 1981, с. 19—20.

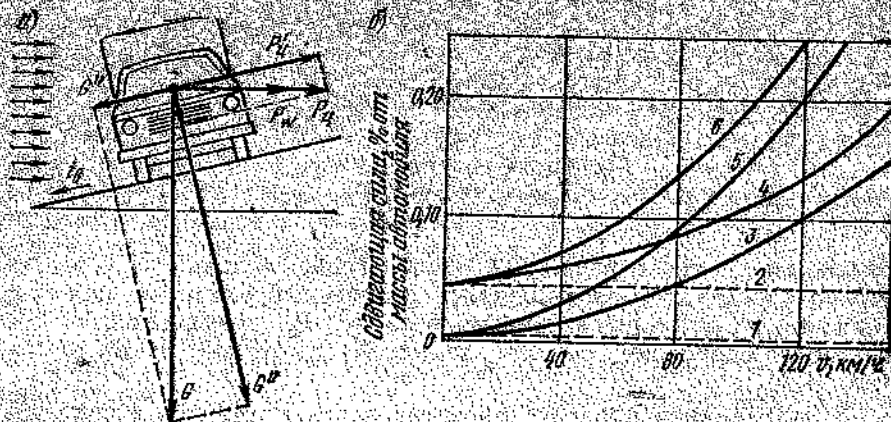


Рис. 4.22. Воздействие бокового ветра на автомобиль, движущийся по кривой в плане:

а — общая схема воздействия; б — зависимость центробежной силы от скорости; 1 и 2 — на прямом участке без ветра и с порывами ветра 40 м/с; 3 и 4 — то же, на кривой радиусом 1200 м; 5 и 6 — то же, радиусом 500 м.

С. Н. Жилина, криволинейные виражи трека в г. Тольятти зимой практически не заносится снегом, в то время как на прямолинейных участках скоростной дороги и на других дорожных сооружениях трека наблюдались обильные отложения снега. Объясняется это особенностями обтекания снеговетровым потоком поверхности криволинейного полотна дороги.

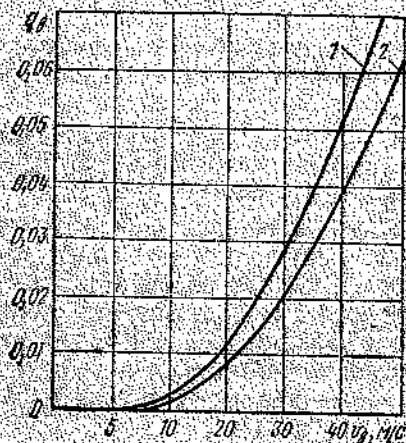


Рис. 4.23. Зависимость бокового давления от скорости ветра:

1 — автомобили ГАЗ-966 и РА-6; 2 — автомобили ГАЗ-24, ВАЗ-2103, «Москвич-412».

Опыт эксплуатации криволинейных виражей в г. Тольятти показал, что на них не происходит также и образования ледяной корки, так как снег выдувается с покрытия и вода не задерживается на проезжей части во время оттепелей за счет большого поперечного уклона (в данном случае 33°). Недостаток ступенчатых и криволинейных виражей — сложность их сооружения и выполнения работ по текущему ремонту и содержанию.

Учет бокового воздействия ветра при проектировании кривых в плане. Наиболее опасно влияние ветра, когда его направление совпадает с направлением центробежной силы (рис. 4.22).

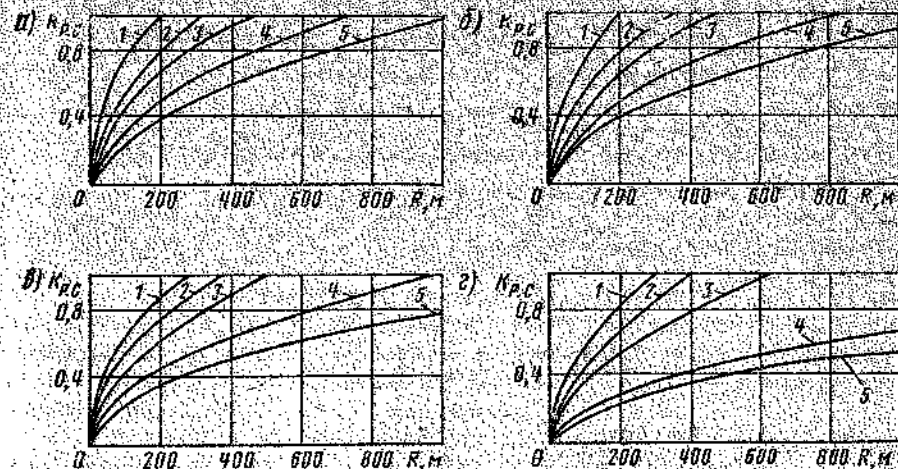


Рис. 4.24. Зависимость коэффициента обеспечения расчетной скорости от радиуса кривых в плане, уклона виража и состояния покрытия:

а — $i_n = 0,06$; б — $i_n = 0,04$; в — $i_n = 0,02$; г — $i_n = -0,02$;
1 — $\phi_2 = 0,40$; 2 — $\phi_2 = 0,3$; 3 — $\phi_2 = 0,2$; 4 — $\phi_2 = 0,10$; 5 — $\phi_2 = 0,05$.

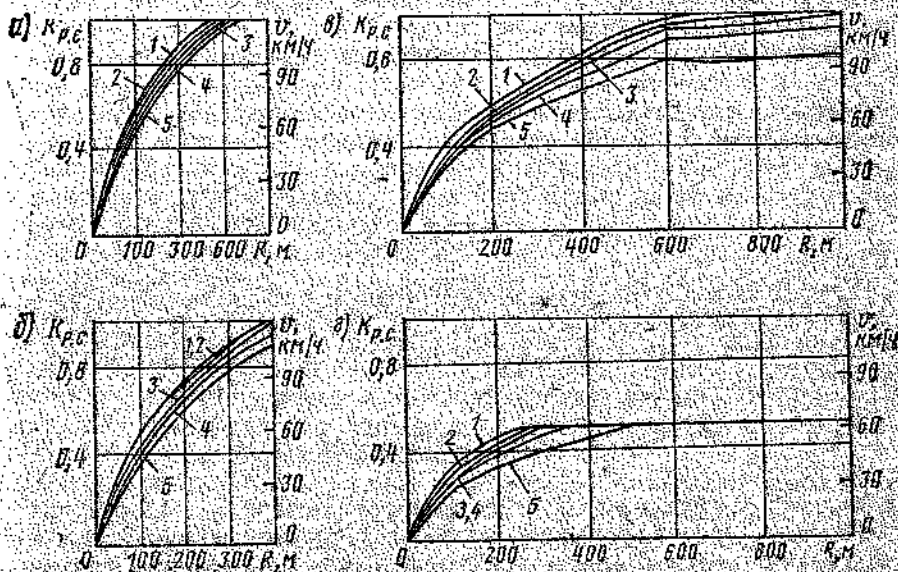


Рис. 4.25. Зависимость обеспечения расчетной скорости от скорости ветра, радиуса кривой в плане и состояния покрытия:

а — сухое чистое покрытие, $\phi = 0,6$; б — мокрое чистое покрытие, $\phi = 0,4$; в — слой рыхлого снега или снежный накат на покрытии, $\phi = 0,2$; г — гололед на покрытии, $\phi = 0,15$.
1 — скорость ветра 0–5 м/с; 2 — то же, 20 м/с; 3 — то же, 30 м/с; 4 — то же, 40 м/с; 5 — то же, 50 м/с.

Боковое давление ветра (в ньютонах)

$$P_w = K F v_0^2 / 1,6, \quad (4.36)$$

где K — аэродинамический коэффициент, принимаемый равным 1,1—1,2; F — площадь боковой проекции автомобиля, m^2 ; v_0 — скорость ветра на уровне центра боковой поверхности автомобиля, m/c .

Составив равенство сдвигающих и удерживающих сил и решая его с некоторыми упрощениями относительно R , получим формулу для определения радиуса кривых в плане с учетом воздействия порывов ветра:

$$R = \frac{v^2}{127 (q_2 \pm i_a \pm q_w)}, \quad (4.37)$$

$$q_w = K F v_0^2 / 1,6 G, \quad (4.38)$$

где q_w — коэффициент бокового давления ветра; G — масса автомобиля, кг.

Расчеты показывают, что боковое давление ветра ощутимо влияет на автомобиль, если скорость ветра более 15 m/c (рис. 4.23).

В расчете коэффициента удельного бокового давления учитывают массу незагруженного автомобиля, т. е. наиболее неблагоприятный случай воздействия бокового ветра. При определении расчетной скорости ветра учитывают положение дороги на местности, ее защищенность, порывистость ветра.

Обеспеченность расчетной скорости на кривых в плане. Она должна быть проверена для всех расчетных периодов года при характерных состояниях дороги. По состоянию покрытия коэффициент обеспеченности расчетной скорости проверяют на всех кривых в плане.

$$K_{p.c} = \sqrt{127 R (q_2 \pm i_a) / 120}. \quad (4.39)$$

На кривых в плане, где возможно воздействие ветра, обязательно проверяют обеспеченность расчетной скорости с учетом ветрового воздействия. В этом случае коэффициент обеспеченности расчетной скорости

$$K_{p.c} = \sqrt{127 R (q_2 \pm i_a - q_w) / 120}. \quad (4.40)$$

Расчеты коэффициента обеспеченности расчетной скорости для основных случаев воздействия ветра и радиусов кривых в плане показывают, что ветровое воздействие мало ощутимо при движении по сухим покрытиям. При влажном покрытии это влияние заметно только на кривых малого радиуса (рис. 4.24 и 4.25). Но особенно важно учитывать ветровое воздействие, когда оценивают условия движения зимой, так как на поверхности дороги могут быть отложения снега или гололед.

Глава 5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

5.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ПРОДОЛЬНОГО УКЛОНА

Состояние покрытия и продольный уклон. Продольный уклон — один из главных параметров дороги, существенно влияющих на скорость, удобство и безопасность движения, на расход топлива и производительность автомобиля, на себестоимость перевозок, объем земляных работ и строительную стоимость дороги, на расходы по содержанию дороги и суммарные приведенные затраты. Поэтому выбор оптимальной величины продольного уклона — технико-экономическая задача.

При движении на подъем скорость автомобилей снижается с увеличением уклона. Это снижение особенно заметно у грузовых автомобилей и автомобильных поездов [2]. Скорость грузовых автомобилей в начале подъема на определенном участке снижается почти линейно до тех пор, пока не достигнута установившаяся скорость, с которой грузовой автомобиль преодолевает данный уклон (рис. 5.1).

Для подъемов небольшой длины (менее 300 м), а также для первых 300—500 м затяжных подъемов характерен режим неравномерного движения. В этом случае наблюдается замедление движения автомобиля, происходящее тем интенсивнее, чем больше уклон.

На подъемах автомобиль может двигаться ускоренно только на участках с постоянным уклоном не более 20% [14]. При росте дорожного сопротивления на подъемах водитель повышает тяговое усилие на ведущих колесах, увеличивая открытие дросселя или переходя на низшие передачи.

Вначале с увеличением уклона на спусках до 50% для грузовых автомобилей и до 30% для автобусов и грузовых автомобилей с прицепами скорость повышается по сравнению со скоростью на горизонтальных участках дороги. При более крутых спусках скорость всех автомобилей снижается. На спусках до 20% независимо от их длины водитель использует тяговое усилие на ведущих колесах автомобиля. На спусках с уклоном 30—50% наиболее вероятен режим свободного качения.

Существенно влияет продольный уклон на число дорожно-транспортных происшествий, особенно в осенне-весенний и зимний периоды, когда повышается скользкость и резко возрастает тормозной путь. Крутые затяжные спуски являются теми участками, где снижение сцепных качеств покрытия во время дождя, снегопада или гололеда приводит к резкому росту аварийности.

Учитывая значительное влияние продольного профиля на скорость и безопасность движения, во всех странах установлены жесткие ограничения размера продольного уклона. Это обосновано тя-

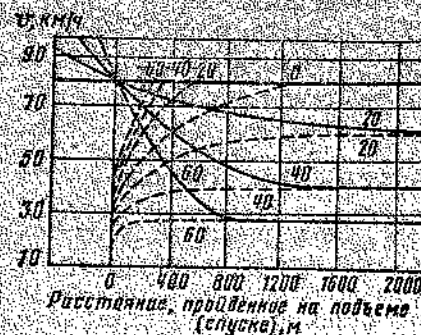


Рис. 5.1. Зависимость скорости от расстояния при движении грузовых автомобилей на уклонах (данные США).

Сплошная линия — замедление; пунктирная — ускорение. Цифры на кривых — предельный уклон, %.

возможной силе сцепления ведущих колес автомобиля с дорогой:

$$(P_a - P_w)/Q \geq f \pm i; (P_a - P_w)/Q = D_{\max} < \varphi m - P_w/Q,$$

т. е. значение динамического фактора, определяемого по графикам, ограничивается условиями сцепления колес с дорогой.

Практически такую проверку не выполняют, поскольку расчет ведется для сухого и мокрого чистого покрытия, при котором считается, что условия сцепления достаточны для достижения расчетных скоростей. Другие состояния покрытия не рассматриваются.

Таким образом, изложенные методы определения максимального продольного уклона не учитывают состояние покрытий в зимний период, увеличение коэффициента сопротивления движению и уменьшение коэффициента сцепления с ростом скорости по сравнению с теми скоростями, при которых получены расчетные значения этих коэффициентов. В настоящее время в расчетах коэффициент сопротивления качению принимают постоянным, равным 0,01 или 0,02. Коэффициенты сцепления принимают также постоянными в зависимости от характеристик участков дорог по условиям движения. Для пониженного сцепления допускается принимать коэффициент сцепления 0,2—0,25.

Игнорирование реальных условий взаимодействия автомобиля с дорогой особенно заметно проявляется в зимний период, когда на дороге любой категории возможно наличие слоя рыхлого или уплотненного снега, гололеда, мокрого снега, растворенного хлоридами. Продолжительность этих состояний различна и зависит от климата района продолжения дороги, ее технического уровня, качества содержания и колеблется от 20 до 40% продолжительности года и более.

На многих дорогах в течение всего этого периода фактические скорости значительно ниже расчетных. Особенно заметно снижают-

ся скорости при наличии на покрытии рыхлого снега, когда значительно возрастает сопротивление движению и снижаются сцепные качества. Исходя из изложенного представляется целесообразным пересмотреть методику назначения максимального продольного уклона с учетом климата и уточненной схемы взаимодействия автомобиля с дорогой с учетом изменения сил сопротивления качению и сцепления с изменением скорости.

Методикой проектирования предусмотрена проверка возможности преодоления максимального уклона по условиям сцепления на мокром покрытии.

Для нормального движения автомобиля необходимо, чтобы сила тяги была больше или равна сумме сил сопротивления движению и меньше или равна максимально возможной силе сцепления ведущих колес автомобиля с дорогой:

ся скорости при наличии на покрытии рыхлого снега, когда значительно возрастает сопротивление движению и снижаются сцепные качества. Исходя из изложенного представляется целесообразным пересмотреть методику назначения максимального продольного уклона с учетом климата и уточненной схемы взаимодействия автомобиля с дорогой с учетом изменения сил сопротивления качению и сцепления с изменением скорости.

Максимальный продольный уклон в районах с летним расчетным периодом предлагается определять по тяговой характеристике автомобиля с учетом изменения коэффициента сопротивления качению при изменении скорости:

$$i_{\max} = \frac{200(N_e \eta_T - K F v^3 / 2580)}{Q v} - f_{20} - K_f (v - 20). \quad (5.1)$$

В районах с осенне-весенними и зимним расчетными периодами максимальный продольный уклон необходимо проверять на возможность его преодоления, когда покрытие имеет рыхлый или уплотненный слой снега и гололед. При этом должна быть принята толщина максимально допустимого слоя снега на покрытии, на которую будет рассчитана снегозащита дороги и оснащенность дорожной службы машинами и оборудованием для зимнего содержания (см. гл. 7).

Ориентировочные значения допустимой толщины снега на покрытии при различных уровнях обеспеченности расчетной скорости приведены в табл. 2.7.

Максимальный продольный уклон, преодолеваемый на заданной скорости при мокром, грязном, заснеженном покрытии или наличии гололеда,

$$i_{\max} = m \varphi_{20} - f_{20} - (m \varphi_v + K_f)(v - 20). \quad (5.2)$$

Кроме того, в этих районах значения максимального продольного уклона необходимо проверять на возможность трогания с места остановившегося автомобиля на подъеме при наличии на покрытии снега или гололеда. На затяжных подъемах в период гололеда, выпадение мокрого снега или подтаявшего накатанного снега колеса начинают пробуксовывать и автомобиль сползает по до-
сому уклону, который складывается из продольного и поперечного уклонов проезжей части. Поэтому максимальный продольный уклон (в тысячных), преодолеваемый автомобилем на заснеженном покрытии и гололеде,

$$i = \sqrt{(m \varphi + f)^2 - i_{\text{поп}}^2}. \quad (5.3)$$

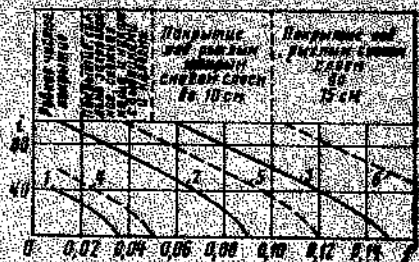


Рис. 5.2. Значения продольных уклонов на подъемах, преодолеваемых без пробуксовывания и смещения к обочине при различных состояниях покрытия и сопротивлении качению.

1, 2, 3 — легковые автомобили при коэффициенте сцепления 0,1, 0,2, 0,3; 4, 5, 6 — то же, грузовые.

Расчеты показывают (рис. 5.2), что при гололеде легковые автомобили могут буксовать на подъемах с уклонами 20—40‰, а грузовые на подъемах с уклонами 30—60‰. После этих проверок определяют коэффициент обеспеченности расчетной скорости в различные периоды года на участках с рекомендуемыми продольными уклонами.

Обеспеченность расчетной скорости целесообразно проверить также при разных состояниях покрытия на участках, где продольные уклоны совпадают с кривыми малого радиуса.

Максимально возможная скорость по условиям взаимодействия автомобиля с дорогой на этом участке

$$v_{\max} = \frac{mg_{20} - f_{20} - \sqrt{f_{\text{прод}}^2 + f_{\text{в}}^2}}{m\phi_{\text{ф}} + K_f} + 20. \quad (5.4)$$

Окончательное решение о размере допустимого продольного уклона принимают на основании технико-экономических расчетов.

Продольный уклон и расход топлива. Продольный уклон существенно влияет на расход топлива как при движении автомобиля на подъем, так и на спуск. Используя уравнение мощностного баланса автомобиля, можно получить формулу для определения расхода топлива (в литрах на 100 км пробега)

$$Q = \frac{g_e}{\eta_{\text{дв}}} \left[(f \pm i) \frac{Q_0}{200} + \frac{KFu_0^2}{2560} \pm \frac{g_e}{270} j_a \right] 0,1, \quad (5.5)$$

где g_e — удельный расход топлива, г/кВт·ч; j_a — ускорение (замедление) автомобиля, м/с².

Анализ уравнения показывает, что при движении на подъем расход топлива возрастает пропорционально величине уклона.

На спусках с небольшим уклоном или на коротких участках спуска движение осуществляется, как правило, с использованием тягового усилия, и экономии топлива можно достигать только уменьшением суммы дорожных сопротивлений. При небольшом уклоне автомобиль также может двигаться накатом с установившейся скоростью и выключенным или отключенным двигателем, и расход топлива будет минимальным.

$$\text{Значение этого уклона} \quad i = f + q_w. \quad (5.6)$$

где q_w — удельное сопротивление воздуха движению автомобиля, т. е. отношение силы сопротивления воздуха к массе автомобиля.

На спусках с большим уклоном и значительной длины автомобиль начинает двигаться с ускорением, водитель вынужден тормозить двигателем путем выключения низших передач. Уклон, преодолеваемый таким образом,

$$i = f + q_w + d. \quad (5.7)$$

где d — удельное сопротивление двигателя на спуске, т. е. отношение сопротивления движению, вызванное вращением двигателя при включенной передаче, к массе автомобиля.

Таблица 5.1

Рельеф местности	Доля расхода топлива, %, на преодоление		
	аэродинамического сопротивления	сопротивления качению	подъемов
Горизонтальный (уклон до 5‰)	37	62	1
Пересеченный, небольшие спуски и подъемы (уклон 40—50‰)	18	40	42
Холмистый, пересеченный (уклон 50—70‰)	18	34	48
То же (уклон 80—120‰)	3	26	71

На крутых спусках для снижения скорости добавляется торможение колесными тормозами:

$$i = f + q_w + d + t, \quad (5.8)$$

где t — удельная тормозная сила, т. е. отношение силы торможения к массе автомобиля.

Движение на затяжных спусках можно характеризовать лишь средним (условным) режимом, так как на таких спусках очень велик период начального торможения. На спусках, не превышающих 1000 м, автомобили как правило двигаются в режиме торможения двигателем. На спусках большей длины происходит совместное торможение со все возрастающей интенсивностью. В любом случае силы торможения передаются через колесо автомобиля на покрытие, и их суммарное значение не может превышать сцепные силы.

Исследования [21], выполненные проф. В. Н. Ивановым и канд. техн. наук В. И. Ероховым, показывают, что при движении с установившейся скоростью 60—65 км/ч без помех на горизонтальных участках сопротивление движению состоит из сопротивлений качению и воздушной среды. На дорогах с затяжными подъемами и спусками преобладает сопротивление на преодоление подъемов и инерционных сил при ускорениях (табл. 5.1).

Экспериментально установлено, что с увеличением продольного уклона на каждые 10‰ расход топлива автомобилем средней грузоподъемности с карбюраторным двигателем возрастает на 4%.

Весьма ощутимо влияние сопротивления качению на расход топлива. При увеличении этого сопротивления от 0,015 при хорошем состоянии дороги до 0,05 на заснеженном покрытии расход топлива возрастает на 70%.

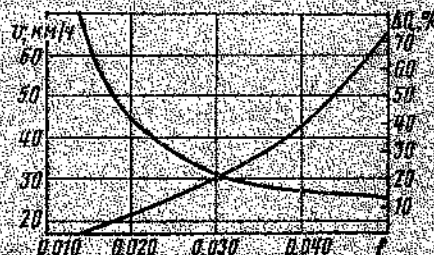


Рис. 5.3. Зависимость расхода топлива от сопротивления качению (данные В. Н. Иванова и В. И. Ерохова)

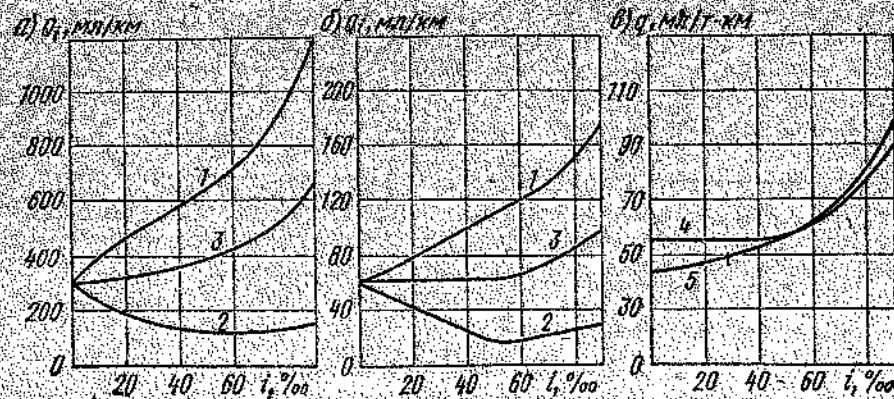


Рис. 5.4. Зависимость расхода топлива от продольного уклона: а — для автомобиля ЗИЛ-130; б — то же, ВАЗ-2101; в — относительный расход топлива; 1 — подъем; 2 — спуск; 3 — средний расход; 4 — ВАЗ-2101; 5 — ЗИЛ-130

С дальнейшим увеличением сопротивления качению расход топлива растет еще быстрее (рис. 5.3), а изменение сопротивления качению на 30—40%, т. е. в пределах допуска для одной и той же категории дороги, увеличивает расход топлива на 6—20%.

Это накладывает особую ответственность на проектирование параметров дороги, конструктивных решений по ее защите от воздействия неблагоприятных метеорологических факторов и мероприятий по содержанию, которые обеспечат минимальные коэффициенты сопротивления движению во все периоды года.

Эмпирическую формулу определения расхода топлива в зависимости от уклона для грузовых автомобилей и автопоездов предложил С. Б. Никитин [37]:

$$Q_i = Q_0 + 0,1Q_0i[1 + 2,10(i - 1)^{2/3}], \quad (5.9)$$

где Q_0 — расход топлива на горизонтальном участке, кг.

Экспериментальные исследования расхода топлива на участках с разными уклонами и состоянием поверхности были выполнены инж. А. А. Маевским под руководством автора. Их анализ показывает, что суммарный расход топлива в обоих направлениях для легкового автомобиля остается постоянным до размера уклона 50‰, а затем заметно возрастает (рис. 5.4). У грузового автомобиля ЗИЛ-130 суммарный расход топлива заметно возрастает уже при продольном уклоне более 10‰.

Обработка результатов наблюдений позволяет предложить корреляционные уравнения для определения влияния продольного уклона на расход топлива (мл/т·км):

а) средний расход топлива при движении легкового автомобиля ВАЗ-2101 в прямом и обратном направлениях

$$Q'_i = Q_{0\lambda} + a_{\lambda}(0,11 - i)^2, \quad (5.10)$$

где i — продольный уклон, ‰;

б) средний расход топлива при движении грузового автомобиля ЗИЛ-130 в прямом и обратном направлениях

$$Q'_i = Q_{0\Gamma} + a_{\Gamma}i^2, \quad (5.11)$$

в) средний удельный расход топлива при движении легкового автомобиля ВАЗ-2101 в прямом и обратном направлениях

$$q'_i = q_{0\lambda} + b_{\lambda}(0,11 - i)^2, \quad (5.12)$$

г) средний удельный расход топлива при движении грузового автомобиля ЗИЛ-130 в прямом и обратном направлениях

$$q'_i = q_{0\Gamma} + b_{\Gamma}i^2. \quad (5.13)$$

Значения указанных параметров:

Параметры	$Q_{0\lambda}$	$Q_{0\Gamma}$	$q_{0\lambda}$	$q_{0\Gamma}$	a_{λ}	a_{Γ}	b_{λ}	b_{Γ}
Продольные уклоны от 0 до 50‰	60	300	56	44	0	4	0	0,6
Продольные уклоны свыше 50‰	60	300	56	44	2,6	4	2,6	0,6

Результаты исследования указывают на необходимость учета влияния продольного уклона на расход топлива при разработке требований к размеру максимального продольного уклона и проектировании продольного профиля.

Чем выше интенсивность движения, тем большую экономию топлива можно получить, если правильно выбрать продольный уклон, особенно при наличии в транспортном потоке большой доли грузовых автомобилей и автобусов. Если в составе транспортного потока большая доля легковых автомобилей, требования к продольному уклону могут быть не такими жесткими, так как суммарные расходы топлива на движение легковых автомобилей заметно увеличиваются при продольных уклонах более 50‰.

Суммарный расход топлива за год на каждом участке дороги (л)

$$Q = 0,365i(Q'_i N_{\Gamma} + Q'_i N_{\lambda}), \quad (5.14)$$

суммарный расход топлива при движении транспортного потока по всей дороге в год

$$Q = 0,365 \sum_{i=1}^n i'_i (Q'_i N_{\Gamma} + Q'_i N_{\lambda}), \quad (5.15)$$

где N_{Γ} , N_{λ} — среднесуточная интенсивность соответственно грузовых и легковых автомобилей, авт/сут.

5.2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАСЫПЕЙ И ВЫЕМОК С УЧЕТОМ СНЕГОНЕЗАНОСИМОСТИ

Общие требования и трассирование дороги. Для предотвращения попадания снега на дорогу и его отложения применяют комплекс мер:

рациональное проложение трассы с учетом направления господствующих зимой ветров, форм рельефа, ландшафта, растительности и застройки;

назначение высоты насыпей и глубины выемок, придание им форм и очертаний, обеспечивающих перенос снега через дорогу и отложение за пределами земляного полотна;

проектирование снегозадерживающих и снегопереносящих устройств и мероприятий, а также сооружений, укрывающих дороги от попадания снега;

расчет состава машин и оборудования, обеспечивающего своевременное удаление с дороги снежных отложений с учетом расчетной вероятности и интенсивности снегопадов и метелей, расчет общей мощности дорожно-эксплуатационной службы и выбор наиболее целесообразной схемы дислокации ее подразделений.

Опыт показывает, что ни одно из решений и мероприятий в отдельности не обеспечивает полностью защиту дорог от попадания снега. В любом случае необходимо проектировать комплекс взаимодополняющих решений и мероприятий с детальным учетом конкретных природно-климатических условий проложения дороги.

Для района с зимним расчетным периодом исключительно важен выбор высоты насыпей, глубины выемок и очертания земляного полотна с точки зрения обеспечения снегонезаносимости. Опыт показывает, что параметры земляного полотна вместе со снегозащитными насаждениями имеют решающее значение для снегонезаносимости дорог. Разработке проблем защиты дорог от снежных заносов посвящено много исследований [18, 27, 28, 29, 31, 34, 47], анализ которых позволяет сделать вывод, что методы и нормы проектирования необходимо развивать и совершенствовать.

Большое значение для защиты дорог от снежных заносов имеет направление трассы по отношению к направлению господствующих в зимний период ветров.

Направление ветра влияет на разницу между снегопереносом во время метели и снегоприносом к дороге. Снегоперенос Q_0 представляет собой вектор, направление которого совпадает с направлением метели, снегопринос Q_{cl} — составляющая вектора снегопереноса, направленная перпендикулярно дороге;

$$Q_{cl} = Q_0 \sin \beta, \quad (5.16)$$

где β — угол между направлением ветра и дорогой.

Из формулы видно, что с уменьшением угла, под которым ветер подходит к дороге, уменьшается и снегопринос. Направления ветра, составляющие угол с дорогой не больше 10° , практически не заносопасны. Мало заносятся участки, составляющие с



Рис. 5.5. Варианты расположения трассы на склонах:

а — наветренный склон; б — подветренный склон

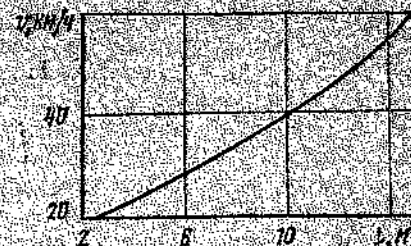


Рис. 5.6. Зависимость дальности отбрасывания снега от скорости снегоочистителя (по Д. А. Шалману)

направлением господствующих ветров угол менее 30° . При продольных ветрах (за исключением продольного продувания выемок на кривых) над дорогой даже возникают боковые воздушные течения, направленные в сторону поля и препятствующие образованию заносов. Не заносятся при метелях участки в лесных просеках.

Водоразделы хорошо продуваются, но метели и поземки на них отличаются большой интенсивностью. Поэтому при наличии широких долин трассу лучше прокладывать долиной, но не ближе 50—60 м от подошвы ближайшей возвышенности. При трассировании рекомендуется обходить пониженные места, ложбины, впадины, котловины и т. д., или пересекать их по кратчайшему направлению, так как они сильно заносимы.

Глубокие балки и овраги, попутные трассе, следует обходить с подветренной стороны, так как они являются естественными препятствиями, задерживающими часть переносимого снега. Наиболее благоприятны по условиям незаносимости снегом в холмистой и гористой местности зоны разгона метелей или выдувания: наветренные склоны в верхней части (рис. 5.5) и полосы шириной 200—300 м за подветренными границами русел, балок, оврагов и других понижений местности.

Поэтому трассу рекомендуется располагать на открытых и наветренных склонах не менее чем на 50—60 м от подошвы косогора (положения 2 и 3 на рис. 5.5, а) и избегать расположения трассы на открытых подветренных склонах (рис. 5.5, б), так как на этих участках мощность снегового покрова значительна. Если неизбежно трассировать по такому косогору, необходимо предусмотреть защиту дороги от снежных заносов, а земляное полотно проектировать в полунасыпи-полувыемке, которая легче очищается от снега. Если условия трассирования позволяют, то предпочтение следует отдавать трассе в нижней и средней частях склона (положение 1 и 2 рис. 5.5, б), а при сильных ветрах (скорость более 10 м/с) — в верхней части склона (положение 3).

Участки на закруглениях значительно чаще подвергаются снежным заносам, чем прямые участки. При любом направлении ветра какая-либо часть кривой попадает в условия наиболее интенсивно-

го приноса снега (в той точке, где ветер перпендикулярен дороге). Особенно заносимы выемки, расположенные на кривых. Они заносятся даже при продольном ветре, причем основная часть снега накапливается на выпуклом откосе. Если избежать устройства кривых в плане на снегозаносимых участках нельзя, необходимо проектировать их с максимально возможным радиусом закругления, который не может быть меньше радиуса, позволяющего плужному снегоочистителю двигаться со скоростью 30—40 км/ч.

При меньшей скорости снегоочистителя снег не будет отбрасываться дальше бровки земляного полотна (рис. 5.6). Опыт показывает, что для обеспечения этого требования радиус кривой должен быть не менее 200—400 м [9]. На кривых радиусом менее 150 м даже шнекороторные снегоочистители не могут полностью очищать дорогу. Наиболее желательны радиусы 600—1000 м, при которых условия заносимости на кривой приближаются к условиям заносимости на прямых.

Проектирование земляного полотна в насыпях. Одним из основных методов предупреждения заносимости дорог является рациональное проектирование продольного и поперечного профилей земляного полотна, т. е. выбор рабочих отметок и проектирование очертания насыпей и выемок с тем, чтобы основная масса снега беспрепятственно переносилась через дорогу, поскольку главным источником снежных заносов служит не снегопад, а переносимый ветром снег.

Главными мерами, обеспечивающими незаносимость насыпей, являются проектирование земляного полотна до необходимой высоты и придание поперечному профилю обтекаемого для снеговетрового потока очертания. При обтекании насыпи скорость снеговетрового потока над ней возрастает. Наибольшее повышение скорости наблюдается над наветренной бровкой и осью насыпи, а наименьшее — над подветренной бровкой. Чем шире дорожное полотно, тем значительнее разность скоростей потока над наветренной и подветренной бровками.

Снег переносится через дорожное полотно без образования отложений, если соблюдены два условия: скорость ветра по всей ширине дорожного полотна достаточна для сдувания попадающего на нее снега; поперечное сечение насыпи обтекаемо для ветра без образования вихревых зон.

Скорость ветра повышается до предела, достаточного для сдувания снега с дорожного полотна, если насыпь имеет необходимое превышение над уровнем прилегающего снежного покрова. Для дорог с разной шириной полотна нужно разное превышение насыпи над уровнем прилегающего снежного покрова, которое должно быть тем больше, чем шире насыпь.

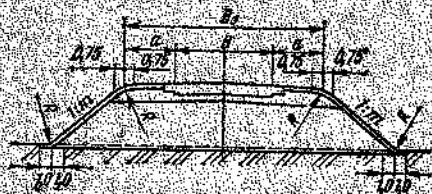


Рис. 5.7. Насыпь обтекаемого профиля

Большое значение имеет форма земляного полотна. Представляется целесообразным в районах с зимним расчетным периодом рекомендовать насыпи только обтекаемого профиля (рис. 5.7), несмотря на то, что он имеет недостатки (пологие откосы улучшают обтекаемость насыпей, но увеличение скорости потока над насыпью меньше, чем при крутых откосах).

Поэтому, чтобы обеспечить незаносимость насыпей с пологими откосами, требуется большее возвышение над снежным покровом, чем насыпям с крутыми откосами, что приводит к росту строительных затрат.

Основной метод обеспечения снегозаносимости насыпи — правильный выбор ее высоты

$$H_n = H_{\text{н}} + \Delta H, \quad (5.17)$$

где $H_{\text{н}}$ — расчетная высота снежного покрова с вероятностью превышения 5%, м; ΔH — возвышение насыпи над расчетным уровнем снежного покрова, обеспечивающее ее незаносимость, м.

Возвышение насыпи над расчетным уровнем снежного покрова определяют исходя из двух условий: повышения скорости снеговетрового потока до размера, обеспечивающего перенос снега через земляное полотно без образования отложений; беспрепятственное размещение снега, сбрасываемого с полотна при очистке.

Первая задача решается исходя из аэродинамических условий обтекания насыпи снеговетровым потоком. Скорость снеговетрового потока, обтекающего насыпь, должна быть достаточной для предотвращения выпадения снега из потока при пульсациях и для сдувания снежных частиц, задерживающихся у микронеровностей на поверхности проезжей части и обочин.

Согласно исследованиям проф. А. К. Дюнина, для выполнения этого условия необходимо

$$\varphi_{\sigma} = \frac{v_n}{v_{\text{н}}} > 1,10, \quad (5.18)$$

где v_n — скорость снеговетрового потока над насыпью, м/с; $v_{\text{н}}$ — то же, но по лев.

Исследования показали, что при одной и той же высоте насыпей повышение скорости обтекающего их потока по сравнению со скоростью ветра в поле становится меньше с увеличением ширины насыпей и пологости откосов. Установлена зависимость между коэффициентом увеличения скорости потока над насыпью и отношением ширины насыпи поверху B к возвышению насыпи над прилегающим снежным покровом ΔH (рис. 5.8). Пользуясь данной кривой, получены значения возвышений над снежным покровом, обеспечивающие ее незаносимость (табл. 5.2).

Из таблицы видно, что полученные значения возвышений насыпи над снежным покровом совпадают или близки к нормативным, указанным в СНиП II-Д.5-72, за исключением дорог I категории. Для этой категории требуется возвышение на 50% больше нормативного. Чрезмерная высота насыпи тоже имеет отрицательные по-

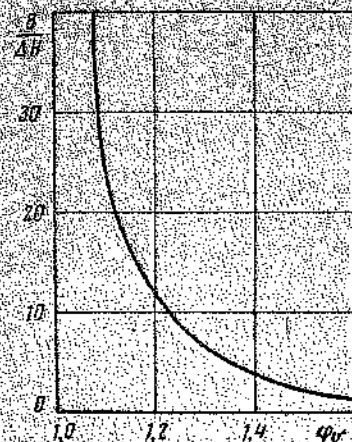


Рис. 5.8. Зависимость скорости потока над насыпью от ширины и высоты насыпи (данные А. К. Дюнина)

следствия, поскольку хотя и приводит к повышению скорости воздушного потока, но ухудшает условия их обтекания. За высокими насыпями образуются вихревые зоны, в которых откладывается снег. В районах с большим объемом снеготранспорта за такими насыпями могут накопиться снежные отложения, создающие опасность образования заносов при перемене направления ветра. При таянии накопившихся масс снега происходит переувлажнение насыпей, отрицательно влияющее на их устойчивость.

Чтобы обеспечить плавное обтекание насыпей снеговетровым потоком без образования вихревых зон, не рекомендуется, особенно в районах с большими объемами снеготранспорта, придавать им возвышение

над снежным покровом больше следующих пределов: 6,75; 3,75; 3,0; 2,50 и 2,0 м для дорог I, II, III и IV категорий соответственно.

Возможность беспрепятственного размещения сбрасываемого снега при снегоочистке является вторым условием, от которого зависит превышение насыпи над прилегающим снежным покровом.

Снег, сбрасываемый с полотна, не будет влиять на заносимость дороги до тех пор, пока накопившиеся у дороги отложения не станут выше бровок насыпи. Толщина слоя снега, накопившегося в результате очистки к моменту, когда снежный покров достиг наибольшей высоты,

Таблица 5.2

Категория дороги	Ширина насыпи поверху, м	Необходимое превышение насыпи над прилегающим снежным покровом		
		По данным проф. Дюнина А. К., м	По СНиП II-Д.5-72, м	Разница по сравнению со СНиПом
I	27	1,2	0,8	+0,4
II	15	0,7	0,6	+0,1
III	12	0,6	0,6	0
IV	10	0,5	0,5	0
V	8	0,4	0,5	-0,1

Примечание. Новые значения обеспечивают коэффициент скорости $\phi_{гр} = 1,10-1,12$.

$$\Delta H_{ср} = H_{п} B_{ср} \alpha_c / B_{ср} \quad (5.19)$$

где $B_{ср}$ — ширина земляного полотна, м; $B_{ср}$ — расстояние отбрасывания снега с дороги расчетным снегоочистителем, м; α_c — доля работ, выполняемых расчетным снегоочистителем, в общем объеме снегоочистительных работ, %.

Насыпь не заносится, пока толщина слоя, накапливающегося в результате снегоочистки, не превысит ΔH — превышения насыпи над снежным покровом, определенного по условиям аэродинамики обтекания ее снеговетровым потоком. Если $\Delta H_{ср}$ окажется больше ΔH , то высоту насыпи нужно увеличивать, определяя необходимое для незаносимости возвышение насыпи по формуле (5.19).

Современные роторные снегоочистители имеют большую дальность отбрасывания (более 30 м). Расчеты и экспериментальные проверки показали, что при такой дальности отбрасывания $\Delta H_{ср}$ не превышает ΔH даже при большой высоте снежного покрова. Поэтому расчет следует вести, принимая в качестве $B_{ср}$ дальность отбрасывания снега плужными снегоочистителями, которая значительно меньше, чем у роторных.

Очистка дорог от снега плужными снегоочистителями ведется со скоростью 30—40 км/ч. Если принять среднюю скорость 35 км/ч, создающую достаточно хорошее отбрасывание снега, получим $B_{ср} = 8$ м. По предложению проф.

В. К. Некрасова [34], можно принять долю α_c в общем объеме работ по снегоочистке, выполняемую плужными снегоочистителями, равной 75%. С учетом принятых значений $B_{ср}$ и α_c получены график зависимости $\Delta H_{ср}$ от высоты снежного покрова для дорог разных категорий (рис. 5.9). На график пунктирными линиями нанесены значения необходимого превышения насыпей над снежным покровом из условий аэродинамики их обтекания снеговетровым потоком¹. Из графика видно, что $\Delta H_{ср}$ больше ΔH при высоте снежного покрова 0,9—1,1 м.

На большей части территории СССР высота снежного покрова не превышает 0,9 м, и возвышение насыпи достаточно определять из условия аэродинамики обтекания снеговетровым потоком. Однако есть районы, где снежный покров

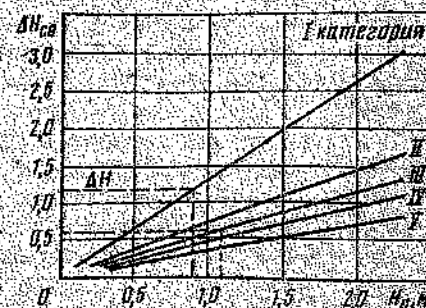


Рис. 5.9. Зависимость требуемого превышения насыпи от высоты снежного покрова (данные Г. В. Бялобжеского). Пунктиром показано превышение насыпи над снежным покровом, необходимое по условиям обтекания ее снеговетровым потоком

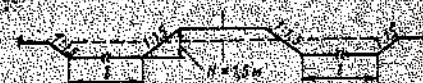


Рис. 5.10. Профиль насыпи небольшой высоты в снегозаносящих районах (данные А. А. Комарова)

¹ Бялобжеский Г. В., Васильев А. П., Дюнин А. К. Способы уменьшения снегозаносимости автомобильных дорог — Автомобильные дороги, № 11, 1983, с. 16—17.

значительно превышает 0,9 м: западные склоны Северного Урала и его западные предгорья ($H_{\text{н}}=1,2$ м); западные склоны Средне-Сибирского нагорья ($H_{\text{н}}=1,4$ м); низовья Амура, Сахалин и Камчатка ($H_{\text{н}}=2$ м). В этих районах необходимое возвышение насыпи над снежным покровом будет в основном определяться возможностью беспрепятственного размещения снега, сбрасываемого с дороги при снегоочистке.

В качестве одной из мер защиты дорог от снежных заносов в условиях Заполярья проф. А. А. Комаров предложил насыпи особого профиля (рис. 5.10). При этом со стороны господствующих ветров устраивают резервы с таким расчетом, чтобы разность между бровкой земляного полотна и дном резерва была в пределах 1,5 м [28]. Ширина резерва составляет 6—10 м в зависимости от высоты насыпи, направления господствующих ветров и объема снегоприноса.

Выбор оптимальной высоты насыпи в условиях огромных снегопереносов — весьма сложная задача, так как многие факторы, влияющие на ее решение, носят вероятностный характер. Таковы характеристики метеорологических условий, эксплуатационные затраты и др. Для решения этой задачи предлагается использовать теорию статистических решений, теорию игр [27]. Участниками игры являются, с одной стороны, природа, с другой — проектная организация. Стратегией природы можно считать i возможных ее состояний, а стратегией проектной организации j возможных технических решений.

Сущность задачи состоит в следующем. Предположим, имеется перечень возможных стратегий природы $P_1, P_2, \dots, P_n$. В качестве этих стратегий можно принять степень заносимости дорог. Закономерность применения стратегий в каждый конкретный момент времени неизвестна, но известны вероятности их появления: $P_1, P_2, \dots, P_n$, причем $\sum_{i=1}^n P_i = 1$.

Вероятности появления различной степени заносимости в определенном районе могут быть получены на основе анализа метеорологических наблюдений за ряд лет. В свою очередь, проектировщик располагает $A_1, A_2, \dots, A_m$ вариантами технических решений для предотвращения снежных заносов на дорогах, реализация которых при наступлении разных состояний природы приводит к затратам a_i . В качестве таких решений проектировщика может быть назначение разной высоты насыпи.

При обосновании высоты незаносимой насыпи этим методом можно учесть различную заносимость, возникающую с той или иной степенью вероятности, а также капитальные вложения в зависимости от принятого конструктивного решения и эксплуатационные затраты.

Вероятность появления заносимости в определенном районе может быть получена на основе анализа данных метеорологических станций. Сравнивая варианты насыпей можно установить высоту,

гарантирующую от снегозаносимости, для которой суммарные приведенные затраты на строительство и эксплуатацию будут минимальными.

Определение высоты снежного покрова при расчетах заносимости насыпи. При расчетах высоту снежного покрова чаще всего берут наибольшую по средним многолетним данным ближайшей к трассе метеорологической станции. Однако снежный покров залегает на местности неравномерно, что объясняется различием в количестве твердых осадков, особенностями ветрового режима, повторяемостью и характером метелей и оттепелей и т. д. В результате высота снежного покрова в пунктах, даже сравнительно близко расположенных друг к другу, может быть существенно различной.

Высота снежного покрова на трассе проектируемой дороги также может существенно отличаться от высоты покрова на ближайшей метеорологической станции. По указанной причине во избежание значительных ошибок высоту снежного покрова лучше определять непосредственно на трассе.

Поэтому при изысканиях дорог после того, как трасса выбрана и закреплена на местности, необходимо произвести на ней снего съемку (промеры высоты снежного покрова) в тех местах, где намечается возвести незаносимые насыпи. Полученные при такой снего съемке данные еще нельзя принимать за расчетные для определения высоты незаносимых насыпей, так как они характеризуют высоту снежного покрова лишь на тот день, когда были выполнены измерения.

Чтобы обеспечить незаносимость насыпей в наиболее трудное по снежным условиям зимы время, необходимо принимать при расчетах такую высоту снежного покрова, которая может быть превышена лишь в исключительных случаях. Определить высоту снежного покрова с рекомендуемой вероятностью превышения 5% можно лишь при наличии многолетних данных. Однако для точек на трассе проектируемой дороги, в которых требуется знать расчетную высоту снежного покрова, многолетние данные, как правило, отсутствуют.

Исследования, проведенные Главной геофизической обсерваторией (ГГО), показали, что между высотой снежного покрова в двух пунктах, в которых проводятся измерения, при доброкачественных наблюдениях существует устойчивая корреляционная связь даже при расстояниях до 150 км [45].

Если корреляционная связь устойчива, то она справедлива и для многолетних значений метеорологических факторов. Исходя из этого положения по методике канд. техн. наук Г. В. Бялобжеского можно найти расчетное значение высоты снежного покрова для участков, где намечено строительство незаносимых насыпей¹.

¹ Бялобжеский Г. В. Определение высоты снежного покрова при расчетах незаносимых насыпей. — Автомобильные дороги. М 10, 1983, с. 14—16.

$$H_n = k_n H_{\text{м.п.}} \quad (5.20)$$

$$k_n = H'_{\text{тр}} / H'_{\text{м.п.}} \quad (5.21)$$

где k_n — коэффициент пересчета, связывающий данные снегоъемок на трассе и метеорологической станции; $H_{\text{м.п.}}$ — наибольшая многолетняя высота снежного покрова по снегомеркам на метеорологической станции с заданной вероятностью превышения, м; $H'_{\text{тр}}$ — высота снежного покрова на трассе в день снегоъемки, м; $H'_{\text{м.п.}}$ — высота снежного покрова на метеорологической станции в тот же день, м.

Для обеспечения правильности результатов при выполнении снегоъемок на трассе и обработке полученных данных необходимо соблюдать методические указания и требования, разработанные организациями гидрометеорологической службы. Одновременно должны быть учтены и особенности, определяемые спецификой поставленной задачи.

Одна из особенностей заключается в том, что маршруты снегоъемок выбирать не нужно. Они определяются самой трассой. Места снегоъемок также известны. К ним относятся те, на которых намечено строительство незаносимых насыпей. На участках, где сохраняются одинаковые условия рельефа и залесенности, можно ограничиться одним снегомерным маршрутом, если длина участка не превышает 10 км. При большей длине участка или изменении рельефа и залесенности назначают новые маршруты.

Длину маршрута назначают в зависимости от рельефа местности и ландшафта. При сравнительно ровном рельефе как в открытой местности, так и на отдельных полях в залесенной местности длину маршрута принимают равной 1000 м. При всхолмленном рельефе можно увеличивать маршрут до 2000 м, если это позволит залесенность.

Измерение высоты снежного покрова на трассе проектируемой дороги проводят в период, когда покров достигает наибольшей высоты. Для сопоставимости результатов, полученных при измерениях на трассе, с данными снегоъемок на метеорологических станциях, измерения должны выполняться в те же даты, т. е. в последний день каждой декады.

После того как фактическая высота снежного покрова на трассе в день снегоъемок определена, можно перейти к определению расчетной высоты покрова с заданной вероятностью превышения. Для расчета лучше всего пользоваться данными ближайшей к трассе метеорологической станции. Однако данные снегоъемок на трассе и на станции сопоставимы, если снегоъемки выполняются в сходных условиях.

При наблюдениях за снежным покровом метеорологи различают два основных элемента ландшафта — поле и лес. Если станция ведет снегомерки в лесистой местности, а измерения на трассе проведены в открытом поле, сравнивать такие данные нецелесообразно. В этом случае приходится пользоваться данными далекой метеорологической станции, если она ведет наблюдения в условиях сходного ландшафта.

Чтобы произвести подсчет, нужно знать $H_{\text{м.п.}}$ — наибольшую высоту снежного покрова заданной обеспеченности по снегомеркам на метеорологической станции, с которой проводится сравнение. В Справочнике по климату СССР значения высоты снежного покрова различной обеспеченности даны только для снегомерных рек. Поэтому $H_{\text{м.п.}}$ необходимо вычислить по известной методике с использованием формулы А. И. Чегодаева:

$$P = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} 100, \quad (5.22)$$

где m — номера членов ряда, в котором они расположены в убывающем порядке; n — число членов ряда.

Снегоъемки на трассе в период изысканий целесообразны для дорог I—III категорий и других важных дорог, где образование снежных заносов может повлечь значительные потери народнохозяйственных средств. Для дорог IV—V категорий, на которых требования к зимнему содержанию могут быть несколько снижены, допустимо определять расчетную высоту снежного покрова упрощенным способом.

В этом случае за основу берут данные ближайших к проектируемой дороге метеорологических станций о средней многолетней высоте снежного покрова. От этих данных нужно перейти к расчетной высоте снежного покрова на трассе, пользуясь зависимостями, полученными в результате исследований ГГО. Эти исследования выявили зависимости между средней многолетней высотой снежного покрова, определенной по постоянным рейкам метеорологической станции, и возможной высотой снежного покрова различной обеспеченности. Пользуясь этими зависимостями, канд. техн. наук Г. В. Бялобжецкий составил номограммы для двух возможных случаев установки рейки: на защищенном (рис. 5.11, а) и на открытом участке (рис. 5.11, б).

Вычисление расчетной высоты снежного покрова на трассе при упрощенном способе выполняют следующим образом. Для ближайшей метеорологической станции определяют среднюю многолетнюю наибольшую высоту снежного покрова $H'_{\text{м.п.}}$ по снегомерной рейке. Затем по номограммам (см. рис. 5.11) находят для каждого зна-

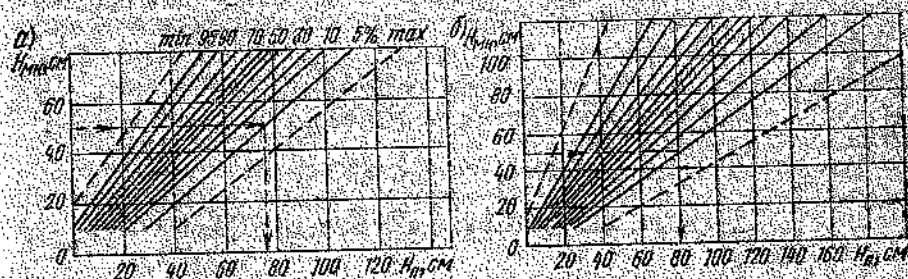


Рис. 5.11. Номограммы для определения расчетной высоты снежного покрова упрощенным методом

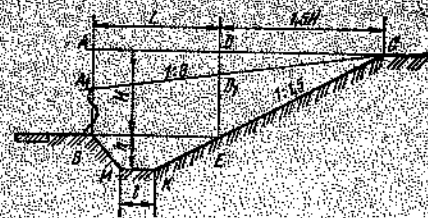


Рис. 5.12. Схема определения снегоемкости откоса

полотна в выемках. При обтекании выемок воздушным потоком все их поперечное сечение является зоной, в которой скорость потока значительно ниже, чем в поле. Снижение скорости наблюдается в выемках с крутыми и пологими откосами, но характер обтекания различен [18]. В выемках с крутыми откосами (1:1,5) образуются интенсивные завихрения, тогда как выемки с пологими откосами (1:5 и положе) обтекаются без завихрений. Снижение скорости тем больше, чем глубже выемка.

Характер обтекания выемок оказывает свое влияние на образование в них снежных отложений во время метелей. При подходе снеговетрового потока к выемке снег начинает откладываться уже перед наветренной бровкой. Миновав бровку, снеговетровой поток либо завихряется (в выемках с крутыми откосами), либо (если выемка имеет пологие откосы) плавно проходит в глубь выемки и теряет скорость. Поэтому в выемках с крутыми откосами (1:1,5) снег начинает откладываться в верхней части откосов, образуя характерный профиль со снежным козырьком. Такие отложения постепенно растут и спускаются внутрь выемки. Занос на дороге возникает, когда снежные отложения выйдут на проезжую часть. Считается, что выемки с крутыми откосами незаносимы, если объем снегоприноса к дороге меньше объема снега, который может разместиться на подветренном откосе выемки. Исходя из этого условие незаносимости выемок с крутыми откосами

$$W_{от} > W_l + W_n, \quad (5.23)$$

где $W_{от}$ — снегоемкость откоса выемки, $м^3/м$; W_l — объем снега, попадающего на откос при снегопадах, $м^3/м$; W_n — объем снега, поступающего к откосу с поля, $м^3/м$.

Определение параметров откоса, позволяющих разместить требуемый по условию незаносимости объем снега, проводят в следующем порядке (рис. 5.12).

Площадь, занимаемая снежной массой,

$$W_{от} = \left(LH + \frac{1,5H^2}{2} + \frac{d+l}{2} h \right) - \left(\frac{0,125(L+1,5H)^2}{2} \right), \quad (5.24)$$

где L — ширина кювета поверху (от бровки земляного полотна до линии откоса), м; H — глубина выемки, м; l — ширина кювета по дну, м; h — глубина кювета, м.

чения $H_{м.пр}$ соответствующие им значения многолетней наибольшей высоты снежного покрова $H_{м.пр}$ по постоянной рейке с заданной обеспеченностью. Найденное значение $H_{м.пр}$ можно считать равным расчетной высоте снежного покрова для участков трассы, где намечено строительство незаносимых насыпей.

Проектирование земляного полотна в выемках

Пользуясь формулами, находят объем снегоприноса, при котором выемка, не имеющая снегозащиты, не заносится.

Объем снега, откладывающегося при снегопадах,

$$W_{от} = (L + 1,5H) H_{м.пр}, \quad (5.25)$$

где $H_{м.пр}$ — наибольшая высота снежного покрова по данным гидрометеорологической службы, м.

Считается также, что незаносимость выемок можно достигнуть и другим путем — приданием им формы, при которой выемки будут хорошо продуваться ветром и снег не будет в них отлагаться. В этом и заключается смысл раскрытия выемок или разделки их под насыпь. Предполагается, что беспрепятственный пронос снега через раскрытые выемки можно обеспечить, придав их откосам очень пологие уклоны. Исходя из этого в нормативно-технических документах содержатся рекомендации раскрывать или разделять под насыпь выемки глубиной до 1 м, а выемки глубиной 1—5 м проектировать с пологими откосами от 1:4 до 1:6.

В разных условиях одинаковые участки заносятся по-разному. Так, в условиях Молдавской ССР нулевые места и малые насыпи снегозаносимы, но количество откладывающегося снега невелико¹.

Глубокие выемки с крутыми откосами не заносятся снегом, что объясняется большой снегоемкостью откосов. Выемки же глубиной до 6 м заносятся. Раскрытые выемки заносятся медленнее, так как ветровой поток в таких выемках имеет большую скорость, чем в выемках с крутыми откосами, а снегоемкость откосов больше, чем у выемок с крутыми откосами.

Исходя из этого при строительстве дорог в Молдавии выемкам глубиной до 6 м рекомендуется придавать пологие откосы вплоть до 1:10, что позволит решить проблему снежных заносов, так как создавать шитовые ограждения и лесопосадки нельзя из-за ценных земель. Уположение откосов позволит решить проблему устойчивости откосов и предотвращения оползневых склонов. Кроме того, при создании пологих откосов (до 1:10) появится возможность использовать их для посева сельскохозяйственных культур и механизированной обработки.

Проводя широкие исследования условий снегозаносимости дорог в районах Заполярья и Камчатки, проф. А. А. Комаров установил, что для этих районов по степени подверженности снежным заносам наиболее опасны все без исключения мелкие выемки (до 2 м), нулевые места, невысокие насыпи, а также выемки глубиной 8 м и более, которые в условиях европейской части СССР считаются незаносимыми [28].

Установлено, что снежный вал, возникающий за преградами, при турбулентном режиме течения потока при срыве струй имеет «угол естественного откоса», тангенс которого равен 1:10. Эта осо-

¹ Гринич В. Ф., Лисайчук А. И., Погореленский Г. М. Борьба со снежными заносами на дорогах Молдавии. — Автомобильные дороги, № 1, 1983, с. 13.

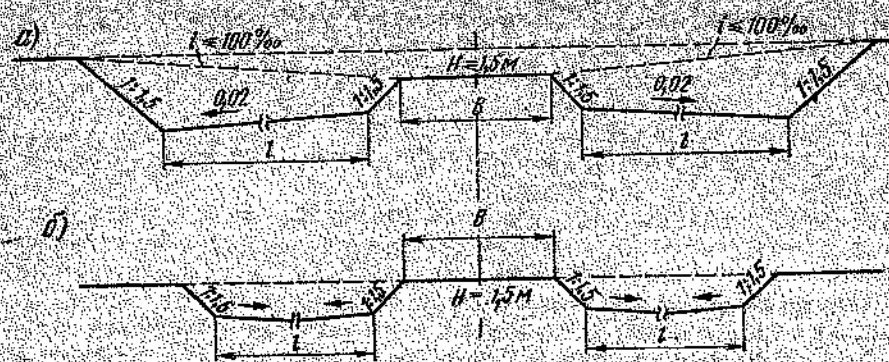


Рис. 5.13. Профиль земляного полотна в снегозаносимых районах (данные А. А. Комарова):

а — в выемках глубиной до 1,5 м; б — в нулевых местах

бенность снежных отложений при турбулентном потоке двухфазной смеси (снег + воздух) заложена в основу проектирования выемок специального профиля (рис. 5.13) с боковыми резервами шириной 8—20 м в зависимости от глубины выемки, направления господствующих ветров и объема снегоприноса. Создание выемок специального профиля при глубине до 2 м почти полностью предотвращает заносимость, но приводит к увеличению объема земляных работ на 60—70% по сравнению с типовыми профилями.

Исследования показывают, что в самом начале зимы, когда в раскрытых выемках еще не образовался снежный покров и поперечный профиль их не искажен накопившимися отложениями, значительная часть переносимого метелями снега действительно проносится через такие выемки. По данным Е. П. Андрулиониса¹, в этот период переносится через раскрытые выемки от 70—90% всего объема, участвующего в переносе. Однако в процессе очистки дороги (даже если она выполняется качественно) поперечный профиль раскрытых выемок искажается и объем задерживающегося в них снега быстро растет, пока пронос не прекращается полностью. С этого времени раскрытые выемки превращаются в сильнозаносимые.

По указанным причинам в настоящее время такие выемки везде ограждают средствами снегозащиты.

Наблюдения за снежными отложениями на дороге Куйбышев—Уфа зимой 1981—1982 гг. в выемках с пологими и крутыми откосами показали, что все они заносятся, если в течение зимы приносится достаточный объем снега для образования заносов, но ход образования снежных отложений зависит от формы выемок. В выемках с крутыми откосами отложения возникают сначала на откосах, затем спускаются на дорожное полотно. В выемках с пологи-

ми откосами (1:4) снег сразу проносится на проезжую часть и здесь откладывается.

В выемках с крутыми откосами снега откладывается больше, чем в выемках с пологими, но ход образования отложений позволяет дольше поддерживать проезд по дороге без появления снежных заносов.

Глубокие выемки заносятся медленнее мелких. Участки, расположенные в полувыемках, и участки с нулевыми отметками заносимы и, как правило, должны ограждаться.

Учет опыта дорожно-эксплуатационной службы и наблюдения за снегозаносимостью выемок с разной крутизной откосов приводят к выводу о нецелесообразности в ряде случаев раскрытия выемок или уположения их откосов. Эти меры не всегда достигают цели, с которой они были введены, а именно обеспечить пронос метелевого снега через выемки без образования отложений. Сам характер снежных отложений в раскрытых выемках по сравнению с выемками, имеющими крутые откосы, часто невыгоден, так как снег откладывается в первую очередь не на откосах, а на проезжей части. Поэтому выемки раскрытые и с уположенными откосами все равно приходится ограждать снегозащитой. В то же время очень пологие откосы требуют больших площадей земли и увеличивают объем земляных работ.

Однако в пользу раскрытых выемок имеется весомый аргумент. При уклоне откосов выемок $i=1:10$ можно проводить засев откосов сельскохозяйственными культурами, что на практике уже осуществляется в ряде районов СССР.

Поэтому в местах, где дороги прокладывают по землям, пригодным для сельскохозяйственного использования, выемки можно делать раскрытыми, придавая их откосам уклон от 1:7 до 1:10 в зависимости от характера сельскохозяйственных культур, под посев которых могут быть использованы откосы.

Если дорога прокладывается по землям, непригодным для сельскохозяйственных целей, в раскрытии выемок нет необходимости. В этом случае откосам следует придавать уклон исходя из условий их устойчивости.

Выемки, откосы которых не могут вместить объем приносимого снега, должны ограждаться снегозащитой. На участках с особенно ценными сельскохозяйственными землями, где нельзя применять защиты постоянного типа (высокие снегозащитные заборы, снегозадерживающие насаждения), следует использовать переносные щиты и передвижные заборы или устраивать выемки с дополнительной полкой.

С учетом изложенного для уменьшения снегозаносимости выемок и снижения затрат на их устройство рекомендуются следующие поперечные профили:

1) раскрытая выемка — в местности, где дороги прокладывают по землям, пригодным для сельскохозяйственного использования. Откосы таких выемок разрешается запахивать, причем уклон их назначают от 1:7 до 1:10 в зависимости от характера сельскохо-

¹ Андрулионис Е. П. Исследование снегозаносимости земляного полотна. Автореф. дис. канд. техн. наук. М. МАДИ, 1952.

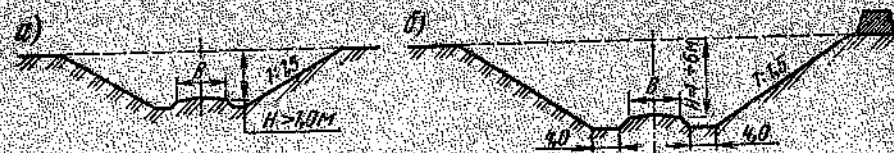


Рис. 5.14. Рекомендуемые поперечные профили выемок

зайятственных культур, под посев которых они будут использованы. Выемки с таким профилем надо ограждать снегозащитой.

2) выемки с крутыми откосами (рис. 5.14, а) любой глубины в любой местности, кроме случаев, для которых целесообразны профили, указанные в пп. 1 и 3. Если объем снегоприноса больше снегоемкости наветренного откоса, то выемки с таким профилем должны ограждаться снегозащитой;

3) выемка глубиной до 6 м с дополнительной полкой для проезда снегоочистителей и глухой преградой переменной высоты (рис. 5.14, б) — для участков с особенно ценными сельскохозяйственными землями, где экономически нецелесообразно размещать на полях вдоль дорог снегозащитные устройства постоянного типа или насаждения. В таких выемках с обеих сторон дорожного полотна (или с одной, если метелевые ветры имеют устойчивое одностороннее направление) и ниже его на 1 м устраивают полки — резервы шириной по 4 м каждая. Они служат местом для размещения снега, откладываемого в выемке или сбрасываемого с дорожного полотна при очистке, представляют собой дорогу для проезда роторных снегоочистителей, которые должны удалять снег, накапливающийся на откосах и на полке, прежде чем он выйдет на дорогу. Временное накопление снега на откосах и полке будет происходить при каждой метели, удалять накопившийся снег также надо после каждой метели. Для того чтобы откладываемый в выемке снег не выходил на дорожное полотно, необходимо, чтобы снегоемкость от-

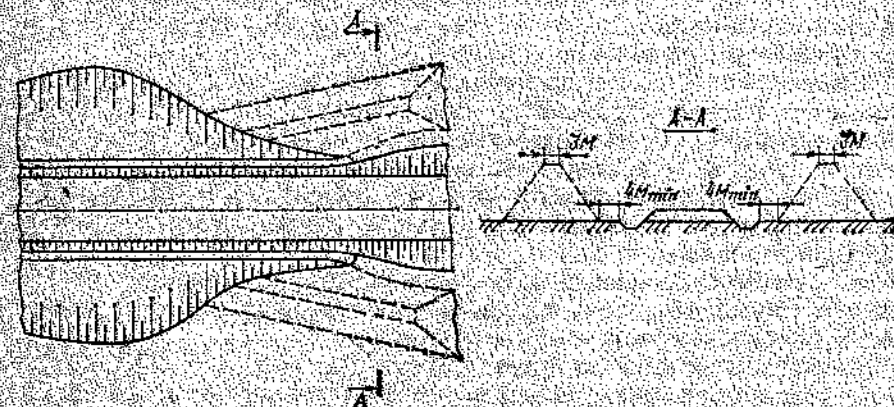


Рис. 5.15. Кавальеры у входа в выемку

коса и полки была больше объема снегоприноса за одну наиболее интенсивную метель. Поэтому условие незаносимости выемки с полкой

$$W_{от} + W_{пол} > W_{мет} + W_{мет.п} \quad (5.26)$$

где $W_{пол}$ — снегоемкость полки, $м^3/м$; $W_{мет}$ — объем снега, попадающего на откос при снегопаде за одну наиболее интенсивную метель, $м^3/м$; $W_{мет.п}$ — объем снега, поступающего к откосу с поля за одну наиболее интенсивную метель, $м^3/м$.

Снегоемкость откосов выемки уменьшается по направлению от наиболее глубокого места к входам в выемку. Чтобы избежать этого, предлагается грунт, полученный при разработке выемки, отсыпать в виде кавальеров, высота которых нарастает к входам в выемку (рис. 5.15). Расположение кавальеров в плане должно способствовать перехвату метелевого снега, подносимого к выемке с прилегающей местности. Вместо кавальеров вдоль внешней бровки откоса выемки может быть поставлен глухой забор переменной высоты.

На этом же принципе основано предложение В. Д. Иванова по устройству аккумуляционной полости выемки с одной или двух сторон в зависимости от направления метелевых ветров¹ (рис. 5.16).

Как и размеры снегоборных полок, размеры аккумуляционных полостей могут быть рассчитаны на полное или частичное задержание снегоприноса. В последнем случае необходимо периодически очищать полосу или полости.

Выемки на кривых следует считать сильнозаносимыми, трудными с точки зрения снегоборьбы. По возможности нужно избегать устройства выемок на кривых или принимать меры к тщательному их ограждению. Для уменьшения заносимости, повышения эффективности снегоборьбы и улучшения условий движения рекомендуется радиусы закруглений при устройстве кривых принимать не менее 300 м и проводить срезку выпуклых откосов.

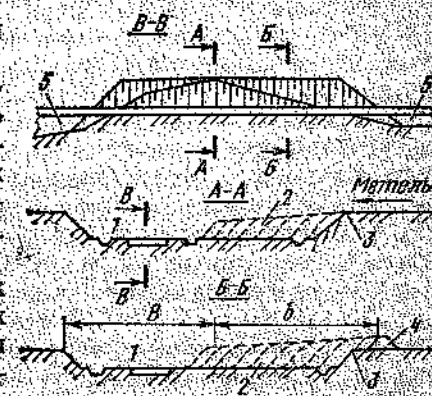


Рис. 5.16. Схема аккумуляционной полости

1 — выемка; 2 — снежные отложения в полости; 3 — бровка полости; 4 — выравнивающий вал; 5 — насыпь; 6 — ширина аккумуляционной полости поверху; В — ширина выемки

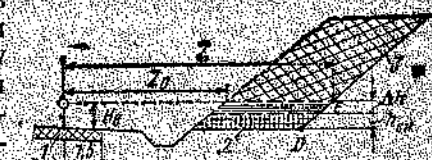


Рис. 5.17. Схема для расчета срезки, обеспечивающей пднмостъ дороги в плане с учетом снежных отложений: 1 — проезжая часть; 2 — ожидаемые снежные отложения; 3 — срезка

¹Иванов В. Д. Аккумуляционная полость выемки. — Автомобильные дороги, № 2, 1984, с. 9.

Кроме того, при проектировании кривых в плане вообще, а в выемках в особенности, необходимо проверять возможность образования снежных отложений на внутренней части кривых и назначать срезку, обеспечивающую видимость поверхности дороги с учетом этих отложений (рис 5.17).

Ширину срезки ($Z-Z_0$) определяют исходя из обеспечения видимости в плане аналитическим или графоаналитическим методами. Определяя уровень срезки (отметку точки D), учитывают толщину снежного покрова $h_{\text{сн}}$ и дополнительного слоя Δh , образующегося за счет снега, сбрасываемого с дороги при очистке. Минимальное возвышение глаза водителя над поверхностью снега в точке E принимается $\Delta H = 0,2 \div 0,3$ м. Тогда отметка уровня срезки в точке D :

$$H_D = H_E - (h_{\text{сн}} + \Delta h + \Delta H), \quad (5.27)$$

где H_E — отметка уровня глаза водителя (1,2 м).

Расчеты по указанной схеме необходимо проводить на участках кривых, проходящих в выемках, полувыемках, на косогорах и в нулевых отметках.

Уменьшение снеготаносимости, вызываемой особенностями поперечного профиля и плана. Существенное влияние на снеготаносимость оказывают ограждения на обочинах, снижая скорость снеговетрового потока и вызывая отложение снега на дороге.

Для районов с зимним расчетным периодом целесообразно разработать конструкцию легкоосъемных ограждений, которые следует удалять после образования слоя снега около дороги на участках с высотой насыпи до 2—3 м. Значительно уменьшается толщина снега на обочинах при установке за бровкой земляного полотна сигнальных столбиков в виде наклонных стоек или тумб с отгибами [9].

В районах с зимним расчетным периодом не рекомендуется устраивать разделительные полосы, приподнятые над поверхностью проезжей части, так как они оказывают тормозящее влияние на снеговетровой поток. При наличии бордюров обтекаемость дорожного полотна ухудшается. У бордюров накапливается снег. Ограждения и другие элементы обстановки дороги, размещаемые на разделительной полосе, полностью нарушают обтекаемость дорожного полотна и в районах с интенсивными метелями могут вызвать сильные заносы. Укрепительные полосы, создаваемые для сопряжения проезжей части с разделительной полосой, лучше выполнять с поперечным уклоном, равным поперечному уклону проезжей части.

Весьма снеготаносимы пересечения дорог, особенно в одном уровне. Число случаев, когда метелевый ветер подходит к дороге под заносоопасным углом, на пересечениях значительно больше, чем на прямых участках. У пересечений приходится делать широкие разрывы в снегозадерживающих насаждениях или в линиях снегозащитных устройств для пропуска пересекающихся дорог. Способствует заносам и то, что пересечения имеют многочисленные

ограждения, ориентирующие столбики, знаки, возвышающиеся островки для разделения потоков движения. Все эти препятствия вызывают накопление снега на пересечениях в одном уровне и затрудняют снегоочистку.

Для уменьшения снеготаносимости пересечений в одном уровне рекомендуется высоту насыпи на пересечении назначать по формуле [44]

$$H = H_{\text{сн}} + \frac{H_{\text{сн}}}{2b} \left(B_1 + B_2 + \frac{B_1 B_2}{b} \right) + \Delta H, \quad (5.28)$$

где $H_{\text{сн}}$ — высота снежных отложений на прилегающей территории, м; B_1 — ширина полотна основной дороги, м; B_2 — то же, второстепенной дороги, м; b — ширина полосы, на которую отбрасывают снег снегоочистители, м (для плужных снегоочистителей 4—5 м, для роторных 10—15 м); ΔH — запас высоты, равный 0,2÷0,5 м.

Пересечения в разных уровнях заносятся еще сильнее из-за их сложной конфигурации, наличия кривых малых радиусов, подъемов и спусков, значительная часть протяжения которых имеет ограждения. Съезды на пересечениях имеют большие поперечные и продольные уклоны, а их проезжая часть, как правило, уже проезжей части пересекающихся дорог. Очистка покрытий от снега затруднена не только на съездах, но и на самом путепроводе, так как нельзя сбрасывать удаляемый снег в стороны, поскольку он будет попадать на проходящую внизу дорогу. Режимы автомобильного движения на пересечениях характеризуются регулярным торможением, что способствует быстрому уплотнению снега, образованию неровностей и скользких поверхностей.

Снеготаносимость пересечений в разных уровнях можно уменьшить, если устраивать съезды без ограждений, но для безопасности движения придавать их откосам уклон 1:6; на подходах к пересечениям применять снегозащитные устройства или снегозадерживающие насаждения для перехвата снега, подносившего метелью; дороги более высокой категории прокладывать по путепроводу для улучшения их продуваемости и облегчения снегоуборки. Вариантов с несколькими путепроводами или проложения пересекаемой дороги в выемке лучше избегать.

5.3. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ДОРОГ ОТ СНЕЖНЫХ ЗАНОСОВ

Выявление заносимых участков. При проектировании дорог исходят из требования полного исключения попадания снега на покрытие, что практически нереально. Часто выдвигается и другое требование, исходящее из того, что служба содержания дорог должна вообще не допускать отложений снега на поверхности дороги, своевременно его удаляя снегоочистительными машинами. Это требование невозможно реализовать даже теоретически. Если предположить, что снегоочистительные машины в период снегопада

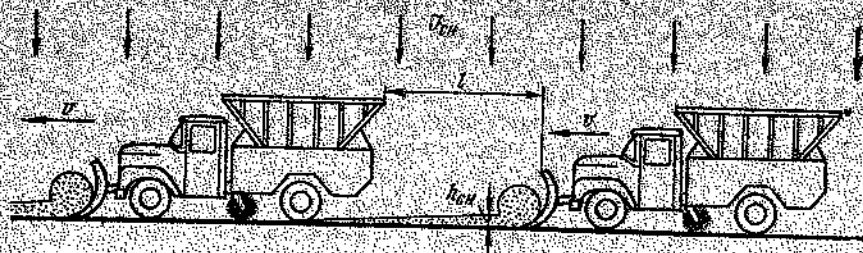


Рис. 5.18. Схема для расчета толщины снежных отложений за период между проходами снегоочистительных машин

движутся друг за другом на расстоянии l со скоростью u (рис. 5.18), то толщина снега за время, пока машина пройдет это расстояние,

$$h_{\text{сн}} = \frac{I_{\text{сн}} l}{1000 \rho u} \quad (5.29)$$

где $I_{\text{сн}}$ — интенсивность снегопада, мм/ч; ρ — плотность снежных отложений, г/см³.

Из уравнения следует, что $h_{\text{сн}} = 0$ может быть только при $l = 0$, т. е. только в том случае, если снегоочистительные машины идут вплотную друг за другом, а весь поток автомобилей снят с дороги. Таким образом, нельзя ставить вопрос о полном исключении попадания снега на дорогу. Можно говорить о минимально допустимой толщине слоя снега исходя из принятого уровня обеспеченности расчетной скорости, обоснованного технико-экономическими расчетами.

Этим объясняется значительный разброс в требованиях к допустимой толщине слоя снега на покрытии в различных странах.

Так, на дорогах провинции Квебек (Канада) допустимую толщину снега на покрытии принимают в зависимости от уровня содержания, который назначается по интенсивности движения. Для первого уровня (среднесуточная интенсивность движения более 2400 автомобилей) допустимая толщина слоя принимается 20 мм; для второго (интенсивность от 500—2500 авт/сут) — 40 мм; для третьего (интенсивность менее 500 авт/сут) — 70 мм.

В Финляндии на дорогах с высокой интенсивностью движения допускается толщина рыхлого снега 30 мм, с низкой интенсивностью 70 мм.

Выполненные автором исследования позволяют установить для ориентировочных расчетов требования к допустимой толщине слоя снега на покрытии с учетом обеспеченности расчетной скорости зимой (см. табл. 2.6). Эти требования предусматривают обеспечение движения одиночных автомобилей с принятыми в проекте скоростями в неблагоприятные периоды года. Более точно допустимую толщину слоя на покрытии следует определять на основании технико-экономических расчетов, учитывающих интенсивность и длительность снежных отложений на дороге, интенсивность движения, затраты на зимнее содержание (см. гл. 7).

Снегозаносимость дорог определяется объемом снега, слагающегося на дороге при снегопадах и метелях. При спокойных снегопадах на дорогах образуются сравнительно равномерные снежные отложения, имеющие небольшую плотность (0,07—0,15 г/см³). Толщина таких отложений за один снегопад в большинстве случаев составляет 1—5 см, реже 6—15 см, редко 16—35 см; в горных районах — до 1 м, а в редких случаях более 1 м. Такие отложения называют снегопадными. Они распределяются одинаковой толщины по всей поверхности дороги. Толщину отложений после каждого снегопада можно определить на основании данных многолетних наблюдений ближайшей метеорологической станции или вычислить на основании данных об интенсивности снегопада различной вероятности

$$h_{\text{сн}} = I_{\text{сн}} t_{\text{сн}} / 0,1 \rho, \quad (5.30)$$

где $I_{\text{сн}}$ — интенсивность снегопада, мм/ч; $t_{\text{сн}}$ — продолжительность снегопада, ч; ρ — плотность снежных отложений, г/см³.

Значительно большие объемы снежных отложений образуются при метелях. Плотность метелевых отложений в 1,5—3 раза выше, чем при снегопадах, и в большинстве случаев составляет 0,2—0,35 г/см³.

На незащищенных участках толщина метелевых отложений зависит главным образом от параметров поперечного профиля дороги и объема снегоприноса. Методы определения годового объема снегопереноса и снегоприноса достаточно полно разработаны и апробированы при проектировании автомобильных и железных дорог [10, 58].

Во многих случаях данные о снегоприносе и снегозаносимости можно получить от службы эксплуатации автомобильных и железных дорог, расположенных на расстоянии не более 100 км от проектируемой дороги. С определенной степенью надежности категория и уровень заносимости каждого участка проектируемой дороги могут быть определены по совокупности характеристик плана и профиля и примыкающих к ней снегоборных площадей, рельефа местности, растительности, расположению дороги по отношению к формам рельефа, наличию населенных пунктов и других препятствий на пути снегоприноса. При проложении дороги на открытой местности заносимые участки можно определить по признакам, указанным в табл. 5.3.

К заносимым относят участки, пересекающие косогоры, особенно в выемках, и прежде всего на подветренных косогорах и в пределах их нижней части (5—10 м от подошвы), а также участки с созданными около них снегозадерживающими лесонасаждениями в период их роста или около старых лесонасаждений, потерявших способность задерживать снегопринос заданной обеспеченности. Заносимы участки с ограждениями из металлических планок, железобетонных брусев, парапетов, направляющих островков возвышающегося типа и бордюров, сплошных стен или густых кустарниковых насаждений на разделительной полосе, с частым располо-

Таблица 5.3

Категория заносимости участков	Краткая характеристика участка	Очередность защиты
I	Нераскрытые выемки глубиной до 6 м и больше, если их подветренный откос не может вместить приносимый в течение зимы снег	В первую очередь
II	Выемки с пологими откосами, разделанные под насыпь или раскрытые. Нулевые места и невысокие насыпи ниже H_n	Во вторую очередь
IIA	Участки с ограждениями, надолбами, парапетами, частыми сигнальными столбиками, бордюрами, кривые в плане радиусом менее 200 м, пересечения и примыкания	То же
III	Насыпи высотой от H_n до H_n	В последнюю очередь

Примечание. H_n — средняя многолетняя наибольшая в течение зимы толщина снежного покрова в данной местности; H_n — высота заносимой насыпи в данной местности при толщине снежного покрова заданной обеспеченности.

жением сигнальных столбиков над водопропускными трубами и на кривых малого радиуса, пересечения и примыкания в одном и разных уровнях.

К заносимым относят: насыпи, запроектированные с необходимыми превышениями над снежным покровом; выемки глубже 8,5 м при расчетном годовом снегоприносе до 100 м³ на 1 м дороги; участки, пересекающие лесные массивы шириной с каждой стороны дороги не менее 100 м и равномерной полнотой насаждений не ниже 0,5; участки, пересекающие сады шириной с каждой стороны дороги не менее 150 м; кустарники не ниже средней густоты; ягодники и виноградники шириной с каждой стороны дороги не менее 250 м.

Во всех сомнительных случаях на стадии изысканий необходимо проводить съемочные работы на прилегающей придорожной полосе, причем ширина обследования полос зависит от объема снегоприноса [58].

По итогам съемочно-геодезических работ и визуального обследования придорожной полосы составляют планы (планшеты) в масштабе 1:5000, на которые наносят ситуацию, включая все пересечения с автомобильными и железными дорогами, насаждения, плодовые сады и ягодники, гари и вырубки, карьеры, отвалы, овра-

ги, балки, реки, озера, болота, сельскохозяйственные угодья, линии электропередачи и связи, населенные пункты, различные сооружения.

Обследования необходимы для выявления наиболее существенных деталей ситуации, влияющей на снеготаносимость дороги (с указанием задерживаемого объема снега в пределах каждого отрезка дороги каждым видом преграды). Детальные замеры, выполненные в процессе изысканий, позволяют определить объем снега, задерживаемого различными препятствиями в зоне детального и визуального обследований (табл. 5.4).

Объем снега, откладывающегося у неровностей рельефа (склонов холмов, откосов оврагов, балок и т. д.), зависит от их крутизны и высоты

$$W = \alpha h^2, \quad (5.31)$$

где α — коэффициент, зависящий от крутизны и расположения склонов (принимается по табл. 5.5); h — глубина понижений или высота возвышений рельефа, м.

На основании собранных материалов разрабатывают основные положения рабочего проекта защиты дороги от снежных заносов, в которые входят: протяженность и характеристика снеготаносимых участков; объемы снегозащитных мероприятий; площади земель по землепользователям и видам угодий, намеченные под сне-

Таблица 5.4¹

Характеристика рельефа и растительности снеготаносимого бассейна	Снегозадерживающая способность
Высокоствольный лес шириной более 100 м	Полное задержание на залесенной площади, увеличенной со всех сторон с учетом ветровой тени, равной пятикратной высоте леса
Речные поймы, поросшие кустарником, овражные русла. При ширине более 100 м, глубине более 8 м с крутизной откоса 1:1	Полное снегозадержание
Кустарники средней густоты при ширине массива, м: ≤ 250 > 250	Полное снегозадержание $W = 0,5 S h_n$
Неровности рельефа	Частичное снегозадержание

¹ По данным Совхозпроекта.

Примечание. W — объем задерживаемого снега, м³; S — ширина кустарникового массива, м; h_n — средняя высота кустарника, м.

Таблица 5.6

Заложение откосов и склонов	Значения коэффициента β для склонов и откосов		Заложение откосов и склонов	Значения коэффициента β для склонов и откосов	
	навстречных	подветренных		навстречных	подветренных
1:0,5	2	10	1:4	0,1	0,5
1:1	1,25	3	1:5	0,025	0,1
1:2	0,75	2	1:6	0,01	0,075
1:3	0,25	1,25			

гозадерживающие лесонасаждения и другие мероприятия, их согласование; схемы размещения древесных, кустарниковых пород в лесонасаждениях и т. д.

Экономическое обоснование снегозадерживающих лесонасаждений и устройств. Из всех мероприятий и сооружений для защиты дорог от снежных заносов наиболее эффективны снегозащитные насаждения. Снегозадерживающие лесонасаждения рекомендуются проектировать в расчете на задержание снегоприноса 10% обеспеченности при объеме его до 250 м³/м дороги, а в отдельных случаях и при больших объемах снегоприноса. Процент обеспеченности может быть уточнен и обоснован индивидуально технико-экономическими расчетами.

Снегозадерживающие лесонасаждения должны: вступать в работу по защите дорог от снежных заносов возможно быстрее после посадки; задерживать и распределять снег, приносимый за зимний период, не допуская его отложений на дороге; быть долговечными, устойчивыми против снеголома, пожаров, вредителей и болезней; допускать комплексную механизацию на всех этапах их выращивания и содержания; оказывать мелиоративные влияния на прилегающие сельскохозяйственные угодья и обладать декоративными качествами; быть экономически эффективными и занимать минимальную площадь.

Снегозащитные лесонасаждения обладают двумя основными недостатками: медленно вступают в работу и требуют для размещения значительной площади прилегающих к дороге земель. В связи с требованиями охраны природы в последние годы значительно усложнились вопросы отвода земель под лесонасаждения. В этой связи возникает необходимость поиска новых конструкций по защите дорог от снежных заносов, которые были бы эффективны и не требовали дополнительной площади земли.

Одним из эффективных решений является создание конструкций снегозадерживающих заборов, просветность которых непрерывно изменяется во время метели в зависимости от скорости ветра (рис. 5.19), что позволяет значительно увеличить объем задерживаемого снега¹.

¹ А. с. 1164360 (СССР). Снегозащитное устройство. Тихонов В. А., Карих Ю. С., Казанский В. Д. — Заявл. 29.11.83. № 3718792/29—11. Опубликовано в В. И., 1985, № 24.

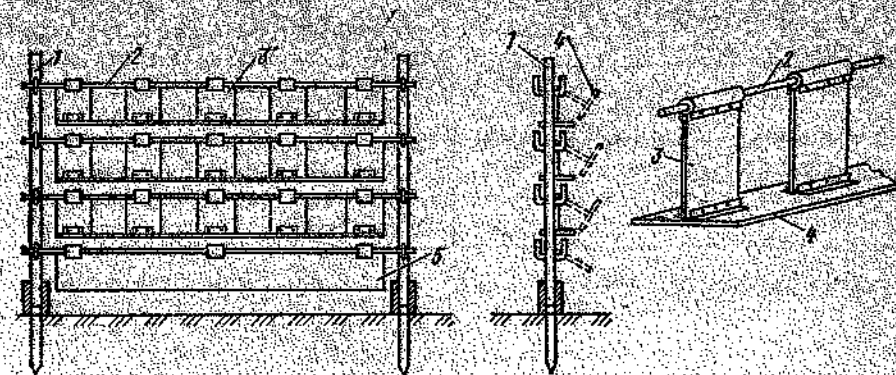


Рис. 5.19. Снегозадерживающий забор с изменяющейся просветностью:
1 — опора; 2 — ось; 3 — вертикальный щиток; 4 — горизонтальный щиток; 5 — нижний щиток

Другим вариантом решения этой проблемы может быть устройство над сильнозаносимыми участками легких навесов или укрытий из полиэтиленовых пленок, надувных навесов или из других легких материалов и конструкций (рис. 5.20). Например, в Швеции разработаны проекты создания навесов из стекловолоконистых материалов над особо заносимыми участками. Считается, что за счет улучшения условий движения и сокращения затрат на зимнее содержание дорог такие конструкции быстро окупятся¹.

Целесообразность создания снегозадерживающих лесных насаждений вдоль автомобильных дорог или других способов защиты от снежных заносов определяют на основе расчета общей (абсолютной) и сравнительной экономической эффективности.

Примерные условия эффективного применения различных способов снегозадержания приведены в табл. 5.6.

В стоимость зимнего содержания дорог входят все мероприятия по уменьшению снеготаносимости, устройству и эксплуатации средств снегозадержания, очистке дорог от снега; борьба с лавинами, зимней скользкостью и наледями, относящиеся к данной дороге

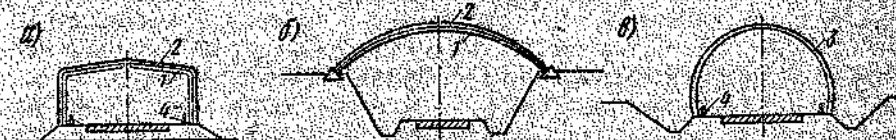


Рис. 5.20. Снегозащитные укрытия на сильнозаносимых участках с высокой интенсивностью движения:

а — на низких насыпях; б — на участках снеготаносимых выемок; в — на нулевых участках и на участках мелких выемок;
1 — железобетонный или деревянный каркас; 2 — прочная полиэтиленовая пленка или стекловолоконистое полотно; 3 — надувная конструкция; 4 — ограждение

¹ Betou Bertil In. Vågar i framtiden. 1978, 20, § 1, 10—13, 37.

Таблица 5.6

Способ предотвращения снежных заносов	Условия, при которых целесообразно их применение
Незаносимые насыпи	При любом объеме снегопереноса, если рельеф позволяет проложить дорогу в насыпи
Выемки специального профиля	При любом объеме снегопереноса, если размеры откоса и полос позволяют разместить весь объем приносимого снега
Снегозащитные галереи и навесы	При любом объеме снегопереноса
Снегозадерживающие лесонасаждения	В районах с объемом снегопереноса до 250 м³/м, при большем объеме — по специальному проекту
Снегозадерживающие заборы	В районах с объемом снегопереноса не меньше 150 м³/м
Переносные щиты, устанавливаемые в два ряда	То же
Переносные щиты, устанавливаемые в один ряд, а также щиты на телескопических стойках	В районах с объемом снегопереноса менее 150 м³/м

или участку. Из общего перечня инженерных и организационных решений по защите дороги от снежных заносов намечается несколько вариантов, наиболее приемлемых в конкретных условиях проектирования и для каждого из этих вариантов выполняется расчет приведенных затрат.

При определении капитальных вложений на снегозащитные насаждения включают все затраты на посадку и выращивание насаждений, изготовление щитов, строительство заборов и заносимых насыпей. Кроме того, в состав капитальных затрат на создание насаждений, выемок специального профиля и заборов следует включать возмещение потерь, вызванных изъятием земельных угодий из сельскохозяйственного производства для размещения на них средств снегозадержания.

Нельзя забывать и о том, что лесонасаждения вступают в работу не сразу. В течение нескольких лет на этих участках необходимо вести снегозащиту другими средствами, чаще всего переносными щитами, стоимость изготовления и эксплуатации которых необходимо включать в приведенные затраты на снегозадерживающие лесонасаждения.

Лесные полосы способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур на прилегающих полях, и прибавка урожайности может рассматриваться как прибыль, на величину которой следует уменьшить затраты.

С учетом этих положений для каждого варианта комплекса инженерных, организационных и технологических решений по защите дорог вычисляют сумму капиталовложений за расчетный срок сравнения с учетом разновременности затрат [58]:

$$K = K_{н.о} + \sum_{t=1}^n K_t / (1 + E_{н.п})^t + K_{н.доп} \sum_{t=1}^l K_{т.доп} / (1 + E_{н.п})^t, \quad (5.32)$$

где $K_{н.о}$ и $K_{н.доп}$ — капиталовложения начального года в основную и дополнительную защиту, руб.; K_t и $K_{т.доп}$ — капиталовложения в основную и дополнительную защиту в последующие годы, руб.; $E_{н.п}$ — нормативный коэффициент для приведения разновременных затрат; l — период, в течение которого необходимы дополнительные средства защиты, т. е. период формирования основного средства защиты, лет; n — период суммирования, лет.

Затем определяют суммарные эксплуатационные затраты на основную и дополнительную защиту с учетом их отдаленности по времени:

$$C_s = \sum_{t=1}^n \frac{C_t - C_{пр,t}}{(1 + E_{н.п})^t} + \sum_{t=1}^l \frac{C_{доп,t}}{(1 + E_{н.п})^t}, \quad (5.33)$$

где C_t — годовые эксплуатационные расходы на защиту дороги от заносов при данном способе защиты на год t , руб.; $C_{пр,t}$ — годовая прибыль от снегозадерживающих насаждений с учетом повышения урожайности на прилегающих полях на год t , руб.; $C_{доп,t}$ — эксплуатационные затраты на дополнительную защиту на год t , руб.

В суммарные эксплуатационные затраты включают все затраты на ремонт и содержание насыпей, снегозадерживающих устройств и насаждений, а для переносных щитов также затраты на их установку, перестановку и снятие.

Суммарные эксплуатационные затраты, приведенные к базисному году,

$$C = C_s / \sum_{t=1}^n 1 / (1 + E_{н.п})^t, \quad (5.34)$$

После этого определяют суммарные приведенные затраты по каждому варианту

$$\Pi = C + E_n K, \quad (5.35)$$

где E — нормативный коэффициент эффективности.

Следует отметить, что рассмотренная методика технико-экономических расчетов исходит из весьма важного допущения о том, что все сравниваемые варианты обеспечивают одинаковые условия движения автомобилей по защищаемой дороге. Если это не соблю-

дается, в расчете необходимо учесть изменение капитальных и текущих затрат автомобильного транспорта на перевозку грузов и пассажиров. Методика таких расчетов изложена в гл. 7.

3.4. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ С УЧЕТОМ ЗАТРАТ НА ЗАЩИТУ ДОРОГ ОТ СНЕЖНЫХ ЗАНОСОВ

Проектная линия и затраты на защиту от заносов. Наличие тесной связи между снегозаносимостью дорог, параметрами продольного и поперечного профилей, дополнительными мероприятиями, необходимыми для защиты дорог от снежных заносов, требует совместной комплексной проработки этих вопросов на стадии проектирования. Особую важность эти вопросы приобретают при проектировании продольного профиля, поскольку именно на этом этапе закладываются все основные параметры насыпей и выемок, от которых зависят степень заносимости дорог и потребность в дополнительных мероприятиях по борьбе со снежными заносами.

В настоящее время создан ряд методов и программ автоматизированного проектирования автомобильных дорог, позволяющих при выборе оптимального решения учесть многие природно-климатические факторы, режим и безопасность движения, распределение объемов земляных работ, стоимостные и другие факторы.

При проектировании продольного профиля основное внимание уделяется балансу земляных масс, снижению стоимости земляных работ и искусственных сооружений. При этом вопросы защиты дорог от снежных заносов решаются весьма упрощенно: назначаются ведущая рабочая отметка и очертание земляного полотна в насыпях, которые закладываются как ограничение на контрольных точках продольного профиля. Все остальные вопросы, связанные с защитой дороги от снежных заносов при проектировании продольного профиля, не учитываются, что приводит к искажению стоимостных показателей проектируемой дороги и затрат на ее эксплуатацию при выборе оптимального решения.

Поэтому основным направлением в развитии методов проектирования оптимального продольного профиля в сложных природных условиях должно быть введение в методы оптимизации стоимостных факторов, неучтенных к настоящему времени, определяющих положение проектной линии и зависящих от природных условий.

В первую очередь при выборе параметров продольного профиля на каждом участке необходимо учитывать затраты на все дополнительные сооружения и мероприятия по защите дорог от снежных заносов, которые могут существенно повлиять на стоимостные показатели дороги и на выбор параметров продольного профиля.

В целях обеспечения незаносимости дорог снегом может быть предусмотрено устройство раскрытых выемок или разделов их под

насыпь при глубине до 1 м, уположенных откосов в выемках глубиной 1—5 м в комплексе со снегозащитными мероприятиями, дополнительными полками для складирования снега, а также сглаживание бровок земляного полотна.

Применение указанных мероприятий приводит к росту объемов земляных работ, а следовательно, их стоимости, потерям от изъятия земель в связи с увеличением площади, занимаемой земляным полотном.

На прилегающих к земляному полотну участках могут быть предусмотрены лесонасаждения и устройства вдоль выемок и нулевых мест, снегозадерживающие заборы капитального типа, капитальные стены сухой кладки, изгороди и переносные щиты. Создание ограждений, помимо капитальных затрат на их строительство, вызывает существенные эксплуатационные затраты и значительные потери от изъятия земель.

Выполненные в Гипродорнии расчеты показывают, что капитальные затраты на снегозадерживающие устройства, например, для районов Куйбышевской обл. на 1 м длины выемок могут составить 30 руб. При установке однорядных заборов капитального типа, двухрядных заборов и дополнительных мероприятий капитальные затраты могут превысить 60 руб. Аналогичных капитальных и эксплуатационных затрат требуют заборы передвигающегося действия.

Что касается наиболее распространенных щитовых ограждений, то капитальные затраты на их устройство составляют до 1 900 руб. на 1 км, а эксплуатационные затраты могут достигать в год 360 руб. на 1 км. При отнесении данных затрат на 1 км выемок эти показатели будут несколько большими с учетом установки щитов на входах за нулевыми участками. Приведенные затраты по щитовым ограждениям при сроке их службы 7 лет и сроке приведения затрат на дорожные сооружения 20 лет составят порядка 6,6 тыс. руб. на 1 км щитов, т. е. около 8 руб. на 1 м выемок.

Снегозащитные насаждения, размещаемые вдоль выемок для района с очень трудными условиями снегоборьбы требуют на 1 км капитальных затрат по их посадке в размере 616—902 руб., а эксплуатационных расходов до 100 руб. При этом возникают существенные потери от изъятия земель под защитные посадки.

Помимо указанных мероприятий, на дорогах реализуют различные виды работ по зимнему содержанию дорог. Годовые расходы на зимнее содержание 1 км выемок составляют до 12 тыс. руб. Следовательно, за 20 лет работы дороги суммарные приведенные расходы на зимнее содержание могут составить порядка 100 тыс. руб. на 1 км выемок, или 100 руб. на 1 м.

На участках насыпей также имеют место затраты на зимнее содержание дорог. Например, при высоте насыпи до 1 м на косогоре годовые затраты на зимнее содержание в указанном районе достигают 3 тыс. руб. на 1 км дороги.

Анализ показывает, что общие капитальные и эксплуатационные затраты по любому из снегозащитных устройств практически пропорциональны длине выемок и мелких насыпей, которые, в свою

¹ При написании раздела использованы материалы исследований, выполненных в Гипродорнии Ю. С. Карих.



Рис. 5.21. Взаимосвязь параметров выемок и насыпей при изменении положения проектной линии.

1, 2 — варианты положения проектной линии.

насыпях от h_1 до h_2 , смещение нулевых мест. Вследствие этого изменится длина выемок от l_1 до l_2' и насыпей от l_1 до l_2' , а также числа пикетных и плюсовых точек, приходящихся на выемки от N_1 до N_2' и насыпи N_1 до N_2' .

В зависимости от стоимости конструктивных элементов дорог при смещении проектной линии в выемках вверх, т. е. $h_1' < h_1$; $l_1' < l_1$ и $N_1' < N_1$, в насыпях могут наблюдаться любые случаи, т. е. $h_2 \leq h_2'$, $l_2 \geq l_2'$, $N_2 \leq N_2'$, за исключением напряженного хода, когда проектная линия наносится по предельным нормативным параметрам. В последнем случае при $h_1 > h_1'$ всегда $h_2 < h_2'$.

Полученная разница в капитальных и эксплуатационных затратах на снегозащитные элементы по данным вариантам:

$$\Delta C_{з.с.} = C_{з.с.} - C'_{з.с.} = q_{з.с.} l_1 - q_{з.с.} l_1', \quad (5.36)$$

где $\Delta C_{з.с.}$ — снижение капитальных затрат и эксплуатационных затрат по зимнему содержанию дорог от изменения средней рабочей отметки в выемке от h_1 до h_1' , тыс. руб.; $C_{з.с.}$ и $C'_{з.с.}$ — общие капитальные и эксплуатационные затраты по зимнему содержанию дорог в l_1 выемке соответственно по первому и второму вариантам продольного профиля, тыс. руб.; $q_{з.с.}$ — единичная стоимость зимнего содержания дорог на 1 м выемки, тыс. руб.

Анализ перечисленных факторов свидетельствует о том, что при оптимизации продольного профиля необходимо учитывать в комплексе изменения стоимости всех конструктивных элементов дороги и дополнительных сооружений, зависящих от рабочих отметок.

Методы оптимизации продольного профиля. В СССР методы оптимизации продольного профиля достаточно отработаны и находят практическое применение в ряде проектных организаций. Одним из них является метод структурного представления проекции градиента, вошедший в комплекс программы «Профиль» [50, 51]. При минимизации стоимости строительства в данном методе исключают лишь те затраты, по которым могут различаться варианты проектной линии. Предполагается, что поскольку допустимые варианты незначительно различаются по длине, то расходы, пропорциональные длине трассы, например, при равенстве единичных затрат на строительство дорожной одежды в насыпях и выемках, при

очередь, зависят от рабочих отметок, определяемых совокупностью природных условий.

Уменьшение рабочих отметок в выемках относительно проектной линии, оптимальной по стоимости строительства земляного полотна и малых искусственных сооружений (рис. 5.21), от h_1 до h_1' с целью снижения затрат по снегозадерживающим элементам, вызовет неизбежное изменение рабочих отметок в прилегающих

проектировании продольного профиля можно не учитывать. В связи с этим для стоимости строительства C принято:

$$C = C_{з.п.} + C_{ис.с.}, \quad (5.37)$$

следовательно,

$$C_{з.п.} = \int_0^L f(l) dl, \quad (5.38)$$

где $C_{з.п.}$ — стоимость возведения земляного полотна, тыс. руб.; $C_{ис.с.}$ — стоимость искусственных сооружений, тыс. руб.; $f(l)dl$ — затраты на возведение элементарного участка земляного полотна, тыс. руб.; L — длина проектируемого участка трассы, км.

Для получения модели критерия оптимальности профиль земной поверхности $z(l)$ представлен в виде набора отметок пикетных и плюсовых точек и расстояний между ними.

Проектная линия $y(l)$ отыскивается так же, причем в качестве переменной приняты рабочие отметки в узлах ломаной $h_i = y_i - z_i$.

Профиль разбивают на участки, на каждом из которых известны поперечные профили земляного полотна, поперечный уклон местности, группа и источники получения грунта и, тем самым, единичные стоимости их разработки.

Так как участок состоит из нескольких элементов, то:

$$C_{з.п.} = \sum_{j=0}^n \int_0^{\Delta l_j} f(l) dl, \quad (5.39)$$

$$\int_0^{\Delta l_j} f_j(l) dl = \int_0^{\Delta l_j} F_j(l) q(l) dl, \quad (5.40)$$

где Δl_j — длина j -го элемента; n — число элементов; $F_j(l)$ и $q(l)$ — соответственно площадь поперечного сечения земляного полотна и единичная стоимость его возведения.

Выбранный метод представления исходного и проектного профилей позволили перейти от переменной l к переменной h — рабочей отметке. На каждом элементе

$$h = h_j + \frac{h_{j+1} - h_j}{\Delta l_j} l, \quad (5.41)$$

где h_j, h_{j+1} — неизвестные отметки в узлах ломаной; l — расстояние от начала элемента; Δl_j — длина элемента.

Из формул (5.39) и (5.41)

$$C_{з.п.} = \sum_{j=0}^n \frac{\Delta l_j}{h_{j+1} - h_j} \int_{h_j}^{h_{j+1}} F_j(h) q(h) dh, \quad (5.42)$$

где $F_j(h)$ — зависимость площади поперечного сечения земляного полотна от рабочей отметки; $q_j(h)$ — зависимость единичных стоимостей от рабочих отметок.

Зависимости $F_j(h)$ могут быть получены для любых поперечных профилей земляного полотна как типовых, так и индивидуальных.

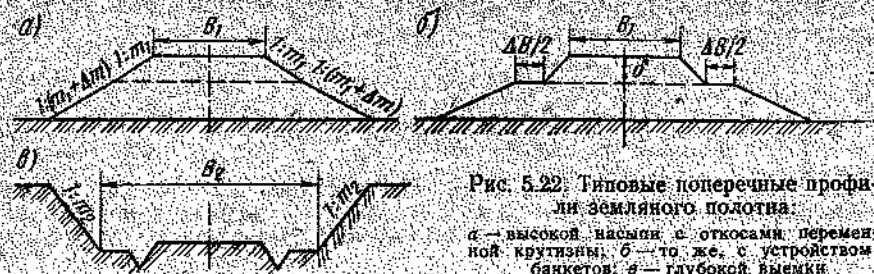


Рис. 5.22. Типовые поперечные профили земляного полотна:
а — высокой насыпи с откосами переменной крутизны; б — то же, с устройством banquetов; в — глубокой выемки

Анализ разных поперечных профилей земляного полотна, выполненный В. И. Струченковым, показал, что в любом случае график $F_1(h)$ состоит из отрезков парабол второй степени. Например, для типовых поперечных профилей, показанных на рис. 5.22, площадь поперечного сечения земляного полотна от рабочей отметки $F(h)$ будет равна

$$-B_2h + m_2h^2 \text{ при } h \leq 0;$$

$$B_1h + m_1h^2 \text{ при } 0 < h < \delta_1;$$

$$B_1h + m_1h^2 + \Delta B(h - \delta_1) + \Delta m_1(h - \delta_1) \text{ при } h > \delta_1,$$

где δ_1 , B_1 , m_1 , B_2 , m_2 , Δm_1 и ΔB_1 — параметры, смысл которых ясен из приведенных рисунков.

Разница в площади земель, занимаемых земляным полотном в насыпях и выемках, видна из рис. 5.23.

Различные типовые поперечные профили земляного полотна отличаются численными значениями указанных выше параметров. Возможно также появление дополнительных изломов на кривой $F(h)$.

Что касается искусственных сооружений, то $C_{п.с.}$ вычисляют по заданным зависимостям стоимости искусственных сооружений от соответствующих рабочих отметок.

Минимизация целевой функции — строительной стоимости $C = C_{з.п.} + C_{п.с.}$ осуществляется на основе специально разработанных алгоритмов [50].

Затраты на дорожную одежду и водоствод также суммируются со стоимостями земляного полотна, малых искусственных сооружений, потерь от изъятия земель под элементы дорог, затрат на зимнее содержание дорог. Суммарные зависимости используют при оптимизации продольного профиля на ЭВМ.

На основе работ, проведенных совместно Гипродорнии и ВНИИ транспортного строительства [51], к структуре критерия оптимальности добавлены потери от изъятия земель под конструктивные снегозащитные элементы дорог ($C_{с.з.}$).

$$C = C_{з.п.} + C_{п.с.} + C_{с.з.} \quad (5.43)$$

При учете указанных потерь достаточно учитывать ту ее часть, которая зависит от положения проектной линии, т. е. от рабочих

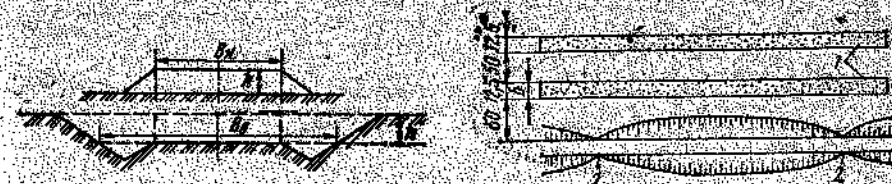


Рис. 5.23. Разница площадей поперечных сечений насыпей и выемок при одинаковых рабочих отметках



Рис. 5.24. Схема размещения двухрядных лесопосадок:
1 — полосы снегозащитных лесонасаждений; 2 — нулевые места

отметок. На основании изменения площади земель, занимаемых земляным полотном и дополнительными сооружениями при изменении рабочих отметок, определяют потери от изъятия этих земель в каждом варианте проложения проектной линии. Методика позволяет учесть потери от изъятия земель под резервы, кавальеры и карьеры.

Зависимость затрат на снегозащитные элементы и ограждения от рабочих отметок. При поиске на ЭВМ оптимального продольного профиля с учетом затрат на зимнее содержание дорог необходимо учитывать суммарные затраты, зависящие от длины выемок и, как следствие, от рабочих отметок.

Способ учета влияния затрат по снегозащитным ограждениям на положение продольного профиля разработал Ю. С. Карих [51]. При этом принято, что снегозащитные ограждения по всей длине выемки имеют один тип конструкции, зависящий от снегоприноса, и их единичная стоимость (стоимость, приходящаяся на единицу длины ограждения), включающая все виды затрат, постоянна независимо от размера рабочих отметок. В этом случае оптимизация продольного профиля с учетом потерь от изъятия земель под элементы автомобильных дорог правомерна для оптимизации продольного профиля с учетом затрат по снегозадерживающим элементам.

При оптимизации продольного профиля с учетом зимних условий необходимо вычислить градиент стоимости снегозащитных ограждений и суммировать его с градиентом стоимости сооружения земляного полотна, искусственных сооружений, потерь от изъятия земель и других элементов, оказывающих влияние на положение проектной линии.

В качестве критерия оптимальности в зависимости от стадии проектирования могут быть приняты капитальные затраты на снегозащитные элементы, суммарные капитальные и эксплуатационные затраты по зимнему содержанию дорог, включая транспортные потери, приходящиеся на единицу длины выемок (насыпей).

Что касается учета при оптимизации продольного профиля потерь от изъятия земель, занимаемых снегозащитными ограждениями, либо дополнительными полками для складирования снега, то

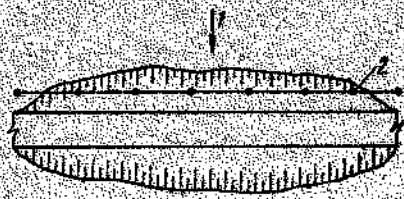


Рис. 5.25. Схема размещения заборов снегопериодического действия:
1 — господствующее направление ветра; 2 — снегопериодический забор

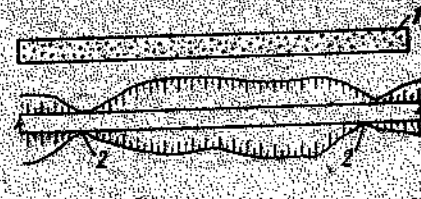


Рис. 5.26. Схема размещения снегозащитных лесопосадок:
1 — снегозащитная лесопосадка; 2 — нулевые места

эти потери учитывают следующим образом. Вычисляют потери от изъятия земель, занимаемых данными элементами на 1 м выемки (насыпи), которые суммируют с аналогичными затратами по другим конструктивным элементам дорог.

Например, для двухрядных лесопосадок (рис. 5.24) потери от изъятия земель при ширине посадочных полос b и единичной стоимости отводимых земель $q_{0.л}$ на единицу длины выемки:

$$C_{0.л} = 2bq_{0.л} \quad (5.44)$$

При $b = 12,5$ м и $q_{0.л} = 2$ руб/м² потери $C_{0.л} = 50$ руб/м выемки.

Аналогично вычисляют потери по любым типам снегозащитных элементов дорог.

При вычислении стоимости снегозащитных элементов на единицу длины выемок могут иметь следующие случаи.

1. Заборы снегопериодического действия (рис. 5.25) устанавливают на всю длину выемок без выхода за нулевые места. Стоимость $C_{з.снд}$ будет равна единичным затратам на 1 м снегопериодического забора $q_{з.снд}$ и в каждом конкретном случае постоянна независимо от рабочих отметок, при которых с учетом объема снегопереноса устанавливают заборы снегопериодического действия, т. е.

$$C_{з.снд} = q_{з.снд} = \text{const.}$$

Общие затраты по данным ограждениям, естественно, будут зависеть от длины выемок и, как следствие, от рабочих отметок.



Рис. 5.27. Зависимость затрат по снегозащитным лесопосадкам на 1 м дороги от рабочих отметок.

$h_{н.доп}$ — рабочая отметка насыпи, при которой обеспечивается незаносимость дороги снегом, $h_{пред}$ — то же, глубина выемки

2. Снегозащитные лесопосадки (рис. 5.26) размещают на всю длину заносимых выемок с заходом за нулевые места для защиты участков насыпей от нулевой рабочей отметки (h_0) до отметки $h_{доп}$, при которой обеспечивается незаносимость насыпи снегом. В данном случае в совокупности выемка — насыпь затраты на снегозащитные лесопосадки ($C_{0.л}$) как по выемке, так и участку защи-

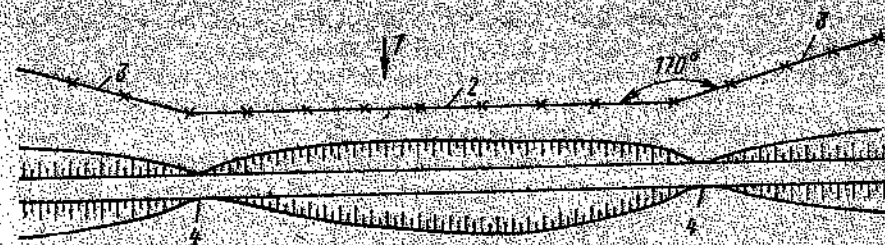


Рис. 5.28. Схема размещения щитовых снегозадерживающих ограждений:
1 — господствующее направление ветра; 2 — щитовые ограждения; 3 — закрывки; 4 — нулевые места

щаемой насыпи будут равны затратам на единицу длины посадок вдоль выемок ($q_{0.лв}$) и вдоль участков насыпи ($q_{0.лн}$) при $0 \leq h_n \leq h_{доп}$. Причем $q_{0.лв} = q_{0.лн} = \text{const.}$

При двухрядных и более лесопосадках единичные стоимости равны затратам, приходящимся в целом по всем лесопосадкам на 1 м выемок и насыпей.

Общие затраты на лесопосадки также пропорциональны длине заносимых выемок и насыпей и, следовательно, зависят от рабочих отметок. Зависимость затрат по снегозащитным лесопосадкам от рабочих отметок на 1 м дороги имеет вид, представленный на рис. 5.27.

Учет стоимости лесопосадок на участке от h_0 до $h_{н.доп}$ необходим, потому что длина этого участка и, следовательно, общая стоимость лесопосадок переменные и зависят от продольного уклона местности и продольного уклона проектной линии в зоне перехода выемки в насыпь.

3. Щитовые снегозадерживающие ограждения (рис. 5.28) размещают на всю длину выемок с заходом за нулевые места, чтобы защитить участки насыпей от нулевой отметки до $h_{н.доп}$, при которой обеспечивается незаносимость дороги снегом.

В этом случае затраты по ограждениям на единицу длины выемки ($C_{щ.о.л}$) соответствуют единичным затратам, приходящимся на единицу длины ограждений $q_{щ.о.л}$, т. е. $C_{щ.о.л} = q_{щ.о.л}$. По насыпям на участке от h_0 до $h_{н.доп}$ затраты $C_{щ.о.н}$ соответствуют единичной стоимости $q_{щ.о.н}$, приходящейся на единицу длины насыпи, и равны $C_{щ.о.н} = q_{щ.о.н} \cos 10^\circ = q_{щ.о.л}$, так как $\cos 10^\circ$ практически равен единице.

Следовательно, $C_{щ.о.л} = C_{щ.о.н} = C_{щ.о.л} = q_{щ.о.л} = \text{const.}$ При наличии комбинаций рассмотренных типов снегозащитных ограждений единичные стоимости суммируют.

Что касается уловожения откосов для обеспечения снегопериодического выемок, приводящего к увеличению объемов, стоимости земляных работ и занятию дополнительных земель, то эти факторы учитывают в части стоимости земляных работ и потерь от изъятия земель.

Если при вариантной проработке проектной линии в качестве критерия оптимальности принимают приведенные затраты, то в приведенную единичную стоимость на 1 м дороги должны включаться капитальные и эксплуатационные затраты по снегозадерживающим ограждениям, содержанию дорог в насыпях и выемках (при их разнице для обеспечения равной проезжаемости дорог в выемках и насыпях), а также приведенные транспортные потери из-за заносимости выемок (насыпей в зоне размещения ограждений) и снижения скорости движения или заторов.

Существенное влияние на транспортные потери и дополнительные затраты по содержанию дорог в зимний период оказывают барьеры безопасности, ухудшающие аэродинамические параметры насыпей и повышающие заносимость проезжей части в зоне их размещения.

Все виды дополнительных затрат (очистка снега, транспортные потери, потери от дорожно-транспортных происшествий и др.) следует учитывать при оптимизации продольного профиля с учетом зимних условий.

Затраты в этом случае ($C_{6.6}$) будут соответствовать сумме затрат, включая стоимость барьеров безопасности (ограждений), отнесенных на 1 м насыпей ($\Sigma q_{6.6}$), т. е.

$$C_{6.6} = \Sigma q_{6.6}. \quad (5.45)$$

Зависимость данных затрат на 1 м насыпи от рабочих отметок показана на рис. 5.29. Указанные затраты следует учитывать при $h_p \geq 2$ м, так как при высоте насыпи менее 2 м барьеры безопасности не устанавливают.

В общем виде при совокупности насыпей — выемка суммарные затраты по зимнему содержанию дорог ($C_{6.6}$), включая транспортные потери, от рабочих отметок будут постоянными на каждом участке. Для щитовых ограждений при наличии на насыпях барьеров безопасности эта зависимость имеет вид, представленный на рис. 5.30.

Полученные суммарные затраты по зимнему содержанию дорог, приходящиеся на единицу длины выемок (насыпей), суммируют

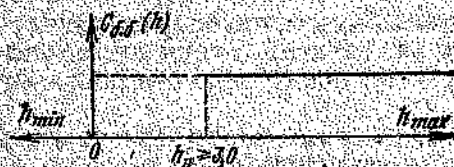


Рис. 5.29. Зависимость затрат на барьеры безопасности (ограждения) и дополнительных затрат в зоне их размещения в насыпях от рабочих отметок

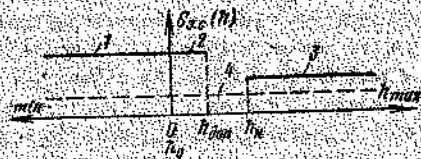


Рис. 5.30. Зависимость суммарных затрат по зимнему содержанию дорог от рабочих отметок

1 — затраты по выемкам; 2 — затраты по насыпям на участке от $h_{доп}$ до $h_{н}$; 3 — затраты по насыпям при $h_{н} = 2$ м; 4 — затраты по зимнему содержанию проезжей части дорог

с затратами по земляному полотну, искусственным сооружениям, потерям от изъятия земель. Находят суммарные градиенты стоимости, которые используют для оптимизации профиля по методу структурного представления проекции градиента.

Глава 6

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОРОГИ

6.1. СКОРОСТЬ КАК ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ДОРОГИ

Скорость и суммарные приведенные затраты. Существующие методы технико-экономического обоснования требований к геометрическим параметрам не позволяют учитывать влияние факторов климата и погоды на условия движения автомобилей, поскольку средняя скорость и себестоимость перевозки принимаются постоянными в течение года, как правило, по данным наблюдений летом в зависимости от типа покрытия и категории дороги, одинаковыми во всех климатических зонах. В результате таких расчетов эффективность капитальных вложений в строительство получается одинаково высокой для всех дорог.

Игнорирование изменения скорости и безопасности движения на одних и тех же элементах дорог в различные периоды года и условия погоды не позволяют оценить фактическую эффективность мероприятий по улучшению транспортно-эксплуатационных характеристик дорог. Выполненные автором исследования дают возможность установить порядок учета фактического влияния погодно-климатических факторов на скорость и безопасность движения при технико-экономическом обосновании требований к параметрам дорог и сравнении вариантов по методу суммарных приведенных затрат [12].

Оптимизация мероприятий по повышению технического уровня дорог проводится на основе анализа изменения составляющих суммарных приведенных затрат с учетом поэтапной реализации отдельных мероприятий [57]. В состав единовременных затрат входят капитальные вложения в дорогу K_d , нужные для реализации мероприятий, и капитальные вложения в автомобильный транспорт K_a .

Капитальные вложения в автомобильный транспорт определяют с учетом скорости автомобиля, которую принимают в настоящее время неизменной в течение года. Чтобы учесть фактические условия в разные периоды года, необходимо годовые капитальные затраты в автомобильный транспорт определять, подставляя в расчетную формулу среднегодовую скорость, вычисленную как среднюю по сезонам года, или вычислять как сумму капитальных затрат по трем характерным периодам — летнему, осенне-весеннему и зимнему.

В ежегодные входят затраты на текущий ремонт и содержание дороги, затраты автомобильного транспорта на перевозку, народнохозяйственные потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями. Наиболее существенную роль в текущих затратах имеют затраты на автомобильном транспорте, которые, в свою очередь, прямо связаны со скоростью транспортных потоков. Как и при определении капитальных вложений в автомобильный транспорт, в расчетах текущих затрат необходимо учитывать изменение скорости на различных элементах дороги под влиянием погодноклиматических факторов.

Методика определения средней скорости транспортного потока с учетом погодноклиматических условий. Во всех технико-экономических расчетах при обосновании требований к параметрам дорог и оценке эффективности капиталовложений в их строительство используется средняя скорость транспортного потока или отдельных групп автомобилей. Большинство методов определения скоростей основано на результатах обработки наблюдений за движением одиночных автомобилей или транспортных потоков по дорогам в сухое, летнее время.

Анализ этих методов изложен в работах [14, 24, 36, 48, 59], поэтому здесь не приводится.

В последние годы выполнен ряд исследований, направленных на учет влияния погодноклиматических условий на скорость движения [10, 11, 12, 13, 14, 22, 36, 42, 46]. Их анализ показывает, что существующие методы учета погодноклиматических условий при определении скоростей обладают рядом недостатков: часть из них учитывает влияние некоторых метеорологических факторов или позволяет определить только отдельные значения скоростей (обычно средних), или охватывает лишь отдельные элементы дороги. Для многих методов расчета скоростей не представляется возможным получить необходимую метеорологическую информацию и информацию о поверхности дороги при различных ее состояниях.

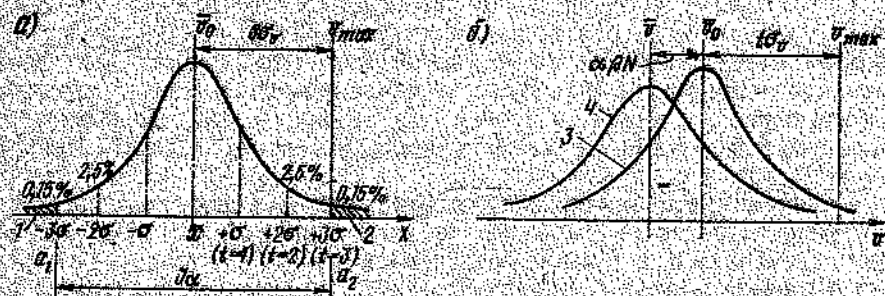


Рис. 6.1. Связь между максимальной и средней скоростями движения: а — границы доверительного интервала; б — кривые распределения скоростей одиночных автомобилей и транспортного потока; a_1 , a_2 — нижняя и верхняя границы доверительного интервала; σ — доверительный интервал; 1, 2 — доли значений параметра X , лежащих ниже и выше границ доверительного интервала; 3, 4 — кривые распределения скоростей движения одиночных автомобилей и транспортного потока

Для учета погодноклиматических условий автором предложена методика определения средней скорости свободного движения и транспортного потока, в которой влияние факторов климата и погоды учитывается коэффициентом обеспеченности расчетной скорости. При этом имеется возможность учесть влияние каждого метеорологического фактора в отдельности, совместное влияние двух и более факторов и всей совокупности климатических условий.

Применимость методики основана на статистических законах и теории вероятностей, которым подчиняется распределение скоростей на дорогах. Многолетние наблюдения, выполненные в СССР и за рубежом, показывают, что в подавляющем большинстве случаев распределение скоростей свободного движения автомобилей на каждом участке дороги подчиняется нормальному закону (рис. 6.1):

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2\sigma^2}, \quad (6.1)$$

где $x = X - \bar{x}$ — отклонение от среднего значения; σ — основное (среднее квадратическое) отклонение.

Анализ этих исследований позволяет сделать важный вывод о том, что между максимальной скоростью одиночных автомобилей, средней скоростью свободного движения и скоростью транспортного потока существует функциональная зависимость, которая может быть установлена с использованием законов теории вероятностей и математической статистики.

При обработке результатов наблюдения скоростей строят кривые распределения и кумулятивные кривые и определяют все статистические характеристики. Одной из важнейших характеристик является среднее квадратическое отклонение σ , которое позволяет выяснить причины, влияющие на изменение значений изучаемого показателя, количественно оценить степень их влияния.

Для нормального распределения широко используется правило 3σ , согласно которому все значения показателя с достаточной надежностью заключаются в пределах 6σ , который принимается за размах. Тогда

$$\sigma = R/6, \quad (6.2)$$

R — размах значений измеряемого параметра.

Указанные соотношения справедливы для двустороннего симметричного ограничения доверительного интервала. При определении зависимости средней скорости свободного движения от максимальной целесообразно принимать одностороннее верхнее ограничение этого интервала, поскольку обеспечение условий безопасности или возможности движения с высокой скоростью гарантирует эти условия для движения с низкими скоростями. Поэтому нет необходимости исключать из обеспеченной долю скоростей, меньших нижней границы доверительного интервала (участок I на рис. 6.1).

Таким образом, с заданной надежностью, которой соответствует

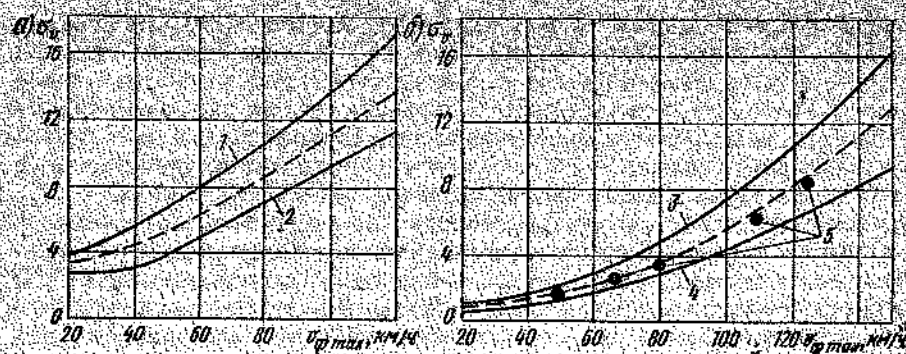


Рис. 6.2. Зависимость среднего квадратического отклонения от максимальной скорости:

a — для двухполосных дорог; b — для автомобильных магистралей;

1 — при наличии в составе транспортного потока более 70% грузовых автомобилей, автобусов и автомобилей с прицепами; 2 — то же, менее 40%; 3 — для правой крайней полосы; 4 — для левой крайней полосы; 5 — данные AASHO.

определенное значение функции доверительного интервала t , с учетом одностороннего ограничения, можно утверждать, что при максимально возможной скорости на данном участке дороги $v_{ф\max}$ средняя скорость свободного (несвязанного) движения будет действительно равна вычисленной по формуле (3.11) (см. раздел 3.4).

Ранее было показано, что $v_{ф\max} = K_{p,c} v_p^0$.

Тогда
$$\bar{v} = K_{p,c} v_p^0 - t \sigma_v \quad (6.3)$$

Обработка многочисленных наблюдений показывает, что σ существенно зависит от максимально возможной скорости на данном элементе дороги и состава транспортного потока. Чем однороднее состав, тем меньше амплитуда колебания скорости. Чем выше максимальная скорость, тем эта амплитуда больше. Соответственно изменяется и значение среднего квадратического отклонения σ (рис. 6.2).

Максимальные значения σ для двухполосных дорог принимают, если в составе транспортного потока более 70% грузовых автомобилей, автобусов и автомобилей с прицепами, минимальные — при их доле менее 40%. На автомобильных магистралах максимальные значения σ принимают для правой крайней полосы, а минимальные для левой.

Важно отметить, что значения среднего квадратического отклонения σ принимают для максимально возможной скорости в фактических условиях, которая, как правило, меньше базовой расчетной скорости, т. е. для скорости $v_{ф\max}$.

Среднее квадратическое отклонение для этой скорости

$$\sigma_v = a_0 + b v_{ф\max}^2 \quad (6.4)$$

Значения коэффициентов a_0 и b приведены в табл. 6.1.

Дорога	Расчетные значения a_0 и b при среднем квадратическом отклонении					
	$\sigma_{\max}$		$\sigma_{ср}$		$\sigma_{\min}$	
	a_0	b	a_0	b	a_0	b
Двухполосная	3,5	0,0001	3,0	0,0008	2,5	0,0006
Автомобильная магистраль с разделительной полосой	0	0,00068	0	0,00056	0	0,00041

Свободное движение автомобилей наблюдается, когда интенсивность на две полосы проезжей части от 180 авт/ч при гололеде до 360 авт/ч на сухом шероховатом покрытии [11]. С увеличением интенсивности скорость автомобилей начинает заметно снижаться ввиду возникновения взаимных помех. Снижение будет тем больше, чем выше интенсивность движения и больше в потоке грузовых автомобилей, автобусов и автомобильных поездов

$$\Delta v = \alpha \beta N, \quad (6.5)$$

где α — коэффициент, учитывающий влияние интенсивности движения (рис. 6.3); β — коэффициент, учитывающий состав транспортного потока (численно равен доле грузовых автомобилей, автобусов и автопоездов, движущихся по полосе); N — интенсивность движения, авт/сут (для автомобильных магистралей принимается по каждому направлению отдельно). Расчетную часовую интенсивность принимают $N_c = \gamma N_{сут}$, где $\gamma = 0,076 - 0,10$.

Для автомобильных магистралей β принимают с учетом перераспределения автомобилей различных типов по полосам движения (табл. 6.2).

С возрастанием помех средняя скорость транспортного потока смещается в меньшую сторону и может быть определена

$$\bar{v} = \bar{v}_0 - \alpha \beta N \text{ или } \bar{v} = v_{ф\max} - t \sigma_v - \alpha \beta N, \quad (6.6)$$

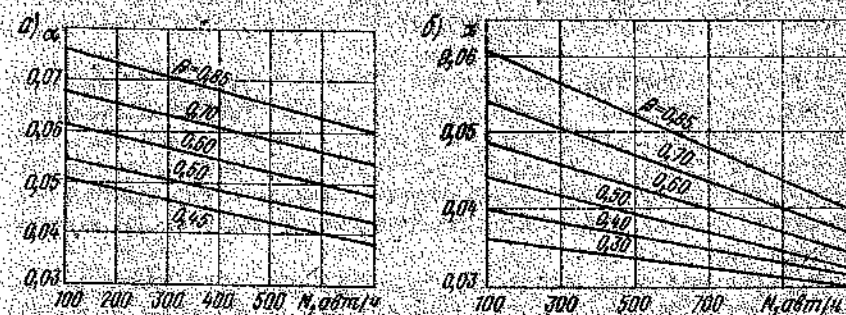


Рис. 6.3. Зависимость коэффициента α от интенсивности движения:
 a — для двухполосных дорог; b — для автомобильных магистралей

Таблица 6.2

Число легковых автомобилей, % от общей интенсивности	Значения β для подос	
	левой	правой
20	0,66—0,70	0,90—0,93
40	0,45—0,50	0,70—0,76
60	0,30—0,35	0,55—0,62
80	0,15—0,20	0,16—0,26

После подстановки значения $v_{\phi \max}$

$$\bar{v} = K_{p.c} v_p^6 - t_{\sigma} - \alpha \beta N, \quad (6.7)$$

где $\bar{v}$ — средняя скорость автомобилей в свободном потоке, км/ч; v_p^6 — расчетная или максимально возможная скорость (скорость 95%-ной обеспеченности) легкового автомобиля в эталонных условиях, км/ч.

Как было показано, за базовую расчетную скорость при вычислении коэффициента обеспеченности расчетной скорости принята $v_p^6 = 120$ км/ч.

По этой же методике можно определить среднегодовую или среднесезонную скорость транспортного потока:

$$\bar{v}_{cr} = K_{cr} v_p^6 - t_{\sigma} - \alpha \beta N_{cr}, \quad (6.8)$$

$$\bar{v}_{ces} = K_{p.c}^{ces} v_p^6 - t_{\sigma} - \alpha \beta N_{ces}. \quad (6.9)$$

Методика устанавливает неразрывную связь между скоростями: расчетной, максимальной в реальных дорожных и метеорологических условиях, средней свободного движения и средней транспортного потока в реальных условиях, что позволяет решать многие теоретические и практические задачи.

Предложенные расчетные формулы дают возможность перейти к технико-экономическому обоснованию мероприятий, направленных на повышение скоростей в неблагоприятные периоды года, региональных требований к параметрам дорог с учетом климата, и объективно оценивать эффективность капитальных вложений в строительство дорог в каждом регионе.

Значения коэффициентов α , β и σ , используемых в расчетах, получены на основании обработки многочисленных наблюдений на дорогах и приняты осредненными. Поэтому, когда возможно, лучше получать их путем наблюдений. С течением времени значения этих величин надо корректировать на основе новых наблюдений с учетом дальнейших изменений характеристик автомобилей, методов организации движения и т. д.

Скорость как экономический показатель функционирования дороги. Таким образом, главным показателем, влияющим на экономическую эффективность работы дороги, является средняя скорость транспортного потока, которую можно считать экономической ха-

рактеристикой дороги. Как указывается в работе Н. С. Королева, повышение средней технической скорости на 1% позволяет поднять выработку на один автомобиль на 0,77%, увеличить производительность труда на 23%*. Повышение средней технической скорости автомобилей в стране на 3—5 км/ч эквивалентно вводу в строй нового автомобильного завода и ежегодному пополнению общей численности водителей на сотни тысяч человек.

Поэтому при проектировании дорог главной задачей следует считать не увеличение максимальной скорости одиночного автомобиля в благоприятных условиях, а увеличение среднегодовой скорости транспортного потока, особенно в неблагоприятные периоды года. Для этого прежде всего необходимо поднять нижний предел скорости, максимально приблизив его к средней. Это приведет к сокращению разницы скоростей, уменьшению среднего квадратического отклонения, сокращению числа обгонов и аварийности на дороге.

Канд. техн. наук В. Е. Кагановичем получена зависимость себестоимости перевозки от средней скорости [23]:

$$S = (S_0 + bv)/v, \quad (6.10)$$

где S_0 — постоянная составляющая себестоимости, отнесенная к 1 авт-ч работы автомобиля; b — переменная составляющая себестоимости, отнесенная к 1 авт-км пробега автомобиля (0,052 для усовершенствованных капитальных покрытий, 0,059 для усовершенствованных облегченных, 0,069 для переходных и 0,078 для низших типов покрытий в хорошем состоянии); v — техническая (средняя статистическая) скорость.

Для практических расчетов рекомендуется пользоваться зависимостью

$$S = (4,332 + 0,011v)/v. \quad (6.11)$$

Обоснование реконструкции параметров автомобильных дорог проводится по принципу минимума суммарных приведенных затрат

$$C = K + \sum \Delta z, \quad (6.12)$$

где K — капитальные вложения (строительная стоимость дороги), тыс. руб.; Δz — ежегодные эксплуатационно-транспортные расходы за расчетный год, тыс. руб.

Зависимость строительной стоимости от скорости установлена в работе А. В. Грико†

$$K = 0,13v^{1,5}. \quad (6.13)$$

Годовые транспортные затраты в зависимости от интенсивности и средней технической скорости, приведенные к длине 1 км,

* Королев Н. С. Эффективность работы автомобильного транспорта. — М.: Транспорт, 1981, 231 с.

† Грико А. В. Исследование зависимости оптимальной скорости автомобилей от интенсивности движения и рельефа местности. — В кн.: Оптимизация сроков реконструкции и стабильности строительства автомобильных дорог. — Алма-Ата, 1973, с. 191—197.

$$\mathcal{E}_n = 0,365 \frac{N}{v} S, \quad (6.14)$$

где S — себестоимость автомобиля-часа; N — интенсивность движения, авт./сут.

$$\text{Ориентировочно} \quad \mathcal{E}_r = 0,91 \frac{N}{v}. \quad (6.15)$$

Таким образом, суммарные приведенные затраты

$$C = 0,13v^{1,5} + 0,91N/v. \quad (6.16)$$

Изложенное свидетельствует о том, что обеспеченная параметрами и характеристиками дороги в реальных условиях эксплуатации средняя, среднесезонная и среднегодовая скорость транспортного потока — один из главных показателей качества дороги, ее технического уровня и совершенства.

6.2. МЕТОДИКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Общие положения. В практике технико-экономических расчетов могут быть два подхода к учету влияния климата на условия движения. В первом случае определяют среднегодовые интенсивность, состав и скорость движения, среднегодовое $K_{от}$ и среднегодовые текущие затраты на ремонт и содержание автомобильной дороги. Во втором указанные значения определяют для каждого характерного периода года (летнего, зимнего и осенне-весеннего) отдельно, а затем суммируют с учетом длительности этих периодов.

Чтобы учесть изменения степени опасности движения в разные периоды года при проектируемых параметрах дороги, необходимо построить сезонные графики коэффициентов аварийности и безопасности. Анализ показывает, что народнохозяйственные потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями, составляют 2—10% суммы затрат автомобильного транспорта на перевозку, затрат на текущий ремонт и содержание дорог.

Таким образом, технико-экономическое обоснование требований к параметрам и транспортно-эксплуатационным характеристикам дорог с учетом влияния климата и погоды конкретного региона заключается в сопоставлении расходов, увеличивающихся с повышением технического уровня дорог, и расходов, уменьшающихся при этом. К первой группе относят капитальные вложения, связанные с ростом строительной стоимости дороги при повышении требований к геометрическим параметрам и характеристикам, ко второй — капитальные вложения в автомобильный транспорт, ежегодные текущие затраты на перевозку, на текущий ремонт и содержание дорог, народнохозяйственные потери, связанные с затратами времени пассажиров в пути и с дорожно-транспортными происшествиями.

Исходя из изложенного нами предложен следующий порядок обоснования требований к геометрическим параметрам и характе-

ристикам дорог, сравнения вариантов проектных решений с учетом фактических условий работы в разных климатических зонах.

назначают варианты геометрических параметров, технических решений и мероприятий, обеспечивающие заданную расчетную скорость одиночного автомобиля при характерном состоянии дорог в неблагоприятные периоды года;

определяют степень влияния намеченных мероприятий на обеспеченность расчетных скоростей $K_{р.с.}^{ср.}$ в каждый период года при разных метеорологических условиях, их продолжительность действия и последствия на состояние дорог по характерным периодам года, средневзвешенные значения $K_{от}$ и соответствующие им скорости транспортных потоков с учетом интенсивности и состава движения, длительности характерных периодов года;

оценивают по каждому варианту обеспеченность безопасности движения в разные периоды года по коэффициентам безопасности и сезонным графикам коэффициентов аварийности;

определяют стоимость принятых технических решений по каждому варианту, капитальные вложения в автомобильный транспорт, ежегодные текущие затраты на перевозку и содержание дорог с учетом влияния климата и погоды;

определяют приведенные затраты в каждом варианте, по минимуму которых выбирают эффективные решения.

При определении эффективности капитальных вложений следует отличать принципиальную разницу между учетом влияния климата для выбора оптимального варианта дороги и учетом этого влияния для выбора оптимального значения того или иного параметра дороги в данных климатических условиях.

В первом случае учитывают воздействие климата на всю дорогу со всем комплексом уже принятых проектных решений, во втором рассматривают влияние факторов климата на отдельный параметр или элемент дороги, значение которого изменяется в определенных пределах. В этом случае параметры дороги для объективности оценки должны быть постоянными. Так, при технико-экономических обоснованиях продольного уклона с учетом фактических условий движения в разные периоды года параметры проезжей части, краевых полос и обочин должны приниматься постоянными.

Изложенные в книге методы определения коэффициента обеспеченности расчетной скорости и средних скоростей транспортных потоков позволяют выполнять технико-экономические расчеты, учитывающие влияние климата на условия движения с различной степенью детализации и точности.

Во всех случаях, определяя экономические показатели, надо учитывать реальную продолжительность воздействия того или иного параметра или характеристики дороги на скорость и безопасность движения в данных климатических условиях. Реальная продолжительность их воздействия равна суммарной продолжительности действия и последствия того метеорологического фактора или элемента дороги, влияние которого учитывают при определении скорости. Транспортные расходы и эффективность капитальных

вложений при различных параметрах плана и профиля дороги зависят от скорости транспортных потоков при различных состояниях и соотношении их длительности.

С учетом этого экономически целесообразны требования к параметрам и транспортно-эксплуатационным характеристикам дороги в разных климатических зонах могут быть существенно различными.

Определение длительности разных состояний поверхности дороги. Для технико-экономических расчетов особое значение имеют условия движения при характерных состояниях покрытия (сухое, мокрое, заснеженное, гололед).

Продолжительность мокрого состояния покрытия в течение года

$$T_{\text{мок}} = (P_{\text{д}} + P_{\text{м.с}})(t_1 + t_2), \quad (6.17)$$

где $P_{\text{д}}$, $P_{\text{м.с}}$ — вероятность (число случаев) выпадения дождя и мокрого снега (смешанных осадков); t_1 и t_2 — продолжительность действия и последствия дождя и смешанных осадков (принимается по табл. 2.5).

Аналогично эта продолжительность может быть определена отдельно для летнего и переходных (осенне-весенних) периодов года.

Порядок определения вероятности различных метеорологических факторов изложен в п. 3.3 и программе ВАЕМ-Р-1.

Мокрое покрытие может наблюдаться и зимой, если для ликвидации гололеда и снежного наката применяют хлориды в твердом или жидком виде. В некоторых районах мокрый снег выпадает зимой.

Продолжительность заснеженного состояния поверхности дороги

$$T_{\text{сн}} = P_{\text{сн}}(t_1^{\text{сн}} + t_2^{\text{сн}}) + P_{\text{м}}(t_1^{\text{м}} + t_2^{\text{м}}), \quad (6.18)$$

где $P_{\text{сн}}$ и $P_{\text{м}}$ — вероятность (число случаев) снегопада и метели; $t_1^{\text{сн}}$, $t_2^{\text{сн}}$, $t_1^{\text{м}}$, $t_2^{\text{м}}$ — продолжительность действия и последствия снегопада и метели.

Важное значение имеет продолжительность последствия снегопада и метели, т. е. время удаления снежных отложений после окончания снегопада и метели. Оно принимается в соответствии с расчетами потребности в машинах на снегоочистку (см. гл. 7) или по табл. 2.5 в зависимости от категории дороги и оснащенности машинами для снегоборьбы.

Вычисленная по этим формулам продолжительность заснеженного покрытия может превысить продолжительность зимнего периода. Это означает, что повторный снегопад или метель прошли тогда, когда дорога еще не была очищена от предыдущих снежных отложений. В этом случае в расчет нужно вводить ограничение на продолжительность заснеженного состояния дороги. Наблюдения показали, что максимальная продолжительность такого состояния не превышает $(0,7 \div 0,8) D_z$. В этот период на покрытии может быть рыхлый снег, накат и искусственный гололед. Продолжитель-

ность отложений рыхлого снега можно принять равной действию снегопада и метели

$$T_{\text{рых}} = P_{\text{сн}} t_1^{\text{сн}} + P_{\text{м}} t_1^{\text{м}}, \quad (6.19)$$

Продолжительность снежного наката и искусственного гололеда можно принять равной продолжительности последствия снегопада и метели с учетом ограничения на общую продолжительность заснеженного состояния покрытия

$$T_{\text{сн.н}} + T_{\text{н.л}} = P_{\text{сн}} t_2^{\text{сн}} + P_{\text{м}} t_2^{\text{м}}, \quad (6.20)$$

Снежный накат под действием автомобильного движения может превратиться в лед, причем тем быстрее, чем выше интенсивность движения, влажность и температура снега и воздуха. Методы расчета длительности такого состояния отсутствуют, но наблюдения, выполненные на дорогах, показывают, что она колеблется от 10 до 60% продолжительности зимнего периода.

Продолжительность снежного наката без искусственного гололеда

$$T_{\text{сн.н}} = T_{\text{сн}} - (T_{\text{рых}} + T_{\text{н.л}}), \quad (6.21)$$

Сведения о вероятности естественного гололеда приводятся в климатических справочниках. Причем гололед может наблюдаться в зимний и переходные периоды года.

Продолжительность естественного гололеда на покрытии в течение года

$$T_{\text{е.г}} = P_{\text{е.г}}(t_1^{\text{г}} + t_2^{\text{г}}), \quad (6.22)$$

Общая продолжительность гололеда

$$T_{\text{г}} = T_{\text{н.г}} + T_{\text{е.г}}, \quad (6.23)$$

Продолжительность сухого состояния покрытия в течение года

$$T_{\text{сух}} = 365 - (T_{\text{мок}} + T_{\text{сн}} + T_{\text{е.г}}), \quad (6.24)$$

Расчеты по изложенной методике требуют наличия метеорологической информации от ближайшей станции и данных о продолжительности последствия метеорологических факторов.

Для упрощения расчетов допускается принимать реальную продолжительность воздействия равной длительности характерных состояний дороги по периодам года. Так, характерное для осени влажное состояние покрытия может быть принято равным 40—60% длительности этого периода. В то же время на большей части территории страны 15—20% длительности летнего периода может быть отнесено по состоянию поверхности дороги к осеннему периоду, так как во время летних дождей оно не отличается от осеннего.

Продолжительность состояния поверхности дороги, характерного для зимнего периода, может быть принята равной 40—70% длительности зимы, но при прочих равных условиях она колеблется

Таблица 6.3

Категория дороги	Значения коэффициента λ для различных состояний поверхности дороги и периодов года									
	Летний		Осенне-весенний		Зимний					
	Сухое	Мокрое	Сухое	Мокрое	Сухое чистое	Мокрое	Рыхлый снег на покрытии	Снежный накат	Искусственный гололед	Естественный гололед
I	0,8—0,85	0,15—0,20	0,6—0,7	0,3—0,4	0,55—0,65	0,08—0,15	0,04—0,05	0,1	0,1	0,02
II	0,8—0,85	0,15—0,20	0,6—0,7	0,3—0,4	0,50—0,60	0,09—0,13	0,04—0,06	0,12—0,16	0,12	0,03
III	0,8—0,85	0,15—0,20	0,5—0,6	0,4—0,5	0,25—0,48	0,10—0,15	0,06—0,12	0,20—0,25	0,12—0,14	0,04
IV	0,8—0,85	0,15—0,20	0,5—0,6	0,4—0,5	0,20—0,4	0,06—0,10	0,15—0,20	0,25—0,35	0,09—0,10	0,05

Примечания. 1. Большой коэффициент λ для сухого покрытия (соответственно меньшие для мокрого) в летний и переходные периоды принимают при наличии краевых укреплений полос или обочин.

2. Для зимнего периода коэффициент λ назначают с учетом оснащения службы эксплуатации машинами и оборудованием для зимнего содержания, принятого в проекте. Минимальное значение λ для мокрого покрытия, рыхлого снега, снежного наката и гололеда принимают при 100% оснащении по сравнению с нормативной; средние при 60–80% оснащённости, а максимальные значения λ принимают при оснащённости 80% и менее.

В значительных пределах в зависимости от оснащённости дорожных организаций машинами и оборудованием для зимнего содержания.

С учетом изложенного продолжительность различных состояний поверхности дороги

$$T = \lambda D_{\text{сез}}, \quad (6.25)$$

где λ — коэффициент, комплексно учитывающий влияние климатических факторов, интенсивности движения, технического уровня и уровня содержания дороги (принимается по табл. 6.3); $D_{\text{сез}}$ — продолжительность характерного периода года (дни или часы).

Последовательность и особенности технико-экономических расчетов. Техничко-экономическое обоснование требований к геометрическим параметрам дорог заключается в сравнении вариантов дороги по сумме приведенных расходов. Поскольку для расчетов принят метод сравнительной эффективности, учитывают только те показатели, значения которых отличаются для сравниваемых вариантов. В общем виде технико-экономические расчеты для каждого варианта технических решений выполняют в следующей последовательности (рис. 6.4).

Определив климатические характеристики района проложения дороги и расчетные периоды года, вычисляют коэффициенты обеспечения расчетной скорости на данном элементе дороги в реальных дорожных и погодных условиях. По этим значениям и дан-

ным об интенсивности и составе движения находят среднюю скорость транспортного потока в каждый период года и среднюю на каждом характерном участке.

Такая схема расчетов позволяет учесть влияние конкретных природно-климатических условий на скорость транспортного потока при намеченных в каждом варианте геометрических параметрах дороги, на строительную стоимость и текущие затраты. Поскольку характеристики климата регионов существенно различаются, естественно ожидать, что предлагаемая методика расчетов приведет к обоснованию оптимальных значений параметров дороги в каждом регионе, т. е. к разработке региональных норм проектирования дорог.

Экономически целесообразным будет вариант, обеспечивающий минимум суммы приведенных расходов [57].

$$E = (KE_n + C) \rightarrow \min, \quad (6.26)$$

где K — единовременные затраты, E_n — нормативный коэффициент сравнительной эффективности (принимает равным 0,12); C — годовые текущие затраты.

В состав единовременных затрат входят капитальные вложения в строительство дороги K_d , на ее реконструкцию, расширение, усиление или техническое перевооружение $K_{\text{рек}}$.

в автомобильный транспорт к началу эксплуатации объекта K_a и ежегодному увеличению объема перевозки $K_{\text{из}}$;

в железнодорожный и водный транспорт с учетом объема перевозки в границах сравниваемых вариантов $K_{\text{жл}}$ и $K_{\text{вт}}$;

затраты на капитальные ремонты сооружений $K_{\text{рп}}$;

потери народного хозяйства от изъятия сельскохозяйственных угодий K_u ;

стоимость оборотных фондов народного хозяйства, соответствующая массе грузов круглогодичного производства и потребления, постоянно находящихся в транспортном процессе $K_{\text{тп}}$.

Из перечисленных статей затрат только K_d и K_a изменяются с изменением параметров геометрических элементов дорог. Все остальные статьи затрат остаются постоянными или меняются незначительно, так как расчет ведется методом сравнительной эффективности. Следовательно, значения $K_{\text{жл}}$, $K_{\text{вт}}$, K_a , $K_{\text{тп}}$ можно не включать в расчет. K_d рассчитывают в каждом конкретном случае путем определения объемов строительных работ, связанных с каждым изменением параметра геометрического элемента дороги.

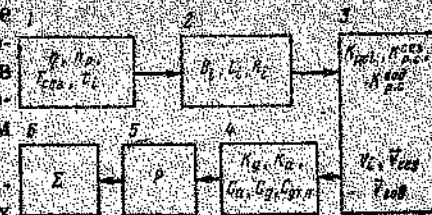


Рис. 6.4. Последовательность технико-экономических расчетов.

1 — определение расчетных периодов года по климатическим характеристикам; 2 — назначение вариантов решений по параметрам дорог; 3 — определение коэффициентов обеспечения расчетной скорости и средних скоростей движения; 4 — определение капитальных вложений в дороги и автомобильный транспорт, текущих и других затрат по каждому варианту технических решений; 5 — определение суммарных приведенных затрат по каждому варианту; 6 — сравнение и выбор оптимального варианта.

Капитальные вложения в автомобильный транспорт

$$K_a = nL \sum_j K_j N_j / T_j \alpha_j v_j, \quad (6.27)$$

где n — число дней рассматриваемого периода (дифференцированно учитывается длительность зимнего, летнего и переходного периода в связи с разными условиями движения в эти периоды, различной интенсивностью и скоростью автомобилей); L — длина участка по каждому сравниваемому варианту, км; K_j — капитальные вложения в автомобиль j -го типа; N_j — интенсивность движения автомобилей j -го типа; T_j — время работы на линии автомобиля j -го типа в течение года; α_j — коэффициент использования парка автомобилей; v_j — средняя скорость автомобилей j -го типа в транспортном потоке (для каждого рассматриваемого случая это будет средняя скорость транспортного потока при определенной интенсивности движения); m — число типов автомобилей в транспортном потоке; j — индекс типа автомобиля.

Поскольку при обосновании проектных решений дифференцировать v_j по типам автомобилей не представляется возможным, значения K_j , N_j , T_j , α_j принимают не для каждого типа автомобилей, а средневзвешенными для всего транспортного потока. Это значительно упрощает расчеты, и формула 6.27 приобретает вид:

$$K_a = \sum n_j L K N_j / T \alpha \bar{v}_c, \quad (6.28)$$

где K , N , T , α , $\bar{v}_c$ — те же показатели, что и в формуле (6.27), но средневзвешенные для транспортного потока; n_j — длительность зимнего, летнего и переходных периодов.

В развернутом виде формула приобретает вид:

$$K_a = \frac{LRN}{T\alpha} \left(\frac{n_z}{v_z} + \frac{n_l}{v_l} + \frac{n_{пер}}{v_{пер}} \right), \quad (6.29)$$

где L — протяженность дороги для каждого варианта.

В расчете сравнительной эффективности дополнительные капитальные вложения в автомобильный транспорт могут не учитываться, так как они будут одинаковыми для всех сравниваемых вариантов каждой дороги.

В состав текущих затрат входят ежегодные затраты на текущий ремонт и содержание дороги C_d , на средний ремонт, отнесенные к одному году межремонтного срока службы $C_{др}$, ежегодные затраты на осуществление автомобильных перевозок C_a , народнохозяйственные потери, связанные с затратами времени пассажиров в пути C_v , затраты на погрузочно-разгрузочные работы $C_{гр}$, народнохозяйственные потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями $C_{дтп}$ и с отсутствием регулярности проезда C_p , ежегодные потери в отраслях народного хозяйства, использующих автомобильный транспорт на неблагоприятной дорожной сети C_n .

Для рассматриваемого случая при различных вариантах сравнения участков подъемов с разным уклоном будут учитываться только статьи затрат C_a , C_v , $C_{дтп}$. Остальные статьи будут одинаковыми или различаться незначительно, поэтому их можно не включать в расчет сравнительной эффективности.

Затраты автомобильного транспорта, составляющие наибольшую долю в текущих затратах, определяют для каждого периода года

$$C_a = nL \left[N_L \left(S_L^{пер} + \frac{S_L^{пост} + d_L}{v_L} \right) + N_T \left(S_T^{пер} + \frac{S_T^{пост} + d_T}{v_T} \right) \right], \quad (6.30)$$

где N_L , N_T — интенсивность движения легковых и грузовых автомобилей, авт./сут; $S_L^{пер}$, $S_T^{пер}$ — средние размеры переменных затрат на 1 км пробега соответственно для легковых и грузовых автомобилей; $S_L^{пост}$, $S_T^{пост}$ — средние размеры постоянных затрат на 1 маш-ч работы соответственно легкового и грузового автомобиля; d_L , d_T — часовые транспортные ставки водителей легковых и грузовых автомобилей; v_L , v_T — скорость легковых и грузовых автомобилей, км/ч (определяют с учетом коэффициента обеспеченности расчетной скорости при конкретных дорожных и погодных условиях); n — число дней работы.

Средняя скорость легковых автомобилей

$$\bar{v}_L = 1,3\bar{v}, \quad (6.31)$$

где $\bar{v}$ — средняя скорость транспортного потока, км/ч.

Аналогично средняя скорость грузовых автомобилей

$$\bar{v}_T = 0,92\bar{v}. \quad (6.32)$$

В формулу (6.30) добавляется член, учитывающий затраты на автобусные перевозки,

$$C_{авт} = nN_{авт} \left(S_{авт}^{пер} + \frac{S_{авт}^{пост} + d_{авт}}{v_{авт}} \right). \quad (6.33)$$

Годовые затраты автомобильного транспорта

$$C_a = C_a^{пер} + C_a^{пост} + C_a^{рем}. \quad (6.34)$$

Народнохозяйственные потери, связанные с затратами времени пассажиров в пути следования,

$$C_{вл} = nC_{пасс} [N_L(L/v_L + t_{п.л})R_L + N_{авт}(L/v_{авт} + t_{п.авт})R_{авт}], \quad (6.35)$$

где $C_{пасс}$ — средняя величина потерь народного хозяйства, приходящаяся на 1 ч пребывания пассажира в пути (приближенная стоимостная оценка времени может быть получена исходя из стоимости оценки 1 чел-ч, равной 30–40% среднечасовой оплаты труда контингента, пользующегося услугами транспорта; при отсутствии данных о составе контингента пассажиров стоимость 1 пасс-ч можно принять ориентировочно 0,25 руб.); $t_{п.л}$, $t_{п.авт}$ — потери времени на простой на рассматриваемой длине участка легковым автомобилем и автобусом, ч; R_L , $R_{авт}$ — среднее число пассажиров в одном легковом автомобиле или автобусе.

Суммарное значение потерь пассажирами

$$C_{п} = C_{п}^{пер} + C_{п}^{пост} + C_{п}^{рем}. \quad (6.36)$$

Народнохозяйственные потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями,

$$C_{дтп} = 10^{-8} z L a C m N, \quad (6.37)$$

где z — число дорожно-транспортных происшествий на 100 млн. авт-км; L — протяженность участка, км; C — средняя потеря от одного дорожно-транспортного происшествия; m — итоговый коэффициент, учитывающий тяжесть дорожно-транспортных происшествий на рассматриваемом элементе дороги; N — суточная интенсивность движения за рассматриваемый период, авт./сут.

Число дорожно-транспортных происшествий на 100 млн. авт-км

$$z = 0,009K^2 - 0,27K + 34,5, \quad (6.38)$$

где K — итоговый коэффициент аварийности, получаемый построением линейного графика коэффициентов аварийности для рассматриваемого участка дороги.

Число происшествий для зимнего сезона

$$z_{\text{зим}} = 0,1977K_{\text{зим}}^{0,3731}. \quad (6.39)$$

При определении итогового коэффициента аварийности для зимнего периода можно принимать следующие значения частных коэффициентов аварийности, характеризующих состояние проезжей части: сухое — 1,0; мокрое — 2,71; снежный накат — 3,84; гололед — 9,71.

Таким образом, в технико-экономических расчетах и обоснованиях выбираемого варианта проектных решений будут учтены погодноклиматические условия, интенсивность и состав движения по периодам года и требования к содержанию дорог с учетом оснащенности дорожной службы.

Поскольку характеристики климата в разных районах существенно различны, а они формируют состояние поверхности и скорость движения при заданных параметрах дороги, вполне естественно, что при одной и той же интенсивности экономически целесообразными будут разные требования к геометрическим параметрам и транспортно-эксплуатационным характеристикам. Очевидно, параметры дорог, рассчитанные на обеспечение пропускной способности транспортного потока, будут тем выше, чем выше интенсивность движения.

В определенных условиях на дорогах низких категорий может быть рассмотрен вариант перерыва движения в самые неблагоприятные периоды. Однако вероятность его должна быть определена в проекте, где на этот случай должны быть предусмотрены меры по организации транспортного обслуживания, информации населения и организаций о перерыве движения.

Определение ущерба, нанесенного снежными заносами. Суммарные народнохозяйственные потери, вызываемые снежными заносами на одной дороге или на сети дорог,

$$\Sigma \Pi_{\Sigma} = \Sigma \Pi_{\Sigma, \kappa} + \Sigma \Pi_{\text{пер}} + \Sigma \Pi_{\text{пр}}, \quad (6.40)$$

где $\Sigma \Pi_{\Sigma, \kappa}$ — потери, вызванные снижением скорости автомобилей по дороге, на которой образовались снежные заносы, тыс. руб.; $\Sigma \Pi_{\text{пер}}$ — потери, вызванные полным перерывом движения на занесенной снегом дороге, тыс. руб.; $\Sigma \Pi_{\text{пр}}$ — прочие потери, связанные с ухудшением движения из-за снежных заносов (например, потери предприятий, тяготеющих к дороге, вследствие невозможности вывести продукцию или завезти сырье), тыс. руб.

Потери народного хозяйства определяют за тот же период, что и расходы на защиту дорог лесонасаждениями, и приводят к сопоставимому виду:

$$\Sigma \Pi_{\Sigma, \kappa} = \sum_1^T \frac{\Pi_{\Sigma, \kappa, t} + \Pi_{\text{пер}, t} + \Pi_{\text{пр}, t}}{(1 + E_{\text{бу}})^t}, \quad (6.41)$$

где $\Pi_{\Sigma, \kappa, t}$, $\Pi_{\text{пер}, t}$, $\Pi_{\text{пр}, t}$ — годовые размеры потерь, тыс. руб.

Годовые потери от снижения скорости

$$\Pi_{\Sigma, \kappa, t} = t_s \left(\frac{L}{v_s} - \frac{L}{v_0} \right) \left(\frac{E_{\text{бу}}}{T_{\text{год}}^a} \sum_{j=1}^m N_j K_j^a + \sum_{j=1}^m N_j C_j^{\text{пост}} \right), \quad (6.42)$$

где t_s — продолжительность движения по дороге, на которой образовались снежные заносы, сут; L — протяжение дороги (перегона), км; v_s — средняя скорость автомобилей на дороге, на которой образовались снежные заносы, км/ч; v_0 — то же, но очищенной от снега дороге, км/ч; $T_{\text{год}}^a$ — продолжительность работы одного списочного автомобиля в течение года, ч; a — коэффициент выпуска автомобилей на линию; m — число автомобилей различной грузоподъемности в потоке; N_j — интенсивность движения автомобилей данной грузоподъемности с учетом перспективного ее роста на тот год, для которого определяют $\Pi_{\Sigma, \kappa, t}$, авт./сут; K_j^a — удельные капитальные вложения в расчете на один списочный автомобиль, включая затраты на создание автотранспортных и авторемонтных предприятий, тыс. руб.; $C_j^{\text{пост}}$ — стоимость 1 маши-ч работы автомобилей данной грузоподъемности (ставка постоянных расходов), руб.

Годовые потери от перерывов движения, вызванных снежными заносами,

$$\Pi_{\text{пер}, t} = \frac{q_{\text{пер}} t_{\text{пер}} \Pi}{T} E_{\text{бу}}, \quad (6.43)$$

где $q_{\text{пер}}$ — годовой объем перевозок по дороге, т нетто; $t_{\text{пер}}$ — продолжительность перерывов движения по дороге в связи со снежными заносами, сут; Π — средняя цена 1 т груза, руб. (по данным ЦНИИ МПС $\Pi = 190$ руб/т); T — годовой фонд рабочего времени автомобильного транспорта, сут.

При отсутствии данных о годовом объеме перевозок по дороге его определяют по формуле

$$q_{\text{пер}} = 365 \gamma \beta \sum_1^m N_j \Gamma_j, \quad (6.44)$$

где γ — коэффициент использования грузоподъемности; β — коэффициент использования пробега; Γ_j — грузоподъемность автомобилей, обращающихся по дороге, т.

Размер прочих потерь зависит от многих факторов, характеризующих местные особенности развития экономики, работы предприятий, организаций сельского хозяйства, наличия других видов транспорта и определить ее расчетом не представляется возможным. При изысканиях новой дороги эту величину можно ориентировочно определить путем опроса предприятий и организаций, тяготеющих к дороге.

Обоснование требований к ширине укрепленной поверхности дороги. Выполненные исследования позволяют перейти к технико-экономическому обоснованию региональных требований и норм проектирования автомобильных дорог, обеспечивающих удобство и безопасность движения транспортных потоков во всех природно-климатических зонах и во все периоды года. Для расчетов назначают не менее трех-четырех вариантов, выбранных таким образом, чтобы можно было построить кривую зависимости приведенных затрат от размера исследуемого параметра для каждой зоны (рис. 6.5), по которой выбирают оптимальное решение.

Экономически целесообразную ширину проезжей части и краевых укрепленных полос выбирают из сопоставления расходов, возрастающих при увеличении ширины укрепленной поверхности дороги, и расходов, уменьшающихся при увеличении этой ширины.

К первой группе относят капитальные вложения, связанные с увеличением стоимости строительства проезжей части и краевых полос, ко второй — капитальные вложения в автомобильный транспорт, необходимые при данной ширине B_p , ежегодные текущие затраты на ремонт и содержание дороги, затраты автомобильного транспорта на перевозки и народнохозяйственные потери от дорожно-транспортных происшествий и потери времени пассажирами в пути.

Обоснование требований к ширине укрепленной поверхности производят для горизонтального прямого участка дороги (продольный уклон не более 30‰). При этом учитывают влияние только тех погодно-климатических факторов, действие которых приводит к сокращению эффективно используемой ширины, но не учитывают их влияние на коэффициенты сцепления и сопротивления качению.

На основании анализа распределения вероятности появления неблагоприятных метеорологических факторов в разные периоды года длительность их действия и последствия определяют длительность характерных состояний поверхности дороги в течение года (табл. 6.4). Сюда же заносят значения коэффициентов обеспеченности расчетной скорости, соответствующие каждой ширине укрепленной поверхности.

В расчетах по этой методике учитывают, что краевые укрепленные полосы работают во все

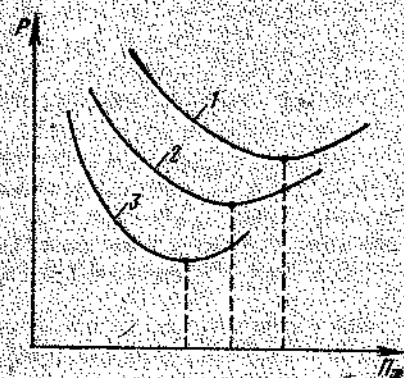


Рис. 6.5. Схема определения оптимальных требований к параметрам дорог.
1, 2, 3 — кривые $P = f(B_p)$ для I—III зон по условиям движения

Таблица 6.4

Зона	Длительность периода, дни	Значения K_p при суммарной ширине проезжей части и краевых укрепленных полос, м					
		8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0
IA	Зима — 110	1,0	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
	Весна — осень — 45	1,0	0,85	0,78	0,68	0,58	0,48
	Лето — 210	1,0	1,0	1,0	0,90	0,75	0,62
IB	Зима — 85	1,0	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
	Весна — осень — 71	1,0	0,85	0,78	0,68	0,58	0,48
	Лето — 209	1,0	1,0	1,0	0,90	0,75	0,62
II	Зима — 42	1,0	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
	Весна — осень — 86	1,0	0,85	0,78	0,68	0,58	0,48
	Лето — 237	1,0	1,0	1,0	0,90	0,75	0,62
III	Зима — 20	1,0	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
	Весна — осень — 69	1,0	0,85	0,78	0,68	0,58	0,48
	Лето — 276	1,0	1,0	1,0	0,90	0,75	0,62

периоды года и во всех климатических районах, но ее эффективность различна. Поэтому оптимальные значения ширины укрепленной поверхности, конструкции и прочность укрепления краевых полос будут различаться в разных зонах. Но особенно различаются условия работы укрепленных обочин в различные периоды года.

Так, в зоне IA, где зима длится 180—260 дней, укрепленные обочины большую часть года не работают. То же самое наблюдается в зоне III, где большую часть года стоит сухая жаркая погода. Эти особенности следует учитывать при технико-экономических обоснованиях принимаемых решений. В приведенном примере в расчетах принята интенсивность движения, соответствующая II, III и IV категориям дорог. Состав движения принят средним по данным наблюдений [12]. В состав приведенных затрат включены потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями, соответствующими данной ширине проезжей части.

Анализ расчетов показывает, что экономически целесообразная ширина укрепленной поверхности дороги существенно различна для разных климатических зон и категорий дорог (рис. 6.6).

Наибольшая ширина укрепленной поверхности необходима в I зоне с зимним расчетным периодом, где особенно ощущается ее сужение из-за отложений снега или льда на кромках. Во II зоне с осенне-весенним расчетным периодом влияние снежных отложений уменьшается, но увеличивается воздействие дождя и других жидких осадков на загрязнение прикромочных полос. В III зоне с летним расчетным периодом большую часть года стоит сухая жаркая погода и краевые укрепленные полосы работают короткий срок.

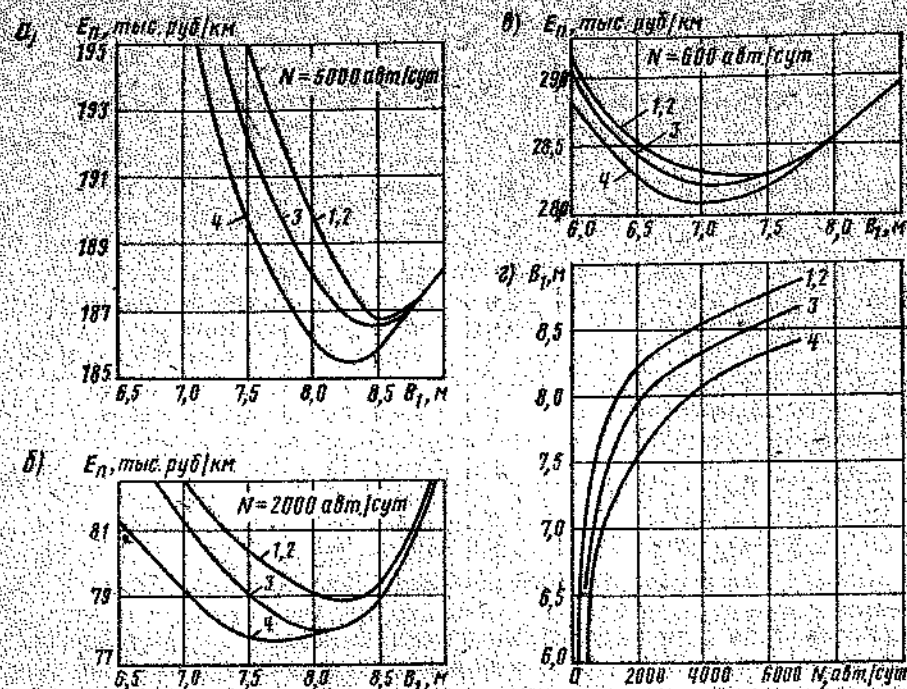


Рис. 6.6. Экономически эффективная ширина укрепленной поверхности дороги для разных климатических зон и интенсивности движения:

а, б, в — суммарные приведенные затраты при интенсивности движения 5000, 2000 и 600 авт/сут; г — зависимости экономической оптимальной ширины укрепленной поверхности от интенсивности движения;

1 — зона I; 2 — зона II; 3 — зона III; 4 — зона IV

Поэтому средства, вкладываемые в их строительство, мало влияют на эффективность работы автомобилей и экономически целесообразно сократить ширину укрепленной поверхности по сравнению с зоной I и II.

Исследования показывают также, что с точки зрения удобства и безопасности движения укрепленная краевая полоса имеет большее значение, чем укрепление всей обочины, поэтому при ограниченных ресурсах целесообразно укреплять обочины ступенно.

Технико-экономическое обоснование радиусов кривых в плане. Радиус закругления зависит от многих факторов, причем одни из них с увеличением радиуса способствуют уменьшению приведенных затрат, а другие, наоборот, увеличивают эти затраты.

Технико-экономическое обоснование указанных требований заключается в сравнении вариантов плана дороги с разными радиусами закругления в различных природно-климатических условиях по принципу сравнительной эффективности.

Рассмотрим участок дороги от пункта А до пункта Б (рис. 6.7), который огибает местную возвышенность. Вписав в угол поворота α кривую радиусом R_1 , получим длину участка

$$L_1 = 2l_1 + L_{k1}, \quad (6.45)$$

где $L_{k1} = \pi R_1 \alpha / 180$; (6.46)

$$T_1 = R_1 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (6.47)$$

Если в этот угол вписать кривую большим радиусом R_2 , получим длину участка от пункта А до пункта Б, равную $L_2 = 2l_2 + L_{k2}$, которая короче L_1 на $\Delta L = L_1 - L_2$ км.

Рассмотрим, какое влияние это изменение оказывает на составляющие приведенных затрат.

Единовременные затраты. При изменении радиуса кривой в плане из единовременных затрат наиболее заметно меняются строительная стоимость (капитальные вложения на строительство K_d) и ежегодные капитальные вложения в автомобильный транспорт, соответствующие ежегодному увеличению объема перевозок, K_a .

Другие виды единовременных затрат (на капитальные ремонты, капитальные вложения в автомобильный транспорт, соответствующие началу эксплуатации объекта, потери народного хозяйства от изъятия сельскохозяйственных угодий и др.) при изменении радиусов кривых в плане меняются незначительно и при оценке вариантов методом сравнительной эффективности ими можно пренебречь.

Капитальные вложения на строительство K_d . В равнинной местности при отсутствии помех капитальные вложения на строительство дороги с увеличением радиуса кривой в плане будут сокращаться пропорционально сокращению длины трассы

$$\Delta K_d = C_{Td} \Delta L,$$

где C_{Td} — удельная стоимость 1 км дороги, тыс. руб.

Следовательно, при отсутствии помех для проложения трассы в равнинных условиях радиус закругления целесообразно увеличивать до тех пор, пока начало или конец кривой не совпадут с точками А или Б.

При проложении трассы в холмистой или горной местности увеличение радиуса закругления чаще всего приводит к росту объемов земляных работ, приводящему к возрастанию строительной стоимости. Строительная стоимость и темпы ее роста зависят от многих факторов и колеблются в широких пределах. В общем случае строительная стоимость дороги от пункта А до пункта Б

$$R_1 K_s = C_1 l_1 + C_2 L_{k1} + C_3 l_2; \quad (6.48)$$

$$\text{для кривой радиусом} \quad R_2 K_s = C_1 l_2 + C_2 L_{k2} + C_3 l_1; \quad (6.49)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 — удельная строительная стоимость по участкам дороги.

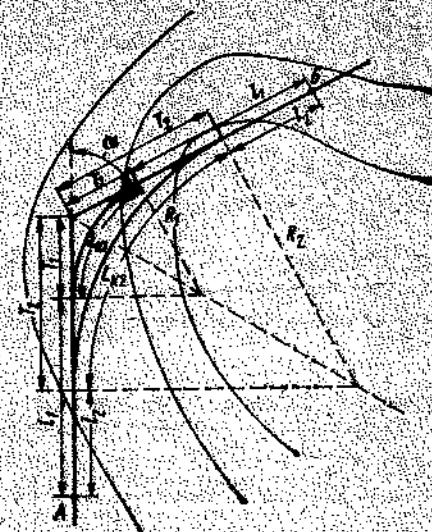


Рис. 6.7. Схема расчета элементов кривых при изменении радиуса закругления

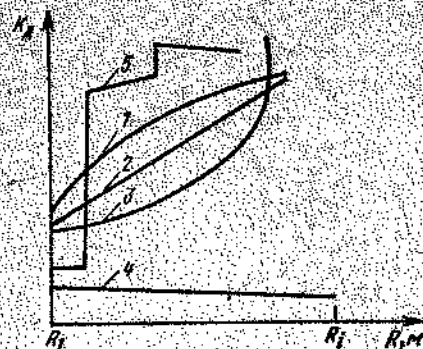


Рис. 6.8. Влияние условий проложения трассы на строительную стоимость:

1, 2, 3 — характерные зависимости для условий холмистого и горного рельефа; 4 — то же, для равнинного рельефа; 5 — то же, при наличии помех проложению трассы

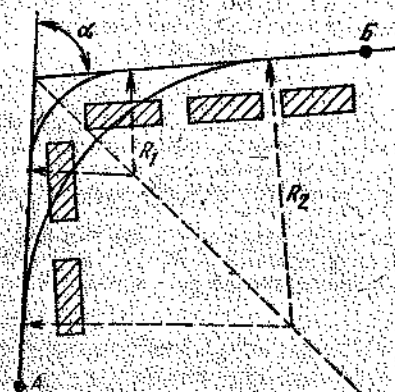


Рис. 6.9. Пример помех вписыванию кривой большого радиуса

для кривой различных радиусов по формуле (6.28). Расчеты по этой формуле показывают, что характеристики климата существенно влияют на капитальные вложения в автомобильный транспорт при движении по дорогам с различными радиусами кривых в плане, поскольку от климата зависят длительность периодов года и погодные условия, влияющие на состояние поверхности дорог и скорость движения.

Радиус кривой в плане влияет на капитальные вложения в автомобильный транспорт через скорость v , и длину участка между фиксированными точками L_n .

Капитальные вложения в автомобильный транспорт для кривых различного радиуса

Изменение объемов земляных, укрепительных и других работ, а также строительной стоимости с увеличением радиуса закругления могут иметь самый различный характер в зависимости от многих местных условий. Поэтому дать какую-то единую зависимость изменения строительной стоимости от радиуса закругления не представляется возможным.

Самым правильным следует считать обоснование требований к размеру минимально допустимого радиуса кривой в каждом конкретном случае, когда принимается радиус меньше рекомендуемого (но не минимально допустимого) по нормам.

Анализ большого числа проектов показывает, что в холмистой и горной местности зависимость строительной стоимости от радиуса кривой в плане описывается плавной кривой (рис. 6.8).

В равнинной местности при отсутствии помех для трассирования эта зависимость имеет вид прямой. При наличии препятствий (рис. 6.9) для проложения трассы на местности (застройка, водные преграды, крупные овраги, трубопроводы, железные дороги и др.) эта зависимость может иметь ступенчатый характер.

Капитальные вложения в автомобильный транспорт определяют

$$K_a = \frac{L_R K N}{T a} (\bar{n}_a / \bar{v}_a + n_a / \bar{v}_a + n_{пер} / v_{пер}), \quad (6.50)$$

где $K, N, T, a, \bar{v}_a$ — те же показатели, что и в формуле (6.27), но средневзвешенные для транспортного потока.

При этом K, T, a будут постоянными, а все остальные переменные, зависящие от радиуса кривой, интенсивности движения и климатических характеристик.

Поскольку темпы прироста дополнительных капитальных вложений в автомобильный транспорт не зависят от радиуса закругления, то при сравнительной оценке эффективности того или иного радиуса их можно не учитывать.

Текущие затраты включают в себя те же статьи, что и при оценке вариантов продольного профиля (см. гл. 5). Из всего перечня статей наиболее значительны ежегодные затраты на осуществление автомобильных перевозок C_a , народнохозяйственные потери, связанные с затратами времени пассажиров в пути следования C_n и народнохозяйственные потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями $C_{пр}$. Остальные статьи для различных радиусов кривых в плане различаются незначительно или одинаково.

Затраты автомобильного транспорта для каждого сезона и радиуса кривой определяют по формуле (6.30). Из формулы видно, что климатические условия существенно влияют на затраты автомобильного транспорта на перевозки при движении по кривым различного радиуса, поскольку от климата каждого региона зависят продолжительность характерных периодов года, состояние дорог и скорость движения в каждый период года. Годовые затраты автомобильного транспорта определяют как сумму этих затрат по периодам года

$$C_a = C_a^1 + C_a^2 + C_a^{пер}, \quad (6.51)$$

Народнохозяйственные потери, связанные с затратами времени пассажиров в пути следования при условии, что на кривых в плане отсутствуют зазоры и остановки, могут быть определены для каждого периода

$$C_n^i = n_i C_{насс} (N_{pi} L_R R_i / v_i + N_{ai} L_R R_i / v_{ai}), \quad (6.52)$$

где $C_{насс}$ — средний размер потерь народного хозяйства, приходящийся на 1 ч пребывания пассажира в пути; R_{pi}, R_{ai} — среднее число пассажиров в одном легковом автомобиле и автобусе.

Народнохозяйственные потери от дорожно-транспортных происшествий определяют по формуле (6.37) для каждого сезона, а число дорожно-транспортных происшествий на 100 млн. авт-км можно определить для каждого сезона по сезонному итоговому коэффициенту аварийности по формуле (6.38).

Таблица 6.5

Зона	Длительность периода, дни	Значения K_p для радиусов кривых в плане, м						
		60	100	125	250	400	600	1000
IA	Зима — 110	0,24	0,30	0,32	0,46	0,60	0,74	0,92
	Весна —	0,26	0,36	0,40	0,60	0,75	0,90	1,0
	осень — 45							
	Лето — 210	0,40	0,50	0,54	0,80	1,0	1,0	1,0
IB	Зима — 85	0,24	0,30	0,32	0,46	0,60	0,74	0,92
	Весна —	0,26	0,36	0,40	0,60	0,75	0,90	1,0
	осень — 71							
	Лето — 209	0,40	0,50	0,54	0,80	1,0	1,0	1,0
II	Зима — 42	0,24	0,30	0,32	0,46	0,60	0,74	0,92
	Весна —	0,26	0,36	0,40	0,60	0,75	0,90	1,0
	осень — 86							
	Лето — 237	0,40	0,50	0,54	0,80	1,0	1,0	1,0
III	Зима — 20	0,24	0,30	0,32	0,46	0,60	0,74	0,92
	Весна —	0,26	0,36	0,40	0,60	0,75	0,90	1,0
	осень — 69							
	Лето — 276	0,40	0,50	0,54	0,80	1,0	1,0	1,0

Суммарные потери от дорожно-транспортных происшествий в год

$$C_{\text{дтп}} = C_{\text{дтп}}^1 + C_{\text{дтп}}^2 + C_{\text{дтп}}^{\text{пер}} \quad (6.53)$$

Как и при обосновании требований к ширине проезжей части, в требованиях к размеру радиусов кривых в плане учитывают изменение расходов, возрастающих с увеличением радиусов кривых, и расходов, уменьшающихся с увеличением радиусов кривых.

К первой группе относят расходы, связанные с ростом объемов земляных работ (за исключением равнинных мест), сносом строений, занятием более ценных земель или преодолением других препятствий, требующих увеличения радиусов кривых. Ко второй группе относят расходы транспортные, на приобретение подвижного состава, на содержание дорог и, особенно, зимнее содержание, а также потери от дорожно-транспортных происшествий.

С уменьшением радиуса кривой в плане меньше 600—800 м снижается скорость, повышаются транспортные расходы и одновременно возрастают число дорожно-транспортных происшествий и потери от них.

При технико-экономических обоснованиях требований к радиусам кривых в плане необходимо учесть особенности очистки этих участков от снега зимой. Закругления малого радиуса заносятся

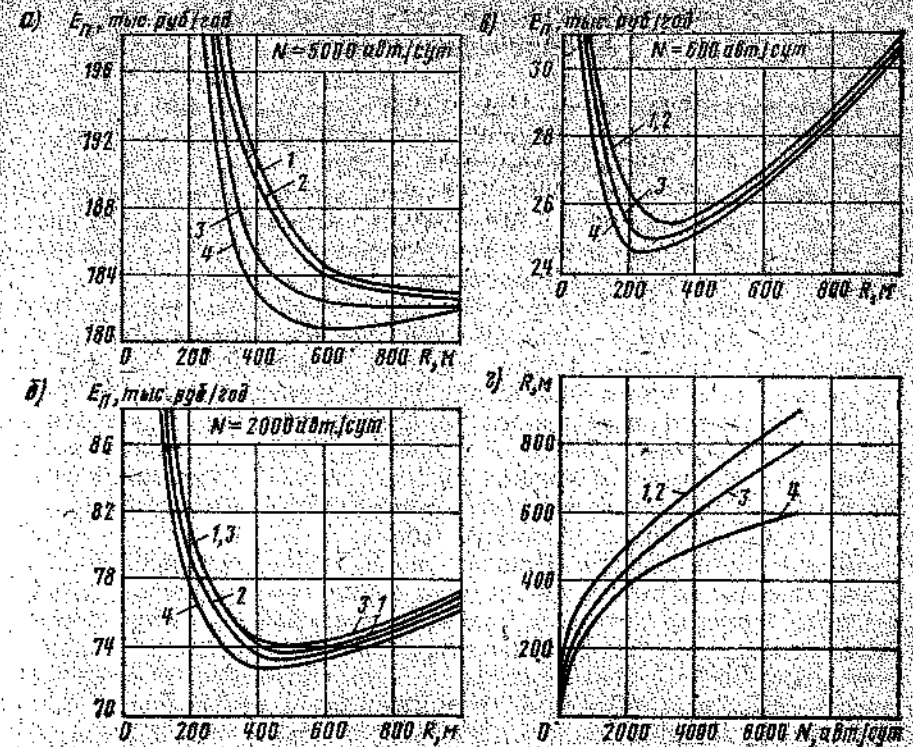


Рис. 6.10. Экономически эффективные радиусы кривых в плане для разных климатических зон и интенсивности движения:

а, б, в — суммарные приведенные затраты при интенсивности движения 5000, 2000 и 600 авт./сут; г — зависимость экономически оптимального радиуса закругления от интенсивности движения;

1 — зона IA, 2 — зона IB, 3 — зона II, 4 — зона III

снегом быстрее, а очищать их гораздо труднее, чем прямые участки, поэтому исходя из требуемой скорости плужных снегоочистителей [9, 11] целесообразно в районах с зимним расчетным периодом на снегозаносимых участках радиусы кривых в плане принимать не менее 200—300 м.

В табл. 6.5 приведены исходные данные для обоснования экономического целесообразности требований к радиусам кривых в плане в различных климатических зонах. Расчеты выполнены для условий холмистого рельефа местности и угла поворота 45°. Изменения объемов работ и строительной стоимости приняты по данным Гипродорнии. Анализ расчетов показывает (рис. 6.10), что экономически целесообразный радиус кривых для каждой категории дороги существенно зависит от климатических характеристик в разных зонах.

6.1. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОДОЛЬНОМУ УКЛОНУ

Принципы обоснования. При технико-экономическом обосновании продольного уклона предполагают, что с ростом его сокращаются отклонение оси проектируемой дороги от воздушной линии, уменьшаются высота насыпей и глубина выемок, а следовательно, и объемы земляных работ и строительная стоимость. В большинстве случаев это действительно так, однако зависимость строительной стоимости от размера продольного уклона сложнее.

Трасса может быть запроектирована по обертывающей с максимальным развитием линии. В этом случае сокращаются удельные объемы земляных работ на километр дороги и стоимость строительства каждого километра. Однако далеко не всегда строительная стоимость всей дороги при таком варианте будет минимальной, поскольку вместе с развитием линии увеличиваются суммарная стоимость дорожной одежды, число и суммарная стоимость искусственных сооружений, а в ряде случаев может возрасти и суммарный объем земляных работ.

Трассу можно запроектировать по принципу секущей линии с минимальным отклонением от кратчайшего направления. Тогда удельные объемы земляных работ на каждый километр дороги будут больше, чем при проектировании по обертывающей. Однако суммарные объемы земляных работ, стоимость дорожной одежды и искусственных сооружений, а также общая строительная стоимость могут незначительно отличаться от общей стоимости трассы, уложенной по обертывающей.

На строительную стоимость сильно влияют грунтово-геологические и климатические условия, ландшафт и растительность, застройка местности и многое другое, что в настоящее время изучено еще незначительно.

Имеющиеся материалы о влиянии максимального продольного уклона на изменение строительной стоимости в различных условиях рельефа (рис. 6.11) носят усредненный, ориентировочный характер и свидетельствуют о том, что при проектировании целесообразно сравнивать несколько вариантов плана и профиля дороги. Это вполне реально при использовании современных методов автоматизированного проектирования с применением ЭВМ.

Технико-экономическому обоснованию выбора максимального продольного уклона автомобильных дорог посвящено большое число работ [23, 37, 41, 49, 58, 59, 60], в которых исследовано его влияние на показатели работы автомобильного транспорта. В них рассмотрены условия движения транспортных потоков на подъемах и спусках только в сухой, летний период, и из этого делаются выводы о выборе рекомендуемого продольного уклона, что нельзя считать достаточным.

В нормах предельные значения параметров рекомендуется назначать только в зависимости от перспективной интенсивности движения и характеристики рельефа. Оценка рельефа проводится

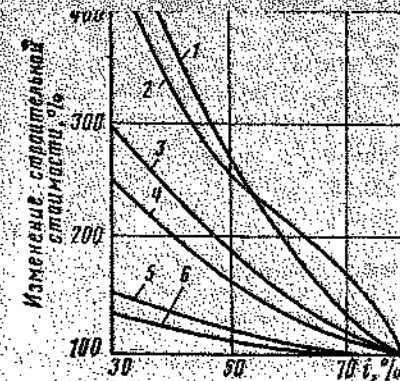


Рис. 6.11. Зависимость строительной стоимости от максимального продольного уклона:

1 — в горной местности с минимальным развитием трассы; 2 — то же, с максимальным развитием трассы; 3 — в пересеченной местности с крутизной склонов 1:5 — 1:7; 4 — то же, с крутизной склонов 1:10 — 1:15; 5 — в слабовосходящей местности с развитием трассы; 6 — то же, по кратчайшему направлению

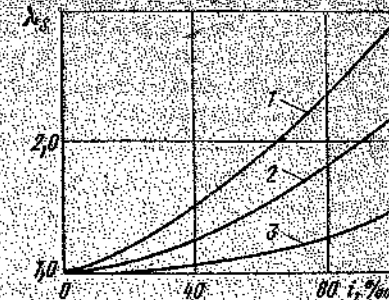


Рис. 6.12. Зависимость себестоимости перевозок (средней в двух направлениях) от продольного уклона:

1 — автомобильные поезда; 2 — грузовые автомобили; 3 — легковые автомобили

по трем категориям (равнинный, пересеченный и горный) для обычных, трудных и исключительных условий проектирования. Как следует из анализа взаимодействия автомобиля с дорогой, при различных состояниях ее поверхности такой подход нельзя признать правильным.

Расчет следует вести для условий движения автомобиля в расчетные периоды года при характерном состоянии покрытия, а технико-экономическое обоснование рекомендуемого максимального продольного уклона должно выполняться с учетом его влияния на эффективность работы автомобильного транспорта во все периоды года, т. е. с учетом состояния поверхности дороги и проектируемого уровня содержания. Это означает, что необходимо проектировать совместно размер продольного уклона и состояние поверхности дороги, поскольку сумма дорожных сопротивлений, на преодоление которых расходуется мощность автомобиля, включает коэффициент сопротивления качению, прямо зависящий от состояния дороги и продольного уклона.

Влияние продольного уклона на себестоимость перевозок. Недостаточно разработан вопрос учета влияния продольного профиля дороги на себестоимость автомобильных перевозок. При сравнении вариантов учитывают эксплуатационные расходы автомобиля, пропорциональные длине дороги, тогда как эти расходы являются в равной степени функцией продольных уклонов.

Для оценки параметров продольного профиля С. Б. Никитин предложил систему относительных числовых коэффициентов, показывающих, в каком отношении изменяются эксплуатационные расходы при движении автомобиля на спусках и подъемах по от-

ношению к расходам на движение по горизонтальному участку, принятым за единицу [37].

Для обобщенной оценки влияния уклонов продольного профиля им предложено оценивать виртуальную длину путем коэффициентов себестоимости перевозки, включающих совокупность всех переменных, постоянных и дорожных расходов:

$$\lambda_s = 0,11\lambda_{ш} + 0,175\lambda_2 + 0,155\lambda_{рем} + 0,09\lambda_{ам} + 0,25\lambda_{з.п} + 0,14\lambda_{накл} + 0,08\lambda_{дор}, \quad (6.54)$$

где $\lambda_{ш}$, λ_2 , $\lambda_{рем}$, $\lambda_{ам}$, $\lambda_{з.п}$, $\lambda_{накл}$, $\lambda_{дор}$ — коэффициенты эксплуатационных расходов на шины, топливо, ремонт автомобиля, амортизацию, заработную плату, накладные и дорожные расходы в зависимости от продольных уклонов.

Сравнение вариантов трассы по этому методу сводится к сравнению между собой виртуальной длины по себестоимости перевозок (рис. 6.12).

Наименьшая L_s и является критерием экономической целесообразности варианта по условиям продольного профиля и признакам наименьшей себестоимости перевозок.

Если l_i — длина уклона, то

$$L_s = \sum l_i \lambda_{si}. \quad (6.55)$$

Виртуальную длину определяют в обоих направлениях.

В общем случае

$$L_s = (\lambda_s \Gamma_1 + \lambda_{s_2} \Gamma_2) / 100, \quad (6.56)$$

где Γ_1 и Γ_2 — распределение грузооборота по направлениям, % от общего.

Этот упрощенный метод позволяет оценивать варианты продольного профиля дороги. Недостаток этого метода в том, что он не учитывает состояния дорог.

Для оценки себестоимости перевозки на подъемах различной величины разработана специальная номограмма [49]. Канд. техн. наук Н. А. Цыценко выполнил расчеты зависимости стоимости пробега автомобилей от продольного уклона при разных типах покрытия¹. Им установлена эмпирическая зависимость стоимости пробега автомобиля от продольного уклона при различных типах покрытия:

$$S = S_0 \alpha (a + bz + cz^2) \text{ при } z > 0; \quad (6.57)$$

$$S = S_0 \alpha (a + gz) \text{ при } z < 0, \quad (6.58)$$

где S_0 — стоимость 1 км пробега автомобиля по дороге с асфальтобетонным покрытием на спусках с уклоном $i = -0,02$ коп/авт-км; α , z — параметры, зависящие от типа покрытия и продольного уклона; a , b , c , g — параметры, зависящие от типа и загрузки автомобиля.

¹ Цыценко Н. А. Зависимость эксплуатационных затрат и оптимальной скорости движения автомобиля от величины дорожных сопротивлений. В кн.: Оптимизация сроков реконструкции и стадийного строительства автомобильных дорог. — Алма-Ата, 1978, с. 274—289.

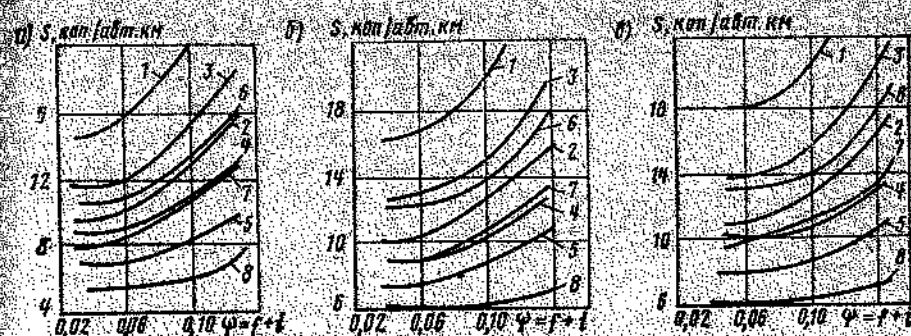


Рис. 6.13. Зависимость себестоимости пробега автомобилей от дорожных сопротивлений:

а — с усовершенствованными капитальными покрытиями; б — то же, с облегченными покрытиями; в — с переходными покрытиями;
1 — MAZ-200 с прицепом; 2 — MAZ-200; 3 — ЗИЛ-130 с прицепом; 4 — ЗИЛ-130; 5 — ГАЗ-53; 6 — автобус ПАЗ-652; 7 — автобус ПАЗ-652; 8 — «Волга» М-21

С использованием этих расчетов нами получены зависимости (рис. 6.13), показывающие, что себестоимость перевозки при уклонах 0—30% практически постоянна и значительно больше зависит от состояния покрытия, чем от продольного уклона. При уклонах более 30—40% себестоимость перевозки быстро возрастает.

Методика обоснования величины продольного уклона. Предложенная нами методика позволяет определить экономически целесообразный продольный уклон с учетом природно-климатических условий района проложения дороги, интенсивности и состава движения.

Основная особенность расчетов в том, что при определении средних скоростей автомобилей и транспортного потока необходимо учитывать состояние поверхности дороги в зависимости от погодных-климатических характеристик. Сложная задача в этих расчетах — установить изменение строительной стоимости в зависимости от максимального продольного уклона

$$K_d = f(i).$$

Сложность заключается и в том, что при изменении продольного уклона на одном участке дороги может измениться положение проектной линии и на значительном протяжении смежных участков. Кроме того, изменение продольного уклона может сопровождаться не линейным, а ступенчатым изменением стоимости, например, когда проектная линия из рыхлых грунтов опустится в скальные породы. Нельзя забывать и того, что при изменении продольных уклонов изменяются высота насыпей и глубина выемок, заложения откосов, а вместе с ними размеры труб и других искусственных сооружений.

Поэтому расчеты по технико-экономическому обоснованию допустимого размера продольного уклона целесообразно выполнять на основе проектных проработок по каждому варианту, используя в этих целях ЭВМ.

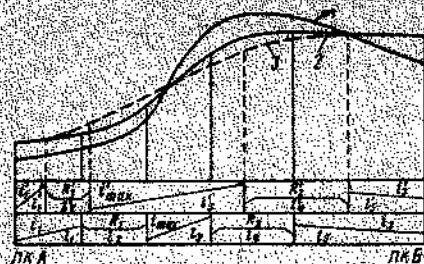


Рис. 6.14. Расчетная схема для обоснования продольного уклона:

1 — линия поверхности земли; 2 и 3 — проектная линия поверхности дороги по вариантам

По каждому варианту необходимо определить объемы и стоимость земляных работ, всех других элементов и общую стоимость. При оценке нескольких вариантов можно воспользоваться только разницей между общей стоимостью варианта с максимальным продольным уклоном и общей стоимостью участка по каждому варианту. Для ориентировочных расчетов изменение строительной стоимости при разных продольных уклонах можно принимать:

Продольный уклон, %	70	60	50	40	30	20	10	0
Коэффициент изменения строительной стоимости								
в холмистой местности	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	2,9	3,35	3,9
в горной местности	1,0	1,33	1,73	2,26	3,0	3,5	4,15	5,0

Капитальные вложения в автомобильный транспорт для каждого периода года определяют по формуле (6.27). В развернутом виде формула имеет вид

$$K_a = \frac{KN}{Ta} \left[l_1 \left(\frac{n_a}{v_{1a}} + \frac{n_a}{v_{1a}} + \frac{n_{пер}}{v_{1пер}} \right) + l_2 \left(\frac{n_a}{v_{2a}} + \frac{n_a}{v_{2a}} + \frac{n_{пер}}{v_{2пер}} \right) + \dots + l_r \left(\frac{n_a}{v_{ra}} + \frac{n_a}{v_{ra}} + \frac{n_{пер}}{v_{rпер}} \right) \right], \quad (6.59)$$

где $\bar{v}_{1a}, \bar{v}_{2a}, \dots, \bar{v}_{ra}$ — средние скорости транспортного потока на каждом участке по каждому периоду года; $l_1, l_2, \dots, l_r$ — протяженность участков, км.

Из формулы видно, что климатические условия по-разному влияют на капитальные вложения в дорогу с одним и тем же продольным уклоном, но в различных климатических зонах. Так, на участке с максимальным продольным уклоном в зоне IА движение с пониженными скоростями зимой может наблюдаться 100—120 дней, тогда как в зоне III — только 20—40 дней, что потребует на один и тот же объем перевозок значительно больше капитальных вложений в автомобильный транспорт в зоне IА по сравнению с зоной III.

При сравнении вариантов продольного профиля из состава текущих затрат можно учитывать только текущие затраты автомо-

Длину участка, намечаемого к сравнению вариантов, надо выбирать таким образом, чтобы можно было разместить все элементы продольного профиля по рассматриваемым вариантам, не выходя за пределы этого участка (рис. 6.14).

По каждому варианту необходимо определить объемы и стоимость земляных работ, всех других элементов и общую стоимость. При оценке нескольких вариантов можно воспользоваться только разницей между общей стои-

мостью варианта с максимальным продольным уклоном и общей стоимостью участка по каждому варианту. Для ориентировочных расчетов изменение строительной стоимости при разных продольных уклонах можно принимать:

Таблица 6.6

Зона	Длительность характерного периода, дни	Значение $K_{p.c.}$ при продольных уклонах, %					
		20	30	40	50	60	70
IА	Зима — 110	0,70 (0,8)	0,66 (0,75)	0,60 (0,7)	0,56 (0,62)	0,50 (0,58)	0,45 (0,52)
	Весна —	1,0	0,90	0,86	0,80	0,76	0,74
	осень — 45						
	Лето — 210	1,0	0,90	0,86	0,80	0,76	0,74
IВ	Зима — 85	0,70 (0,8)	0,66 (0,75)	0,60 (0,7)	0,56 (0,62)	0,50 (0,58)	0,45 (0,52)
	Весна —	1,0	0,90	0,86	0,80	0,76	0,74
	осень — 71						
	Лето — 209	1,0	0,90	0,86	0,80	0,76	0,74
II	Зима — 42	0,70 (0,8)	0,66 (0,75)	0,60 (0,7)	0,56 (0,62)	0,50 (0,58)	0,45 (0,52)
	Весна —	1,0	0,90	0,86	0,80	0,76	0,74
	осень — 86						
	Лето — 237	1,0	0,90	0,86	0,80	0,76	0,74
III	Зима — 20	0,70 (0,8)	0,66 (0,75)	0,60 (0,7)	0,56 (0,62)	0,50 (0,58)	0,45 (0,52)
	Весна —	1,0	0,90	0,86	0,80	0,76	0,74
	осень — 69						
	Лето — 276	1,0	0,90	0,86	0,80	0,76	0,74

Примечание. В скобках приведены значения $K_{p.c.}$ для дорог II категории.

бильного транспорта C_a , потери времени пассажиров C_v и от дорожно-транспортных происшествий, т. е.

$$C = C_a + C_v + C_{дтп}. \quad (6.60)$$

Текущие затраты автомобильного транспорта

$$C_a = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^3 n_{ij} l_{ij} \left[N_x \left(S_{xпер} + \frac{S_{xпер} + d_x}{v_{x,ij}} \right) + N_r \left(S_{rпер} + \frac{S_{rпер} + d_r}{v_{r,ij}} \right) \right], \quad (6.61)$$

где $\bar{v}_{x,ij}, \bar{v}_{r,ij}$ — средние скорости легковых и грузовых автомобилей на каждом участке продольного профиля в каждый период года.

Анализ формулы показывает, что климатические условия так же существенно влияют на текущие затраты автомобильного транспорта.

Аналогично учитывают климатические условия при определе-

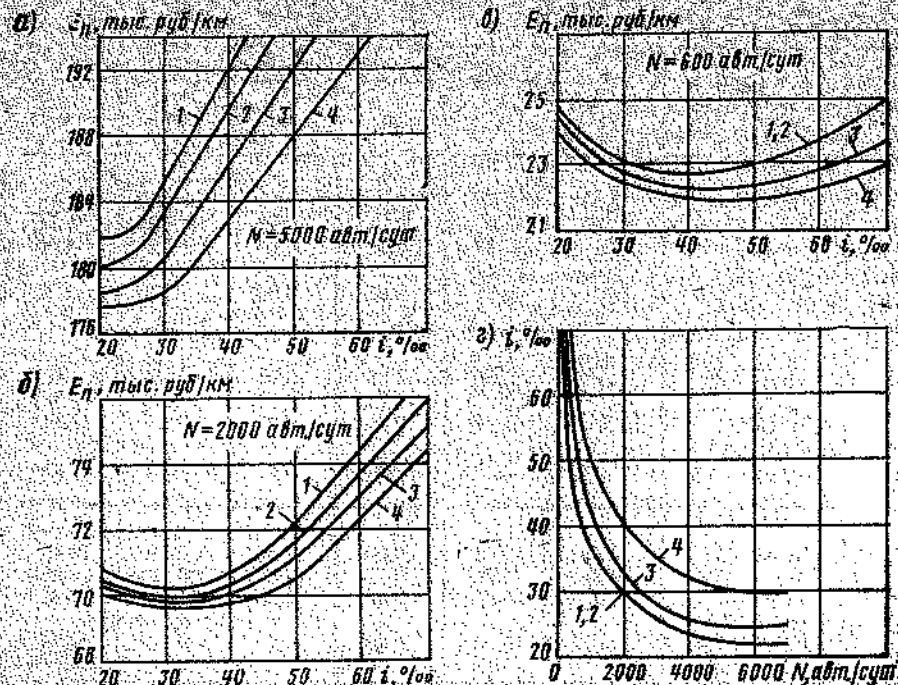


Рис. 6.15. Определение экономически эффективных продольных уклонов для различных климатических зон и интенсивности движения:

а, б, в — суммарные приведенные затраты при интенсивности движения: 5000, 2000, 600 авт./сут.; г — зависимость экономически оптимальной величины продольного уклона от интенсивности движения;

1 — зона IА; 2 — зона IБ; 3 — зона II; 4 — зона III

нии народнохозяйственных потерь, связанных с затратами времени пассажиров в пути следования. Народнохозяйственные потери, связанные с дорожно-транспортными происшествиями, определяют по формуле (6.37).

В табл. 6.6 приведены исходные данные для технико-экономических расчетов по обоснованию требований к размеру максимального продольного уклона дорог II—IV категорий для холмистой местности в I—III зонах по условиям движения.

Для получения данных об изменении строительной стоимости дороги при изменении максимального продольного уклона выполнено экспериментальное проектирование продольного профиля участков дорог II, IV категорий длиной 4 км на одних и тех же участках холмистой местности. Проектирование проводилось на ЭВМ по программе ВНИИ транспортного строительства. Были определены изменения объемов земляных работ по всем вариантам и их строительная стоимость.

Результаты расчетов (рис. 6.15) показывают, что экономически целесообразный продольный уклон существенно зависит от длитель-

ности неблагоприятных периодов. Так, для дорог III категории в зоне I при холмистом рельефе максимальный продольный уклон экономически нецелесообразно принимать более 40‰, в то время как в III климатической зоне он может быть увеличен до 50‰.

6.5. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОГ

Технико-экономические расчеты подтверждают необходимость разработки региональных норм проектирования, правил содержания дорог, организации и управления движением. В них, кроме общих требований, действующих на всей территории страны и в течение всего времени работы дорог, должны быть требования и технические решения, учитывающие особенности функционирования дорог в каждом регионе, в каждый период года, при воздействии различных метеорологических явлений.

Ориентировочная оценка эффективности разработанных требований показана на примере их сопоставления с требованиями строительных норм и правил, приведенных в табл. 6.7 для различных зон по условиям движения.

Сопоставление подтверждает, что в действующих нормах не полностью учтены особенности работы дорог с точки зрения удобства и безопасности движения. С учетом этих особенностей требования к параметрам и транспортно-эксплуатационным характеристикам должны быть изменены и дифференцированы.

Таблица 6.7

Геометрические параметры в зонах по условиям движения	Показатели параметров по категориям дорог					
	II*		III		IV	
	СНиП	Рекомендуемые	СНиП	Рекомендуемые	СНиП	Рекомендуемые
I зона						
Ширина укрепленной поверхности дороги, м	9,0	8,5	8,0	8,2	6,0	7,2
В том числе:						
проезжей части	7,5	7,5	7,0	7,0	6,0	6,0
краевых полос	0,75	0,50	0,5	0,6	—	0,6
Минимальный радиус кривых в плане, м:						
в равнинной местности	600	600	400	500	250	300
в пересеченной местности	400	600	250	500	125	300
Максимальный продольный уклон, ‰:						
в равнинной местности	40	30	50	40	60	45
в пересеченной местности	50	30	60	40	70	45

Продолж. табл. 6.7

Геометрические параметры и зоны по условиям движения	Показатели параметров по категориям дорог					
	II		III		IV	
	СНиП	Рекомен- дуемые	СНиП	Рекомен- дуемые	СНиП	Рекомен- дуемые
II зона						
Ширина укреплен- ной поверхности до- роги, м	9,0	8,4	8,0	8,0	6,0	7,0
В том числе:						
проезжей части	7,5	7,5	7,0	7,0	6,0	6,0
краевых полос	0,75	0,45	0,5	0,5	—	0,5
Минимальный ради- ус кривых в плане, м:						
в равнинной	600	600	400	500	250	300
местности						
в пересеченной	400	600	250	500	125	300
местности						
Максимальный про- дольный уклон, %:						
в равнинной	40	30	50	40	60	55
местности						
в пересеченной	50	30	60	40	70	55
местности						
III зона						
Ширина укреплен- ной поверхности до- роги, м	9,0	8,2	8,0	7,6	6,0	6,7
В том числе:						
проезжей части	7,5	7,5	7,0	7,0	6,0	6,0
краевых полос	0,75	0,35	0,5	0,3	—	0,35
Минимальный ради- ус кривых в плане, м:						
в равнинной	600	600	400	500	250	250
местности						
в пересеченной	400	600	250	400	125	250
местности						
Максимальный про- дольный уклон, %:						
в равнинной	40	35	50	45	60	60
местности						
в пересеченной	50	35	60	45	70	60
местности						

Действующие нормы предусматривают устройство укрепленных краевых полос на дорогах I—III категорий и не дифференцируют их ширину по климатическим зонам. Исследованиями установлено, что требования к ширине краевых укрепленных полос для дорог II категории завышены, а для III категории занижены. Минимальные радиусы кривых в плане в большинстве случаев необходимо уменьшать, а максимальные продольные уклоны снижать.

Для подтверждения народнохозяйственной эффективности разработки региональных норм проектирования дорог выполнены рас-

Таблица 6.8

Категория	Условный ежегодный прирост, км	ΔE, тыс. руб. в год
II	1 000	28 800
III	2 000	14 500
IV	6 500	20 150
Итого	9 500	63 450

четы возможного снижения годовых приведенных затрат ΔE (табл. 6.8):

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n E_{iH} - \sum_{i=1}^n E_{iA}, \quad (6.62)$$

где E_{iH} — ожидаемые суммарные приведенные затраты при проектировании дорог по нормам; E_{iA} — то же, по предлагаемым требованиям.

При этом приняты условное соотношение дорог по категориям и предположение о равномерных объемах строительства дорог по зонам, а также о том, что половина дорог строится в равнинной, а половина в пересеченной местности.

Расчеты показывают, что разработка и реализация региональных норм проектирования дорог позволят получить существенный народнохозяйственный эффект, тем более, что указанные нормы в еще больших объемах могут быть реализованы при составлении проектов реконструкции и капитального ремонта дорог.

Глава 7

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОГ

7.1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЦЕПНЫХ КАЧЕСТВ ПОКРЫТИЙ

Комплекс мер, обеспечивающих сцепные качества. Проектирование, строительство и содержание дороги должны быть направлены на обеспечение требований к сцепным качествам покрытий (рис. 7.1).

В системе управления сцепными качествами принципиально важными являются анализ климатических и метеорологических условий, определение и прогнозирование на стадии проектирования вероятности снижения сцепных качеств из-за погоды, степени и длительности этого снижения, а также выявление наиболее опасных участков. При проектировании дорожной одежды также необходимо учитывать требования не только к прочности, но и к сцепным качествам покрытий.

[illegible]

Рис. 7.1. Схема управления спелыми качествами поверхности дороги

Для уменьшения морозного пучения все большее распространение находит устройство теплоизолирующих слоев. Однако эти слои при близком их расположении к поверхности покрытия приводят к увеличению в 1,1—1,3 раза случаев образования гололеда. Исследования, выполненные под руководством проф. А. Я. Тулаева, показали, что глубина заложения теплоизолирующих слоев должна быть не менее 0,5 м [55].

Важным моментом в обеспечении сцепных качеств покрытий является рациональное проектирование пересечений и примыка-

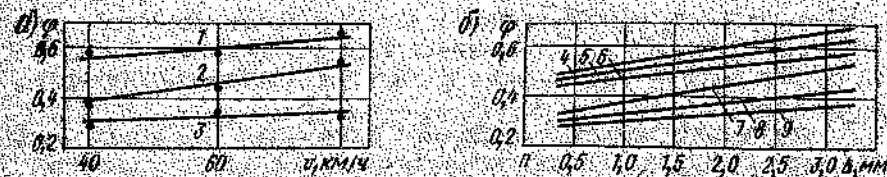


Рис. 7.2 Коэффициент сцепления при разной скорости движения (а) и при разной шероховатости покрытия (б):

t — сухое гладкое покрытие, $t = -14^{\circ}\text{C}$; 2 — сухое покрытие, $\Delta = 2,3-2,92$ мм, $t = -9^{\circ}\text{C}$; 3 — то же, $\Delta = 0,87-1,55$ мм, $t = -4^{\circ}\text{C}$; $4, 5$ и 6 — скорости 80, 60 и 40 км/ч, покрытие чистое, сухое, $t = -14^{\circ}\text{C}$; $7, 8$ и 9 — то же, покрытие чистое, мокрое, $t = -2^{\circ}\text{C}$; 10 — -4°C .

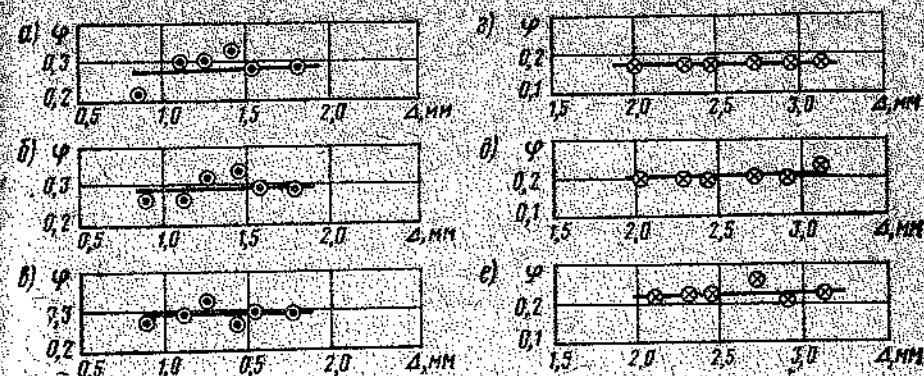


Рис. 7.3. Коэффициент сцепления на шероховатом покрытии при наличии снежного наката и гололеда.

а, б, в — скорости 40, 60 и 80 км/ч. снежный накат, температура воздуха — 12... — 14°С;
г, д, е — скорости 60, 40 и 80 км/ч. гололед, температура воздуха — 2... — 3°С

ний, съездов и переездов в одном уровне. В этих местах на поверхность дороги часто заносится пыль и грязь с примыкающих или пересекающих дорог, не имеющих твердого покрытия. Любая поверхностная обработка неэффективна, если она покрыта слоем пыли или грязи. Поэтому в проекте необходимо предусматривать минимальное число пересечений и примыканий, съездов и переездов с местными дорогами и строить твердые покрытия на достаточном протяжении примыкающих дорог, съездов и переездов. Большое значение для предотвращения загрязнения проезжей части и снижения вредных качеств имеет укрепление обочин.

Сцепные качества и шероховатость покрытий. Важной задачей проектирования является разработка дифференцированных требований к размеру коэффициента сцепления и параметрам шероховатости в разных природно-климатических условиях. На большей части территории СССР зимний период составляет большую часть года. Поэтому особенность работы шероховатых покрытий зимой и их учет при проектировании дорог приобретают особое значение.

Установлено [4, 35], что на сухих покрытиях в зимний период сцепные качества имеют достаточно высокое значение и с увеличением макрошероховатости изменяются мало (рис. 7.2). На заснеженных покрытиях и при гололеде макрошероховатость на сцепные качества не влияет (рис. 7.3).

Однако исследования, выполненные в Гидродорнии инж. Л. Г. Марьяхиным, показали, что макрошероховатость дорожной поверхности влияет на образование снежного наката, сроки ликвидации гололеда, особенности удаления снега и льда с дороги.

¹ Марьяхин Д. Г. Требования к шероховатости покрытий зимой. — В кн.: Современные методы организации и повышения безопасности движения на автомобильных дорогах. — М.: Гипротранс, 1981, с. 57—64.

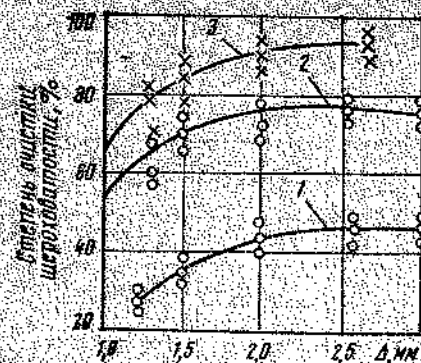


Рис. 7.4. Самоочистка впадин в шероховатой поверхности при температуре воздуха —8...—12°С после прохода автомобилей:
1 — 1800; 2 — 3000; 3 — 4500

Установлено, чем выше интенсивность движения, тем быстрее происходит самоочистка от снега шероховатых покрытий, если слой уплотняемого снега не превышает 3—5 см.

Канд. техн. наук В. И. Жуков показал, что воздействие движения в наибольшей мере проявляется, начиная с интенсивности 2500 авт./сут, при которой происходит быстрое оледенение покрытий и, следовательно, снижение сцепления колеса с покрытием [15]. При интенсивности менее 2500 авт./сут роль транспорта в образовании ледяной корки на покрытии значительно меньше.

Влияние шероховатости на степень очистки покрытия от снега заметно нарастает с увеличением высоты ее выступов до 1,5 мм. Дальнейшее увеличение их высоты на очистку покрытия под движением автомобилей практического влияния не оказывает (рис. 7.4).

Поэтому с позиции работы покрытий в зимний период наиболее целесообразными следует считать выступы макрошероховатости высотой 1,5—2,0 мм.

Зимой шероховатость способствует выдавливанию жидкости, образующейся от таяния льда в зоне контакта шины с покрытием. Высота, шаг, форма выступов во многом определяют сцепные качества сухих покрытий и при наличии микроголеда. Не меньшее значение в этих условиях приобретает собственная шероховатость каменного материала (микрошероховатость).

Крупношероховатые поверхности имеют сглаженную собственную шероховатость. Пленка льда на ней равномерна по толщине. Под колесами эта пленка плавится не вся, а только на вершинах выступов, ниже которых остаются площадки нерастаявшего льда, и коэффициент f небольшой; это наблюдается еще и из-за большого шага между выступами шероховатости, когда фактическая площадь контакта небольшая, что снижает коэффициент f . На мелкошероховатых поверхностях четко выраженная собственная микрошероховатость способствует образованию неравномерной по толщине пленки льда. Образующаяся в контакте колеса с покрытием пленка жидкости тоже неравномерна по толщине. Шина контактирует с покрытием через множество точек касания и коэффициент f выше, чем на крупнозернистых покрытиях.

Это подтверждает вывод о том, что наилучшими сцепными качествами обладают мелкозернистые смеси с максимальной крупностью щебня 10 мм при высоте и шаге между выступами 6—10 мм. К тому же покрытия из мелкозернистых смесей хорошо очи-

Таблица 7.1

Условия движения	Начальная макрошероховатость покрытия, не менее мм, в зависимости от зон по условиям движения			
	Дороги I и II категории		Дороги III и IV категории	
	IA, II	IB, IB, IG, II	IA, III	IB, IB, IG, II
Легкие	1,5	1,5	1,0	1,0
Затрудненные	2,0	2,0	1,5	1,5
Опасные	2,5	3,5	2,0	2,5

Примечание. Начальная макрошероховатость поверхности обработки на асфальтобетонных и усовершенствованных облегченных покрытиях должна быть: 5—6 мм на дорогах I и II категорий в зоне IB, IB, IG, II, на дорогах III и IV категорий 3,5—4 мм.

щаются от снега и в меньшей степени способствуют оледенению от воздействия транспорта.

Региональные требования к шероховатости. В СССР требования к сцепным качествам и параметрам шероховатости поверхности покрытий регламентированы нормативными документами в зависимости от условий движения [53]. По макрошероховатости дорожные покрытия разделены на типы: гладкие со средней высотой выступов не более 0,3 мм; мелкошероховатые (типа наждачной бумаги) со средней высотой выступов 0,3—1 мм; среднешероховатые со средней высотой выступов 1—2 мм; крупношероховатые со средней высотой выступов более 2 мм.

Критерием для назначения макрошероховатости поверхности служат скорость автомобиля и минимально допустимый по условиям безопасности движения коэффициент сцепления на мокром покрытии.

Исследования дают основание дифференцировать требования к параметрам шероховатости, которые в настоящее время едины для всей территории страны. Предлагается устраивать крупнозернистые шероховатые поверхности в районах с длительными периодами осадков в виде дождя и мокрого снега, в северных районах, где большую часть года осадки выпадают в виде сухого снега, —

Таблица 7.2

Скорость движения, км/ч	Коэффициент сцепления на мокром покрытии	Макрошероховатость дорожной поверхности, мм
60	0,35—0,40	0,4
60	0,45	0,8
80	0,26	1,0
80	0,28	1,5
80	0,30	2,0

Таблица 7.3

Категория дороги	Скорость, принимаемая при расчете элементов поперечного профиля, км/ч	Допускаемая разность коэффициентов сцепления	
		в пределах покрытия	на краевых укрепленных полосах и прикромочных полосах обочин по сравнению с покрытием
I	120	0,05—0,10	0,10—0,15
II	100	0,10	0,15—0,20
III	90	0,10—0,15	0,20
IV	80	0,15	0,25

мелкозернистую шероховатую обработку, как и в районах с жарким засушливым климатом, где осадков вообще мало. Требования к параметрам макрошероховатости с учетом категории дороги и климатических условий даны в табл. 7.1.

Для дорог I категории, а также трехполосных дорог допустимую макрошероховатость устанавливают по табл. 7.2 и проверяют по условиям удаления воды из зоны контакта шины с покрытием.

Исследуя сцепные качества покрытий, обычно исходят из того, что коэффициент сцепления, измеренный на какой-либо одной полосе дороги, является неизменным по всей ширине проезжей части. Это допущение не имело существенного значения для невысоких скоростей, однако в современных условиях оно требует пересмотра.

Сцепные качества могут изменяться по ширине покрытия в значительных пределах, что существенно влияет на безопасность движения [12]. Поэтому следует разработать требования к допустимому изменению коэффициента сцепления по ширине. Чтобы обеспечить безопасность встречных автомобилей на двухполосных дорогах и движущихся по смежным полосам многополосных дорог, а также при съездах автомобилей на укрепленные полосы или прикромочные зоны обочин, изменения коэффициента сцепления в поперечном профиле не должны превышать указанных в табл. 7.3.

Требования к сцепным качествам и шероховатости покрытий обычно даются осредненно, применительно к большим территориям. Они могут не полностью учитывать особенности климата района проложения дороги, интенсивности и состава движения, других факторов. Поэтому, чтобы выполнить требования к сцепным качествам покрытий при проектировании дорог I—III категории, целесообразно определить расчетом требования к параметрам шероховатости с учетом конкретных условий работы дороги.

Анализ показывает, что влияние шероховатости покрытий на взаимодействие колес автомобиля с дорогой, на режим и безопасность движения и себестоимость перевозок далеко не однозначно

С одной стороны, увеличение параметров шероховатости повышает сцепление колес с мокрым покрытием, скорость и безопасность движения, а следовательно, производительность автомобильного транспорта и снижает себестоимость перевозки. С другой, — требует щебня крупных фракций, т. е. увеличивает расход щебня и битума для устройства шероховатой поверхности. При этом возрастает износ шин, транспортный шум, сопротивление качению, расход топлива и, следовательно, себестоимость перевозки. Таким образом, выбор оптимальных параметров шероховатости является сложной многофакторной задачей.

Текстура поверхности и параметры шероховатости существенно влияют на сцепные качества только мокрого и влажного покрытия, т. е. в период действия и последствия дождя, снега с дождем и высокой влажности воздуха. Зимой шероховатость ощущается в период действия и последствия гололеда, мокрого снега, при небольшой толщине снежного наката. При всех перечисленных состояниях в различной степени наряду с отрицательными проявляются положительные свойства повышенной шероховатости. На сухом покрытии в любой период года проявляются только отрицательные свойства повышенной шероховатости.

Продолжительность действия и последствия метеорологических факторов, способствующих повышению скользкости покрытий, колеблется в очень широких пределах в зависимости от климата региона, поэтому нет и не может быть параметров шероховатости покрытий для дорог одной категории, оптимальных во всех регионах страны.

В тех районах, где длительность мокрого или заснеженного состояния покрытий составляет значительную часть года, требования к параметрам шероховатости также должны быть дифференцированы в зависимости от расчетной скорости и интенсивности движения на проектируемых дорогах. В проекте должны быть определены: требования к типу поверхности, параметры шероховатости покрытия, технология устройства шероховатой поверхности.

Требования к параметрам шероховатости покрытий могут быть определены по методике, разработанной канд. техн. наук М. В. Немчиновым [35]. Расчеты, выполняемые по указанной методике, показывают, что при интенсивности дождя более 1 мм/мин и ширине односкатной поверхности стока с покрытия более 4—5 м даже при самых больших параметрах шероховатости скорость начала аквапланирования не превышает 90—100 км/ч. Это еще раз подтверждает целесообразность введения понятия коэффициента обеспеченности расчетной скорости и нормирования его значений для неблагоприятных условий движения в зависимости от категории дороги и рельефа местности.

При расчетах параметров шероховатости из условий движения автомобиля во время дождя представляется целесообразным принимать значения коэффициента обеспеченности расчетной скорости для дорог I и II категории не менее 0,75 ($v_{\text{max}} \geq 90$ км/ч), III ка-

тегории — не менее 0,5 ($v_{\max} \geq 60$ км/ч). Для дорог IV категории проверку параметров шероховатости на обеспеченность скорости движения во время дождя не производят.

Требования к материалам и технологии строительства шероховатой поверхности. Исходя из требований к сцепным качествам покрытий в проекте необходимо обосновать технологию строительства поверхностной обработки и требования к материалам с учетом категории дороги, характеристик движения и дорожно-климатической зоны. При необходимости проводят технико-экономическое сравнение.

Рекомендуемые методы создания шероховатых поверхностей на покрытиях приведены в табл. 7.4. На автомобильных магистралях

Таблица 7.4

Типы шероховатости покрытий	Покрытия асфальтобетонные и из минеральных материалов, обработанных битумом (битумной эмульсией) в установке или смешением на месте	Цементобетонные покрытия
Мелкошероховатые (высота выступов до 1 мм)	Верхний слой из асфальтобетонных по ГОСТ 9128—84 типов Б ₁ , Б ₂ , Г и марки I типа Д ₂ с использованием щебня и дробленого песка из труднополирующихся горных пород. Поверхностная обработка битумным шламом	Обработка поверхности свежееуложенного бетона специальными щетками поперек проезжей части
Среднешероховатые (высота выступов 1—2 мм)	Верхний слой из горячего или теплого асфальтобетона по ГОСТ 9128—84 типа А с содержанием в смеси 50—65% щебня труднополирующихся горных пород, а также из асфальтобетона Б ₁ , Б ₂ , Д ₂ (на основе природного песка) с втапливанием горячего щебня в поверхность. Поверхностная обработка из мелкого щебня размером 5—10 мм или 10—15 мм (в том числе разнопрочного)	Втапливание прочного щебня в поверхность свежееуложенного бетона. Устройство верхнего слоя двухслойного цементобетонного покрытия из смесей бетона с цементным раствором пониженной прочности и щебнем из труднополирующихся горных пород
Крупношероховатые (высота выступов более 2 мм)	Верхний слой покрытия из асфальтобетонных по ГОСТ 9128—84 типов В ₁ , В ₂ и Д ₂ (на основе природного песка) с втапливанием горячего щебня в процессе уплотнения. Поверхностная обработка из щебня размером 15—20 или 20—25 мм (в том числе разнопрочного)	Втапливание прочного щебня в поверхность свежееуложенного бетона

при строительстве поверхностной обработки добавляют к битуму полимеры. Размер шероховатости регулируют размером щебня, однако крупношероховатые поверхностные обработки из щебня размером 15—20 и 20—25 мм не рекомендуются в пределах населенных пунктов, так как они способствуют повышению уровня шума от проезжающих автомобилей.

На асфальтобетонных и усовершенствованных облегченных покрытиях устраивают преимущественно одиночную поверхностную обработку, а при ремонте цементобетонных покрытий часто двойную. Для поверхностной обработки с применением вязких битумов используют холодный или теплый щебень, предварительно обработанный битумом. Холодный щебень, обработанный битумом, применяют в южных районах с более высокой температурой воздуха. Поверхностную обработку на средне- и быстрораспадающихся эмульсиях прямого типа устраивают на дорогах II—IV категорий.

Шероховатую поверхность из горячих и теплых асфальтобетонных смесей с повышенным содержанием щебня предусматривают на автомобильных дорогах I—III категорий. Возможность применения этих смесей зависит прежде всего от наличия прочных каменных материалов с высоким сопротивлением шлифующему воздействию автомобильных шин.

Втапливание щебня в укладываемый слой предусматривают в проектах дорог I—III категорий. На дорогах III и IV категорий с покрытиями из асфальтобетона или построенных методом смешения на дороге шероховатая поверхность может быть получена путем укладки верхнего слоя из холодного асфальтобетона с применением щебня и дробленого песка из труднополируемых горных пород, а также втапливанием щебня в малощебенистые или песчаные смеси.

Более простым и эффективным методом в этих случаях следует считать поверхностную обработку из битумных шламов. Для создания шероховатой поверхности на цементобетонных покрытиях следует отдавать предпочтение обработке их поверхности щетками или устройству верхнего слоя из специально подобранных смесей бетона. Второй метод можно применять и в случае отсутствия прочных каменных материалов с высоким сопротивлением шлифующему воздействию шин. Втапливание прочного щебня в поверхность свежееуложенного бетона позволяет существенно повысить шероховатость покрытия, но требует специальных машин и оборудования.

В СССР мало применяется нарезка бороздок в цементобетонных покрытиях, хотя за рубежом этот метод достаточно широко используется на автомобильных дорогах и взлетно-посадочных полосах аэродромов. Учитывая возможность замерзания воды в бороздках, представляется целесообразным рекомендовать его только в III зоне по условиям движения (или в V дорожно-климатической зоне) на дорогах всех категорий с цементобетонным покрытием. Поперечные бороздки рекомендуется нарезать через 20 мм одна от другой глубиной и шириной 6—7 мм. Во всех слу-

чаях устройства шероховатых поверхностей необходимо строго соблюдать требования к щебню, песку, битуму и другим компонентам [63, 65].

В Италии для повышения коэффициента сцепления на сложных участках (кривые в плане с небольшими радиусами, пересечения в одном уровне и въезды) на покрытиях создают шероховатую поверхность из мелкого щебня, полученного из обожженных бокситов. Щебень закрепляется на покрытии вяжущим, приготовленным на основе эпоксидных смол. Такие шероховатые поверхности обеспечивают коэффициент поперечного сцепления 0,78—0,86 при скорости 50 км/ч после года эксплуатации со снижением на 0,11—0,18 после 8 лет эксплуатации [65].

В Англии шероховатые слои из мелкого щебня обожженных бокситов и специального вяжущего были уложены на четырехполосной автомобильной магистрали с интенсивностью движения около 74 тыс. авт./сут. Эти шероховатые поверхности обеспечивают коэффициент продольного сцепления 0,5—0,6 (соответственно коэффициенты поперечного сцепления при блокированном колесе около 0,35—0,45), существенно превышающий коэффициент сцепления, достигаемый другими способами. Одновременно число дорожно-транспортных происшествий на мокрых покрытиях уменьшилось на 63%.

За рубежом для снижения опасности аквапланирования все большее распространение получают покрытия из высокопористого или открытого асфальтобетона с пористостью порядка 15—20%. Такое покрытие строят на слое плотного асфальтобетона с поперечным уклоном не менее 20‰. Оно создает высокий коэффициент сцепления колес с покрытием, так как поглощает выпадающие осадки. Вода постепенно дренирует к обочинам. При этом обеспечиваются высокая скорость автомобилей, хорошая видимость, поскольку исключается разбрызгивание воды, снижается транспортный шум. Недостаток таких покрытий: необходимость применения высококачественного битума и щебня, более сложная технология строительства, потребность в большем количестве соли при зимнем содержании и опасность замерзания воды в порах асфальтобетона. Поэтому дренирующий асфальтобетон может быть рекомендован для дорог I—III категорий в V дорожно-климатической зоне.

7.2. ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ДОПУСТИМОЙ ТОЛЩИНЕ СНЕГА НА ДОРОГЕ

Общие положения. Чтобы сохранять высокие транспортно-эксплуатационные качества дороги, необходимо в проекте разработать требования к ее содержанию и, в первую очередь, к зимнему содержанию, а также определить комплекс эксплуатационных мер, позволяющих достичь принятую обеспеченность расчетной скорости на всей дороге и на отдельных ее участках в неблагоприятные периоды года.

Еще более важной задачей является технико-экономическое обоснование предъявляемых требований и расчет потребности в основных машинах, материалах и оборудовании, необходимых службе эксплуатации для содержания дороги. Этот расчет полезно

согласовать с дорожно-эксплуатационной организацией, которой будет передана дорога. Только в этом случае можно считать проектные решения обоснованными. Может случиться так, что на содержание запроектированной дороги в заданных климатических условиях потребуется настолько много машин, оборудования и материалов, что соблюдение определенного в проекте уровня содержания станет экономически нецелесообразным.

Не исключен и случай, когда требуемые материально-технические ресурсы не могут быть обеспечены. В этом случае должны быть рассмотрены другие варианты: изменены параметры плана трассы, продольного и поперечного профилей, предусмотрены дополнительные сооружения, защищающие дорогу от воздействия дождя, снега, метелей, гололеда и других метеорологических факторов.

Проектирование геометрических параметров и транспортно-эксплуатационных характеристик дороги, разработка требований к состоянию дороги в неблагоприятные периоды года и к ее содержанию, определение материально-технических ресурсов для содержания дороги — все это одна технико-экономическая задача и наиболее полно она может быть решена в проекте дороги.

Приведенные в табл. 2.6 требования исходят из условия движения одиночного легкового автомобиля с той или иной обеспеченной скоростью, т. е. это технические требования, которые могут быть скорректированы технико-экономическими расчетами с учетом фактической интенсивности движения и затрат на содержание дороги в соответствии с реальными климатическими условиями. В каждом конкретном случае технико-экономическими расчетами могут быть обоснованы требования как к отдельным показателям содержания дороги, так в целом к уровню содержания, т. е. к комплексу параметров и характеристик состояния дороги в процессе эксплуатации.

Допустимая толщина снега на покрытии и затраты на снегоочистку. Допустимая толщина рыхлого снега, накапливающегося на дороге, $h_{доп}$ зависит от интенсивности снегопада и времени между проходами снегоочистительных машин при патрульной очистке, называемого временем снегонакопления $t_{сн}$:

$$t_{сн} = \rho h_{доп} / i_{сн}, \quad (7.1)$$

где ρ — плотность слоя снега на покрытии (0,1—0,4 г/см³, для рыхлого 0,07—0,25); $i_{сн}$ — интенсивность снегопада, мм/ч, измеряемая толщиной слоя воды, образуемого при таянии снега.

Число проходов (циклов) снегоочистительных машин за один снегопад длительностью $t_{сн}$ часов по одному следу:

$$n = t_{сн} i_{сн} / \rho h_{доп}. \quad (7.2)$$

Объем работ по патрульной снегоочистке за один снегопад (в м³)

$$Q = i_{сн} t_{сн} L B / \rho. \quad (7.3)$$

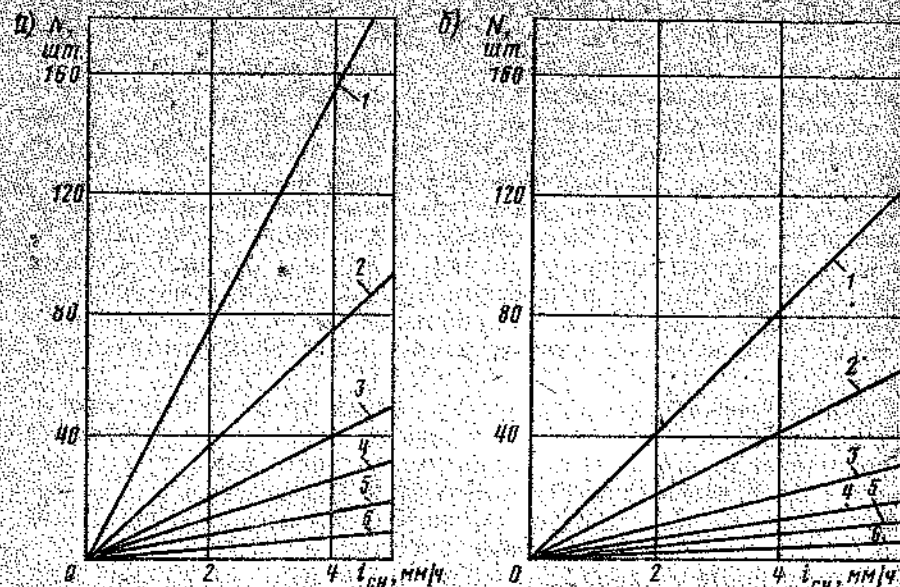


Рис. 7.5. Потребность в плужных снегоочистителях КДМ-130 на 100 км дороги в зависимости от интенсивности снегопада и допустимой толщины слоя снега: а — при $\rho=0,1$; б — при $\rho=0,18$; 1 — допустимая толщина слоя $h=5$ мм; 2 — то же, 10 мм; 3 — то же, 20 мм; 4 — то же, 30 мм; 5 — то же, 50 мм; 6 — то же, 100 мм

Число патрульных снегоочистительных машин зависит от принятых в проекте требований к толщине слоя рыхлого снега во время снегопада, интенсивности снегопада, параметров дороги и рабочей скорости снегоочистителя:

$$N = \frac{i_{сн}LB}{\rho h_{доп} v_{раб} K_{в} (b - 0,25)} \quad (7.4)$$

где $h_{доп}$ — допустимая толщина слоя снега на покрытии, мм; L — длина участка, км; B — ширина очищаемой поверхности, м; $v_{раб}$ — скорость снегоочистителя, км/ч; $K_{в}$ — коэффициент использования рабочего времени (может быть принят 0,7–0,9); b — ширина захвата снегоочистителя, м.

Как видно из расчетов по этой формуле (рис. 7.5), число плужных снегоочистителей при патрульной снегоочистке в наибольшей степени зависит от допустимой в процессе снегопада толщины слоя снега на покрытии, т. е. от принятых в проекте требований к этому показателю.

Указанное число снегоочистительных машин должно непрерывно работать с начала снегопада до его полного прекращения. Поэтому и затраты на патрульную снегоочистку в наибольшей степени зависят от допустимой толщины слоя рыхлого снега на покрытии и интенсивности снегопада (рис. 7.6).

При допустимой толщине слоя снега менее 20 мм затраты на снегоочистку стремительно растут и становятся сопоставимыми с потерями транспорта от снижения скорости во время снегопада.

Интенсивность нарастания толщины слоя снега между проходами снегоочистительных машин во время снегопада зависит от интенсивности снегопада и плотности снега, зависящей от его влажности

$$\Delta h = i_{сн} / \rho \quad (7.5)$$

Задержка, вызванная наличием снега или гололеда на покрытии, является дополнительным временем, необходимым для проезда по участку в данном состоянии. Суммарное время задержки (авт-ч/ч):

$$T_z = NL \left(\frac{1}{v_n} - \frac{1}{v_{ф}} \right) \quad (7.6)$$

где N — интенсивность движения, авт/ч; L — длина участка дороги, км; v_n — средняя скорость транспортного потока при нормальном состоянии поверхности дороги, км/ч; $v_{ф}$ — то же, при фактическом состоянии, км/ч.

На основании наблюдений за скоростями при различной интенсивности снегопада получена зависимость коэффициента снижения средних скоростей от интенсивности и продолжительности снегопада (рис. 7.7)

$$K_{сн} = \bar{v}_{ф} / \bar{v}_n \quad (7.7)$$

После каждого прохода снегоочистителя в условиях продолжающегося снегопада скорость повышается, но не превышает 70–80% скорости в нормальных условиях, поскольку уменьшается видимость, снижаются сцепные качества, ограничивается ширина проезда (рис. 7.8).

В проекте дороги целесообразно дать технико-экономическое обоснование допустимой толщины слоя снега на покрытии во время снегопада, учитывая влияние этого показателя на оснащенность техникой дорожно-эксплуатационных организаций. Критерием технико-экономического обоснования требований к уровню содержания может быть принят минимум приведенных затрат, которые в общем виде будут складываться из затрат, сумма которых сокращается с ужесточением требований к уровню содержания дороги; затрат, сумма которых увеличивается с ужесточением этих требований.

К первой группе относят затраты автомобильного транспорта (капитальные вложения и текущие затраты), которые сокращают-

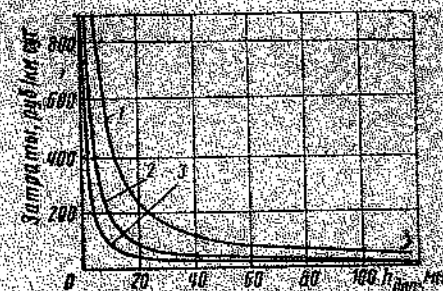


Рис. 7.6. Зависимость затрат на патрульную снегоочистку от допустимой толщины слоя рыхлого снега на дороге:

1 — интенсивность снегопада 5 мм/ч; 2 — то же, 2 км/ч; 3 — то же, 1 км/ч

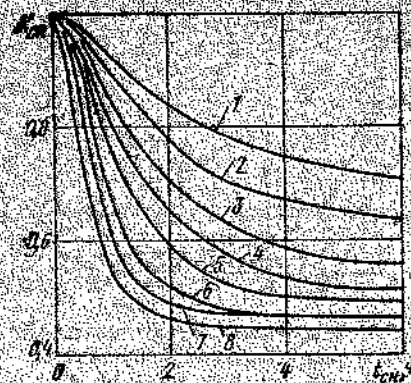


Рис. 7.7. Снижение скоростей движения во время снегопада. Интенсивность нарастания слоя снега, мм/ч: 1 — 2,5; 2 — 6; 3 — 12; 4 — 18; 5 — 25; 6 — 36; 7 — 50; 8 — 60.



Рис. 7.8. Изменение скорости при регулярной патрульной очистке в снегопад при интенсивности нарастания слоя снега 50 мм/ч и интервале между проходами снегоочистителей 2 ч. T — период между проходами снегоочистительных машин, ч. 1 — максимальная средняя скорость во время снегопада; 2 — конец снегопада.

ся при увеличении средней скорости за счет более высокого уровня содержания дорог и от дорожно-транспортных происшествий, ко второй — затраты на содержание дороги, которые возрастают с ужесточением требований и в зависимости от длительности неблагоприятных периодов года, интенсивности и повторяемости неблагоприятных метеорологических факторов.

Приведенные затраты в этом случае

$$П = K_a E + C_a + C_{дор}, \quad (7.8)$$

где K_a — капитальные вложения в автомобильный транспорт, тыс. руб.; C_a — текущие затраты автомобильного транспорта, тыс. руб.; $C_{дор}$ — затраты на снегоочистку дорог, тыс. руб.

Расчеты выполняют для нескольких вариантов толщины допустимого слоя снега. Исходя из этого определяют значения $K_{р.с.}$, C_a , K_a и $C_{дор}$.

Анализ расчетов для снегопадов разной интенсивности (рис. 7.9) показывает, что на дорогах II категории даже при сильном снегопаде нецелесообразно допускать накопления рыхлого снега толще 10–15 мм, в то время как на дорогах IV категории в этих условиях толщина слоя может быть допущена до 50–60 мм и более.

Высказываемые иногда рекомендации о незамедлительной полной очистке дороги от выпавшего снега нереальны, поскольку не подкреплены материально-техническими ресурсами.

Изложенный подход относится к обоснованию требований о допустимой толщине снега на покрытии для одного снегопада или одной метели. Он не учитывает числа снегопадов за зиму и влияния других метеорологических факторов на состояние дороги в неблагоприятные периоды года.

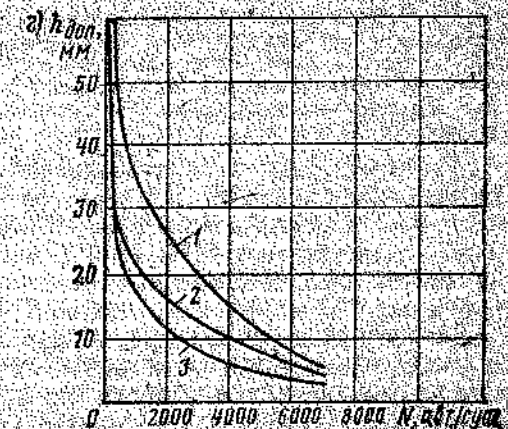
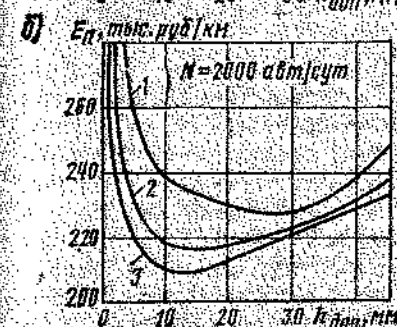
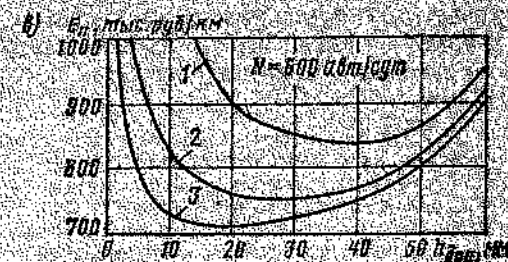
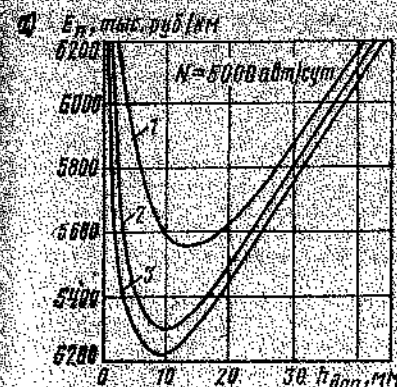


Рис. 7.9. Определение допустимой при патрульной снегоочистке толщины слоя рыхлого снега на дороге:

а, б, в — суммарные приведенные затраты при интенсивности движения 5000, 2000 и 500 авт./сут.; г — зависимость экономической допустимой толщины слоя рыхлого снега при патрульной снегоочистке от интенсивности движения;

1 — при интенсивности снегопада 5 мм/ч; 2 — то же, 2 мм/ч; 3 — то же, 1 мм/ч.

Требования к допустимой толщине снега на покрытии и их реализация. Опыт показывает, что полное удаление снега можно обеспечить только на цементобетонных и асфальтобетонных покрытиях. С щебеночных и гравийных покрытий полностью удалить снег без ущерба для покрытия нельзя. При помощи плужных снегоочистителей, автогрейдеров и бульдозеров в течение одной зимы с покрытия удаляется 15–25% гравийного материала.

В районах, где снега выпадает очень много, полную очистку дорог обеспечить трудно. С другой стороны, если на грунтовых, гравийных и щебеночных покрытиях правильно уплотнить небольшой ровный слой снега, то можно получить ровную поверхность, допускающую движение со скоростью до 50–70 км/ч.

В ряде союзных республик действуют директивные сроки удаления снежных отложений и гололеда. Так в «Указаниях по защите автомобильных дорог от снега» (ВСН 4-69, Минавтодор РСФСР) сроки уборки снега с покрытия составляют 2–8 ч. В Эстонской ССР дорожные организации обязаны зимой обеспе-

чивать бесперебойное движение и нормальную проезжаемость на главных дорогах через 4 ч, а на других дорогах, подлежащих зимнему содержанию, по истечении не более 48 ч после прекращения метели.

В ГДР все работы по обеспечению проезда по дорогам в зимний период делятся на три степени срочности: А, Б и В [18]. К дорогам со степенью срочности А отнесены автомобильные магистрали и дороги с интенсивностью движения 2000 и более автомобилей за 16 ч. На этих дорогах полная проезжаемость и безопасность движения должны быть обеспечены не позже чем через 2 ч с момента возникновения препятствий, затрудняющих проезд (например, образование гололеда или снежных заносов).

Со степенью срочности работ Б определены дороги с интенсивностью движения более 1000 автомобилей за 16 ч. Проезжаемость и безопасность движения на них должны быть восстановлены через 3 ч с момента возникновения препятствий, связанных с погодой. На остальных дорогах, отнесенных к группе В, работы по восстановлению движения начинают после их завершения на дорогах групп А и Б.

По опыту ГДР для оперативного выполнения работ по зимнему содержанию дорог в Казахской ССР также предложены три степени очередности: А, Б и В. Их ориентировочные сроки составляют соответственно 2, 6, 12 ч с момента прекращения неблагоприятного погодного явления (снегопада, метели, бурана), в течение которого на участках должно быть обеспечено безопасное движение¹. В первую очередь выполняются работы на дорогах степени срочности А, к которым отнесены подъезды к городам, аэропортам, вокзалам. Дороги, по которым осуществляются перевозки, обеспечивающие снабжение населения продовольствием, и автобусные маршруты также относят к степени срочности А. К группе Б отнесены участки дорог не ниже III категории. Все остальные участки отнесены к группе В.

В Финляндии на дорогах с высокой интенсивностью движения при снегопаде допускается неукатанный слой толщиной до 3 см в течение 2—3 ч, а на дорогах с невысокой интенсивностью неукатанный слой снега до 7 см в течение 6—7 ч. Примерно 9,5 тыс. км важнейших дорог должны быть чистыми в течение всей зимы².

В провинции Онтарио (Канада) принято четыре уровня зимнего содержания дорог, которые определены стандартом качества М-700-1. Уровень «чистое покрытие» 1-го класса обеспечивают на всех дорогах с твердым покрытием при интенсивности движения более 1500 авт./сут в южных и более 1200 авт./сут в северных районах провинции. При этом уровне в любое время на проезжей части слой снега не должен превышать 25 мм. Допускают применение соли и песка для борьбы со скользкостью [64].

Уровень «чистое покрытие» 2-го класса обеспечивают на дорогах с интенсивностью движения 500—1500 авт./сут в южных и 400—1200 авт./сут в северных районах провинции. Допустимый слой снега на покрытии в любое время не более 38 мм. Для борьбы со скользкостью возможно применение соли и песка.

Уровень «чистая середина проезжей части» обеспечивают на дорогах с интенсивностью движения 250—500 авт./сут в южных и 200—400 авт./сут в северных районах провинции. Этот уровень обслуживания предусматривает очистку средней части дорог на ширину 1,8—2,4 м до конца метели с последующей

очисткой всей проезжей части. Допустимая толщина снега на покрытии не должна превышать 50 мм. Для борьбы со скользкостью применяют соль и песок.

Уровень «уплотненный снег на покрытии» обеспечивают на дорогах с интенсивностью движения менее 250 авт./сут в южных и 200 авт./сут в северных районах провинции. Допустимая толщина снега на покрытии не должна превышать 65 мм.

В провинции Квебек (Канада) предусматриваются 3 уровня зимнего содержания дорог [66].

Первый уровень — на дорогах со среднесуточной интенсивностью движения более 2500 авт./сут. Допустимая толщина снега 20 мм, очистка осуществляется по всей ширине дороги. Покрытие обрабатывают солью и фрикционными материалами.

Второй уровень — на дорогах с интенсивностью движения 500—2500 авт./сут. Допустимая толщина снега 40 мм, покрытие очищается частично, а по всей ширине обрабатывается солью и фрикционными материалами.

Третий уровень — на дорогах с интенсивностью движения менее 500 авт./сут. Допустимая толщина снега на покрытии до 70 мм. Разрешено движение по укатанному снегу. Для повышения сцепления колеса с заснеженной поверхностью дороги применяются фрикционные материалы.

Главным критерием оценки качества проекта в части учета зимнего содержания должно быть полное исключение отложений метелевого снега на дорогах, чтобы оставалось только удалить снег, выпадающий при снегопадах, а не приносимый метелями.

При проектировании дороги нужно ориентироваться на лучшую организационную работу службы эксплуатации. Однако никакая организационная работа существенно не сократит влияние метели, если в проекте не предусмотрена снегозащита, а дорожная служба не располагает снегоочистительными машинами. Существующие средства механизации и технология зимнего содержания не позволяют полностью защитить дорогу от попадания снега на покрытие в процессе снегопада.

Поэтому за высший уровень зимнего содержания можно принять обеспечение чистой сухой поверхности дороги, при котором толщина слоя снега на покрытии во время метелей и снегопадов не превышает 5 мм, а срок его удаления так же, как удаления гололеда и зимней скользкости, не превышает 1 ч после окончания снегопада, метели или гололеда.

Этот уровень может быть достигнут при полной оснащенности дорожной службы до нормативной потребности машинами, оборудованием и материально-техническими ресурсами на участках, запроектированных с соблюдением всех требований по защите от снежных заносов. Не всегда экономически целесообразно добиваться такого уровня содержания дороги. Поэтому необходимы специальные исследования, чтобы разработать региональные требования к зимнему содержанию дороги.

7.3. ОБОСНОВАНИЕ СРОКОВ ЛИКВИДАЦИИ ЗИМНЕЙ СКОЛЬЗКОСТИ И ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗИМНЕМУ СОДЕРЖАНИЮ

Методика расчета. Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что в периоды действия неблагоприятных метеорологических факторов и сразу же после прекращения некоторых из

¹ Фелюш В. Т. Стандарты зимнего содержания автомобильных дорог в Казахской ССР. — Автомобильные дороги, № 1, 1983, с. 14—15.

² Харкянен К. Зимнее содержание автомобильных дорог Финляндии. — Автомобильные дороги, № 10, 1981, с. 26—28.

них нельзя обеспечить расчетного состояния дороги, принятого в строительных нормах и правилах. Всегда необходим какой-то отрезок времени для устранения последствий неблагоприятного воздействия метеорологических факторов.

Исходя из этого задача разработки требований к зимнему содержанию может быть в упрощенном виде сведена к установлению экономически обоснованных сроков ликвидации снежных отложений и зимней скользкости, которые вместе с допустимой толщиной снега на покрытии характеризуют уровень содержания дороги зимой.

Указанные сроки должны быть дифференцированными для дорог с разной интенсивностью движения и разных регионов в зависимости от длительности зимнего периода, числа дней со снегопадами, метелями и гололедами.

Расчет сроков ликвидации зимней скользкости проводится методом сравнительной эффективности, поэтому часть показателей, общую для всех вариантов, можно не включать в расчет. В качестве переменных показателей, меняющихся по регионам и климатическим зонам, выбрано число циклов образования гололеда и снегопадов, от которого зависит продолжительность обледенелого и заснеженного покрытия. Расчеты выполнены для 100 км дороги по ликвидации снежных отложений и гололеда в течение 1—20 ч.* Для этих вариантов определены потребность в машинах и материалах, потери от снижения скорости и повышения аварийности и приведенные затраты.

Срок отдаленности затрат t принимается равным одному году, так как все статьи расходов осуществляются в течение каждого зимнего периода и их можно принять одинаковыми для всех последующих зим.

$$\text{Дорожные затраты} \quad D = \frac{m}{100} N \frac{L}{v} S_d \quad (7.9)$$

где m — число дней зимы, принимаемое в расчет; 100 — коэффициент для перевода копеек в рубли; N — интенсивность движения, авт./сут; L — длина участка, км; S_d — дорожная составляющая себестоимости перевозок, коп./авт.ч; v — средняя скорость транспортного потока за зимний период при принятом сроке ликвидации гололеда и снежных отложений, км/ч.

Средняя скорость за зимний период определяют через $K_{в.с.}$ по формулам (2.15 и 2.16) или по упрощенной формуле с учетом продолжительности разных состояний проезжей части, соответствующих принятому варианту ликвидации скользкости и снежных отложений:

$$\bar{v} = v_{сух} p_{сух} + v_{мок} p_{мок} + v_{сн} p_{сн} + v_{гол} p_{гол} \quad (7.10)$$

где $v_{сух}$, $v_{мок}$, $v_{сн}$, $v_{гол}$ — скорость соответственно на сухом, мокром, заснеженном и обледенелом покрытиях, км/ч; $p_{сух}$, $p_{мок}$, $p_{сн}$, $p_{гол}$ — длительность соответствующих состояний покрытий за зимний период, доли единицы.

* Исследования выполнены канд. техн. наук В. П. Расняковым и инж. Л. В. Антоенко под руководством автора.

Дорожная составляющая себестоимости перевозок

$$S_d = \sum v_i [P_i^{гр} \beta_i + P_i^{авт} (1 - \beta_i)] m_i \quad (7.11)$$

где v_i — расчетное значение средней технической скорости каждой модели автомобилей, км/ч; $P_i^{гр}$, $P_i^{авт}$ — расходные ставки по дорожно-эксплуатационным затратам соответственно для грузовых и легковых автомобилей, коп.; β_i — число грузовых автомобилей, доли единицы; m_i — удельный вес каждой модели автомобилей в составе транспортного потока, доли единицы.

Транспортные затраты

$$T = \frac{n}{100} N \frac{L}{v} S_{t,i} \quad (7.12)$$

где $S_{t,i}$ — транспортная составляющая себестоимости перевозки для каждой модели автомобилей;

Транспортная составляющая себестоимости перевозок

$$S_t = \sum S_{t,i} m_i \quad (7.13)$$

где $S_{t,i}$ — транспортная составляющая себестоимости перевозки для каждой модели автомобилей; m_i — число автомобилей каждой модели.

Затраты на зимнее содержание. Они включают определение потребности в машинах для снегоочистки и борьбы с гололедом и их стоимости. Число снегоочистителей для патрульной снегоочистки во время снегопада определяют по формуле (7.4). После окончания снегопада необходим еще проход комплекта машин для окончания уборки, для чего потребуется

$$N_s = \frac{LB}{v_{раб} K_{в.с.} (b - 0,25)} \quad (7.14)$$

Число машино-часов работы снегоочистителей, необходимое для очистки рыхлого снега для каждого снегопада,

$$T_s = (N t_{сн} + N_s L / v_{раб}) \quad (7.15)$$

Общая потребность работы плужных снегоочистителей за зиму в машино-часах

$$T_p = (N t_{сн} + N_s L / v_{раб}) P_{сн} \quad (7.16)$$

где $P_{сн}$ — число дней со снегопадами.

Стоимость работы плужных снегоочистителей

$$C_s = T_p C \quad (7.17)$$

где C — стоимость машино-часа работы снегоочистителя.

Для уборки снежных валов с обочин применяют шнекороторные или фрезернороторные снегоочистители в комплекте с автогрейдером. Количество машино-часов работы этого комплекта в течение зимы

$$N_{г+с} = \sum_{i=1}^{P_{сн}} l_{сн} l_{сн} BL / \Pi K_{в.с.} \quad (7.18)$$

где Π — производительность шнекороторных или фрезернороторных снегоочистителей на уборке валов, т/ч.

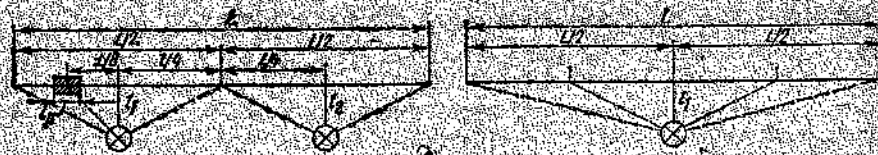


Рис. 7.10. Влияние размещения баз противогололедных материалов на дальность возки

Стоимость уборки валов

$$C_{y.a} = N_{p+a} C_{p+a}, \quad (7.19)$$

где C_{p+a} — стоимость машино-часов работы комплекта машин, состоящего из снегоочистителя — валоразбрасывателя и автогрейдера, руб.

Общие затраты на снегоочистку

$$K_{сн} = C_n + C_{p+a}, \quad (7.20)$$

Затраты на ликвидацию гололеда путем рассыпки хлоридов или пескосоляной смеси рассчитывают на 100 км дороги исходя из принятого директивного срока ликвидации гололеда $t_{дир}$. Расчет можно вести в такой последовательности.

Определяют протяженность участка, обрабатываемого за один рейс распределителя,

$$l_{pab} = Q/bq, \quad (7.21)$$

где Q — масса хлоридов или пескосоляной смеси, загруженная в кузов распределителя, кг; b — ширина полосы обработки, м; q — норма распределения хлоридов или пескосоляной смеси, г/м².

Определяют число рейсов распределителей для обработки всего участка

$$n = BL/b l_{pab}, \quad (7.22)$$

Определяют среднюю продолжительность рейса (рабочего цикла) распределителя исходя из принятой в проекте схемы размещения баз хранения противогололедных материалов (рис. 7.10)

$$t_k = t_{заг} + l_{rp}/v_{rp} + t_{pab} + l_x/v_x, \quad (7.23)$$

где $t_{заг}$ — продолжительность загрузки и маневрирования распределителя на базе, ч (можно принять 0,05–0,10 ч); l_{rp} , l_x — среднее расстояние от базы до места распределения материала, км; v_{rp} , v_x — скорость груженого и порожнего солераспределителя, км/ч; t_{pab} — продолжительность распределения хлоридов или пескосоляной смеси, ч.

Большое влияние на потребность в распределителях оказывает число баз противогололедных материалов и их расположение относительно дороги, поскольку средняя дальность возки складывается из длины подъезда от дороги до базы и расстояния от места примыкания подъезда до середины обрабатываемого участка l ,

$$l_{rp} = l_x = l_1 + l_n, \quad (7.24)$$

Поэтому сокращение расстояния между базами позволяет существенно сократить потребность в распределителях противогололедных материалов.

Продолжительность распределения материалов

$$t_{pab} = l_{pab}/v_{pab}, \quad (7.25)$$

где v_{pab} — рабочая скорость распределителя при рассыпке хлоридов или пескосоляной смеси, км/ч (10–20 км/ч).

Определяют число машино-часов работы распределителей по ликвидации гололеда на участке протяженностью L км

$$T_{p4} = nt_k/K_n, \quad (7.26)$$

Число распределителей для ликвидации гололеда в течение директивного срока

$$N_p = T_{p4}/t_{дир}, \quad (7.27)$$

Общая стоимость затрат на распределение противогололедных материалов (без учета самих материалов, стоимость которых по всем вариантам можно принять постоянной) за одну зиму

$$C = N_p t_{дир} F_{год} C_p, \quad (7.28)$$

где C_p — стоимость машино-часов работы распределителя, руб.

Затраты на удаление размягченного льда и снежного наката. После обработки хлоридами или пескосоляной смесью размягченный лед и снег удаляют плужным снегоочистителем со щеткой КДМ-150 проездом двух машин в прямом и обратном направлениях (для дороги шириной проезжей части 7–9 м).

Число машино-часов работы этих снегоочистителей

$$T_{p.л} = 2Ln/v_{p.л}K_n, \quad (7.29)$$

где n — число снегоочистителей, движущихся в одном направлении.

Число снегоочистителей для уборки размягченного льда и снежного наката

$$N_{с.л} = T_{p.л}/t_{дир.л}, \quad (7.30)$$

где $t_{дир.л}$ — директивный срок очистки дороги от размягченного льда и снега, ч.

Следует иметь в виду, что при расчете потребности машин для борьбы с гололедом срок очистки дороги от размягченного льда и снега необходимо вычитать из общего директивного срока ликвидации зимней скользкости. Стоимость работы снегоочистителей на уборке размягченного льда $C_{с.л}$ можно определить по формуле, аналогичной (7.4). Таким образом, затраты на ликвидацию зимней скользкости

$$K_c = C_p + C_{с.л}, \quad (7.31)$$

Общие затраты на зимнее содержание

$$K = K_{с.л} + K_c, \quad (7.32)$$

Необходимо отметить, что изложены только основные положения по определению затрат на зимнее содержание. При разработке проекта могут быть рассмотрены другие технологические схемы зимнего содержания, другие средства механизации и материалы для борьбы с гололедом. Поэтому и затраты на зимнее содержание могут колебаться в широких пределах, что позволяет проектировщику широко варьировать различными инженерными решениями.

В методике принято, что дорога полностью защищена от заносов снегом при метелях. В проекте могут быть случаи, когда не представляется возможным выполнять это первое требование. Следовательно, в расчете затрат и машин для зимнего содержания необходимо учесть и борьбу со снежными заносами во время метелей, затраты на строительство баз противогололедных материалов при различных схемах их расположения. Это позволит полнее учесть затраты на зимнее содержание при обосновании сроков ликвидации гололеда и снежных отложений.

Для выполнения расчетов по обоснованию экономически эффективных сроков ликвидации гололеда и снежных отложений по изложенной методике в Гипродорнии разработана программа на ЭВМ. С использованием этой программы канд. техн. наук В. П. Расников и инж. Л. В. Антоненко исследовали влияние длительности зимнего периода, итогового коэффициента аварийности, числа циклов образования гололеда и выпадения снега, интенсивности движения на экономически эффективные сроки ликвидации гололеда и снежных отложений (исключая снежные отложения при метелях).

Сроки ликвидации зимней скользкости. Анализ показывает, что длительность зимнего периода незначительно влияет на срок ликвидации зимней скользкости и снежных отложений, т. е. независимо от района проложения трассы гололед и снежный накат должны убираться практически в одинаковые сроки. Значительно сильнее влияет число снегопадов и гололедов. С ростом числа снегопадов эффективные сроки ликвидации снежных отложений

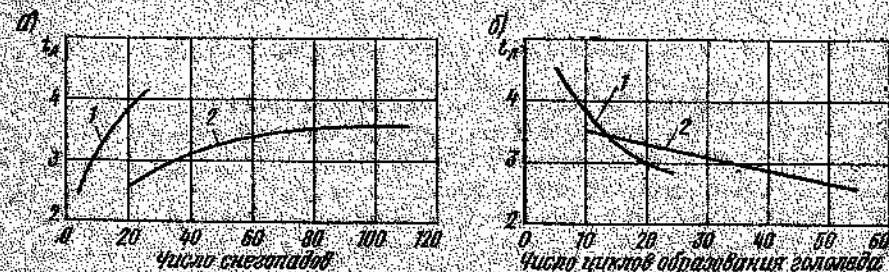


Рис. 7.11. Зависимость сроков ликвидации зимней скользкости от повторяемости: а — снегопада; б — гололеда; 1 — интенсивность движения 200 авт./сут, длительность зимнего периода 30 дней; 2 — интенсивность движения 500 авт./сут, длительность зимнего периода 160 дней



Рис. 7.12. Зависимость сроков ликвидации зимней скользкости от итогового коэффициента аварийности: 1 — интенсивность движения 200 авт./сут, длительность зимнего периода 220 дней; 2 — интенсивность движения 500 авт./сут, длительность зимнего периода 30–160 дней

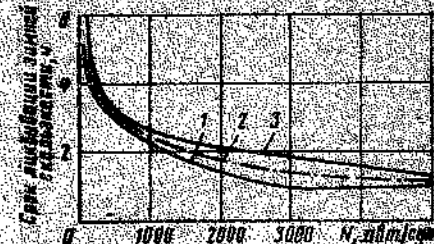


Рис. 7.13. Зависимость экономически эффективных сроков ликвидации зимней скользкости от интенсивности движения (данные В. П. Расникова): 1 — при продолжительности зимы 30 дней; 2 — то же, 240 дней; 3 — среднее значение

$t_л$ увеличиваются, а с ростом числа гололедов — уменьшаются (рис. 7.11).

Такая разница может быть объяснена тем, что, во-первых, удаление снежных отложений ведется непрерывно в процессе снегопада и завершается после его окончания, а борьба с гололедом начинается и заканчивается практически после его образования, во-вторых, тем, что гололед влияет на скорость и аварийность значительно больше, чем снегопад.

Интересно отметить, что с позиций безопасности движения экономически целесообразно выдерживать одинаковые сроки ликвидации зимней скользкости на всем протяжении дороги вне зависимости от размера итогового коэффициента безопасности (рис. 7.12). Это говорит о том, что зимняя скользкость значительно больше влияет на аварийность, чем геометрические параметры дороги.

Наибольшее влияние на экономически эффективные сроки ликвидации зимней скользкости и снежных отложений оказывает интенсивность движения (рис. 7.13), которая и должна быть положена в основу градации требований к директивным срокам ликвидации этих явлений, т. е. сроки должны быть дифференцированы именно по интенсивности движения.

Недостаток указанных расчетов заключается в том, что они не учитывают затрат на сооружение баз противогололедных материалов, затрат на их обслуживание, стоимости самих материалов и их приготвления. Необходимо также учитывать снижение производительности снегоочистительных машин при движении на кривых малого радиуса и на крутых подъемах. Детальный учет всех этих особенностей возможен только при проектировании.

Поэтому автором выполнены расчеты с учетом возможных пределов изменения указанных затрат, что позволило обосновать границы экономически эффективных сроков ликвидации зимней скользкости (гололеда и снежных отложений без учета метелевых отложений) в зависимости от интенсивности движения. Установле-

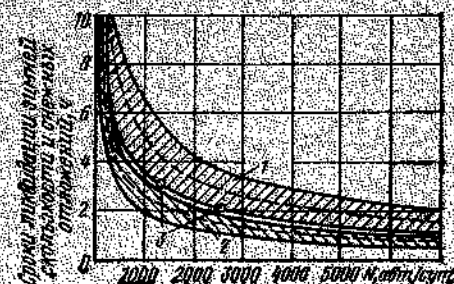


Рис. 7.14. Зависимость сроков ликвидации зимней скользкости от методов борьбы и интенсивности движения: 1 — применение пескосоляных смесей; 2 — то же, твердых хлоридов; 3 — нормы ГДР

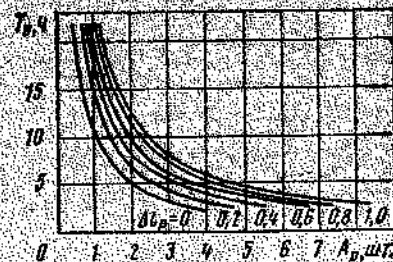


Рис. 7.15. График для определения числа роторных снегоочистителей марки Т-116

но, что эти сроки зависят от применяемой технологии, а использование твердых и жидких хлоридов значительно эффективнее, чем пескосоляных смесей (рис. 7.14).

Анализ исследований с учетом этих положений позволяет рекомендовать ориентировочные сроки удаления снежных отложений и гололеда (кроме метелевых отложений) в зависимости от интенсивности движения (табл. 7.5).

При этом следует иметь в виду, что нормативным сроком ликвидации гололеда считается время с момента его обнаружения и до удаления, а снежных отложений — время с момента окончания снегопада до полного удаления снега с проезжей части.

Расчет числа машин для зимнего содержания. Установив требования к срокам ликвидации снежных отложений и гололеда, необходимо рассчитать число основных машин для зимнего содержания (табл. 7.6).

Число машин для удаления рыхлого снега зависит от допустимой его толщины на покрытии для принятого коэффициента обеспечения расчетной скорости. Однако требования к его толщине увязаны с расчетной скоростью для каждой категории дороги и

Таблица 7.5

Интенсивность движения, авт./сут.	Сроки ликвидации, ч. с использованием				
	хлоридов в чистом виде		пескосоляных смесей		
	от	до	в среднем	от	до
>7000	0,6—1,0		1,0	1—2,0	1,5
5000—7000	0,6—1,2		1,0	1—2,5	2,0
3000—5000	0,7—1,7		1,5	1,5—3,5	2,5
1000—3000	1,0—3,1		2,0	1,8—6,5	4,0
500—1000	2,0—4,3		3,0	3,5—8,5	6,0
200—500	2,8—7,5		6,0	5,0—2,0	12,0
<200	4,0—16,0		10,0	7,0—20	16,0

Таблица 7.6

Средний срок ликвидации гололеда и снежного наката, ч	Число основных машин на 100 км дороги, шт.		Средний срок ликвидации гололеда и снежного наката, ч	Число основных машин на 100 км дороги, шт.	
	распределителей пескосоляной смеси типа ПС-130	плужных снегоочистителей для удаления рыхлого льда и снега		распределителей пескосоляной смеси типа ПС-130	плужных снегоочистителей для удаления рыхлого льда и снега
1	15—20	20—25	6	2—3	3—4
2	8—10	10—12	10	1,5—2	2—2,5
3	5—6	6—8	12	1,2—1,7	1,7—2,0
4	4—5	5—6	16	0,9—1,2	1,2—1,6

расчетной интенсивностью движения. Поэтому представляется возможным определить число машин для патрульной снегоочистки, увязав требуемые сроки очистки с расчетной интенсивностью движения (табл. 7.7).

Потребность в снегоочистительных машинах, выполняющих объемные работы,

$$N_0 = W_{\text{сб}} / P_{\text{сн}} t_{\text{дир}} \quad (7.33)$$

где $W_{\text{сб}}$ — объем снега, подлежащего уборке за один цикл снегоочистки (за одну метель), м³; $P_{\text{сн}}$ — эксплуатационная производительность одной машины, м³/ч; $t_{\text{дир}}$ — директивный срок очистки дороги от заносов (или срок уборки снежных валов), ч.

Для эксплуатируемых дорог объем снегоуборки определяют по результатам непосредственных измерений дорожно-эксплуатационной службой. Для вновь проектируемой дороги ориентировочные объемы убираемого после метели снега можно получить расчетным путем, определив предварительно объем приносимого к дороге сне-

Таблица 7.7

Категория дороги	Интенсивность движения, авт./сут.	Максимальная допустимая толщина слоя рыхлого снега на покрытии, мм на участках с уклонами, %			Рекомендуемые сроки ликвидации снежных отложений, ч	Потребность в плужных снегоочистителях на 100 км дороги на участках с уклонами, %		
		до 30	30—60	>60		до 30	30—60	>60
II	>7000	20	15	10	1,5	15—20	22—27	30—35
	5000—7000	25	20	15	2,0	12—17	16—20	22—27
	3000—5000	35	25	20	2,5	10—12	12—17	16—20
III	1000—3000	40	30	25	4	8—10	10—14	12—17
	500—1000	50	40	30	6	5—7	6—8	8—10
IV	200—500	70	60	35	12	3—4	4—6	6—8

Примечание. Потребность рассчитана для сильных снегопадов интенсивностью 4—4 мм/ч и $\rho=0,15 \pm 0,18$.

га с левой и правой сторон, с учетом влияния прилегающих форм рельефа, растительности, застройки и т. д.

Объем снежных отложений, который необходимо убрать с участка,

$$W_{yc} = W - W_{отл} \quad (7.34)$$

где W — объем снегопереноса, достигающего дороги, $м^3/м$ дороги; $W_{отл}$ — объем снега, откладывающегося на прилегающей к дороге местности и приходящегося на 1 м дороги, $м^3/м$.

Приблизленно объем уборки снега

$$W_{yc} = W/L, \quad (7.35)$$

где L — коэффициент задержания снега дорогой (принимается равным для выемок 0,9, в нулевых местах, малых насыпях и на участках с ограждениями, бордюрами, возвышающейся разделительной полосой 0,4); L — протяжение участка, для которого определяется объем снегоуборки, м.

С некоторым запасом объем снегоуборки от метелей можно подсчитать исходя из предельно возможных снежных отложений, высота которых может быть принята равной 1,0—1,2 м для нулевых мест и малых насыпей; 0,9 глубины выемок по ее оси и 0,9 высоты ограждений.

Число роторных снегоочистителей¹

$$A_p = \frac{nL}{K_p} (\Delta L_p/v_p + \Delta L_v/v_v) \frac{1}{T_p}, \quad (7.36)$$

где n — число проходов снегоочистителя по обочинам (обычно два прохода); L — длина дороги, км; K_p — коэффициент использования рабочего времени (принимает 0,8); ΔL_p — доля участков, на которых необходимо удалить снежные валы с обочин; ΔL_v — доля участков, не нуждающихся в уборке снежных валов; v_p и v_v — рабочая и транспортная скорость роторного снегоочистителя, км/ч; T_p — интенсивность удаления валов (не более времени трехкратного прохода плужных снегоочистителей).

Результаты расчета по этой формуле приведены на рис. 7.15. При окончательном решении вопроса о потребности в машинах необходимо учесть, что некоторые из них могут быть использованы на ряде технологических операций. Так, плужно-щеточный снегоочиститель используется для удаления рыхлого снега при патрульной снегоочистке, размягченного льда и укатанного снега.

При проектировании дороги необходимо учитывать, что во многих случаях дорожные организации не располагают расчетным количеством плужно-щеточных и роторных снегоочистителей, распределителей соли (пескосоляной смеси). В этом случае могут быть рассмотрены варианты зимнего содержания с привлечением специализированных машин других организаций (автогрейдеров, бульдозеров, навесного очистительного оборудования, снегопахов и др.) и внесены коррективы в требования к зимнему содержанию, в расчет потребности машин и материалов для зимнего со-

¹ Иванов В. Д. Экспресс — расчет патрульной снегоочистки. — Автомобильные дороги, № 11, 1983, с. 23—24.

Группа по уровню зимнего содержания	Народно-хозяйственное и административное значение дорог	Интенсивность движения, авт/сут	Минимальная ширина полосы очищаемой поверхности дороги, м	Допустимая толщина слоя снега на проезжей части, см	Допустимая толщина уплотненного снега на обочинах, мм	Допустимая толщина уплотненного снега на обочинах, мм	Максимальная толщина слоя снега в пределах полосы движения, мм
A	Общегосударственного и республиканского значения	> 7000	На всю ширину	10	—	—	1,0
		3000—7000	7,5	20	—	50	2,0
		1000—3000	7,0	25	—	60	3,0
		500—1000	6,0	30	—	70	4,0
		200—500	6,0	35	—	80	6,0
B	Областного, краевого и местного значения с регулярным автомобильным движением в зимний период	> 7000	7,5	20	—	—	1,0
		3000—7000	7,0	30	—	60	2,0
		1000—3000	6,0	40	—	70	4,0
		500—1000	5,0	60	—	80	6,0
		До 500	3,0	70	50*	100	8,0
B	Местного значения непрерывного действия без автомобильного движения	200—500	—	70	70	120	12
		До 200	—	80	100	150	16
	Местного значения с допустимым кратковременным перерывом движения	Движение не регулярное	—	—	100—150	180—200	48

* Допускается на гравийных и щебеночных покрытиях и, как исключение, на дорогах с другими покрытиями при интенсивности движения до 500 авт/сут.
Примечание. Группа A — дороги с чистой проезжей частью на всю ширину покрытия; B — дороги с чистой серединой; B — дороги с уплотненным снегом на проезжей части. Участки дорог общегосударственного и республиканского значения с гравийными и щебеночными покрытиями относят к группе B.

держания, а в некоторых случаях, в выбор геометрических параметров и в организацию движения.

Сводные требования к уровню зимнего содержания. Обобщение расчетов и обоснований позволяет предложить рекомендации к уровню зимнего содержания (табл. 7.8), которые дифференцированы по интенсивности движения, увязанной с категориями дорог, их народнохозяйственного и административного значения.

Основными показателями уровня зимнего содержания являются: ширина чистой от снега и льда поверхности дороги; толщина слоя рыхлого снега на поверхности дороги, накапливающегося с начала снегопада или метели до снегоочистки и в перерывах между проходами снегоочистительных машин; толщина уплотненного снега (снежного наката) на проезжей части и обочинах, сроки

очистки дороги от снега и ликвидации гололеда и зимней скользкости.

Как правило, очистка дорог от выпадающего или приносимого снега производится на полную ширину земляного полотна, а ликвидация зимней скользкости — на ширину проезжей части и краевых укрепленных полос. В тех случаях, когда на дорогах с покрытиями переходного типа и на грунтовых дорогах оставляется ограниченный слой снега, его регулярно профилируют на всей ширине земляного полотна, чтобы предотвратить образование неровностей.

Директивные требования к уровню зимнего содержания могут уточняться на основе технико-экономических расчетов с учетом народнохозяйственного и административного значения дороги, интенсивности и состава движения, погоднo-климатических характеристик района, оснащенности дорожно-эксплуатационной службы машинами и оборудованием. Однако увеличивать их против рекомендуемых в табл. 7.8 экономически нецелесообразно.

7.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Организация движения по заснеженному покрытию. Определив геометрические параметры и транспортно-эксплуатационные характеристики, запроектировав инженерные мероприятия для защиты дороги от снежных заносов и рассчитав число машин и материалов для содержания, в проекте дороги целесообразно сформулировать требования к организации движения и разработать основные рекомендации по содержанию дороги в сложных условиях погоды.

При этом нередко возникает необходимость предусмотреть вариант организации движения по заснеженному покрытию. Это объясняется тем, что удовлетворение расчетной потребности в машинах для зимнего содержания не всегда возможно. При неполном удовлетворении расчетной потребности в снегоочистительных машинах в проекте должны быть обоснованы требуемые сроки ликвидации снежных отложений и гололеда и очередность работ по снегоочистке, а также предусмотрены дополнительные меры по защите дороги от снежных отложений.

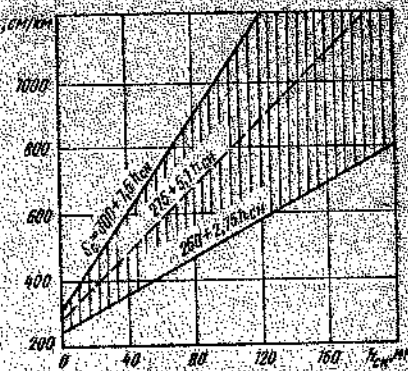
В крайнем случае возникает необходимость рассмотреть вопрос об организации движения транспортных потоков по покрытиям, на поверхности которых имеется необрушенный снег, который образует снежный накат.

На дорогах с покрытием переходного типа слой плотного снега необходим для того, чтобы не разрушить покрытие при удалении снега. В этом случае в проекте также должны быть определены требования к характеристикам уплотненного снега на покрытии и к технологии его содержания в процессе эксплуатации дороги.

Требования к ширине дороги, покрытой уплотненным снегом, определяют так же, как и к ширине укрепленной поверхности ис-

ходя из принятого уровня обеспеченности расчетной скорости (см. табл. 2.4). Аналогично определяют и требования к снеговым качествам уплотненного снега.

Большое влияние на скорость и безопасность движения имеет ровность уплотненного снега, которая зависит от его толщины и физико-механических характеристик, интенсивности и состава движения, уровня содержания. Наблюдения показывают, что ровность заснеженной поверхности колеблется в широких пределах, но показатели ровности уклады-
Рис. 7.16. Изменение ровности проезжей части при наличии уплотненного снега



ваются в определенную зону (рис. 7.16) в зависимости от толщины снежного покрова и тщательности его выравнивания. Если снег не удален полностью, но регулярно разравнивается автогрейдерами или плужными очистителями, зависимость ровности от толщины снежного покрова описывается уравнением

$$S_c = 250 + 2,75h_{сн}, \quad (7.37)$$

где $h_{сн}$ — толщина уплотненного слоя снега, мм.

Нормальные условия движения в этом случае наблюдаются, если толщина слоя снега до 90 мм. При нерегулярном профилировании или удалении снега с покрытия бульдозерами зависимость ровности от толщины снежного покрова описывается уравнением

$$S_c = 300 + 7,5h_{сн}, \quad (7.38)$$

Нормальные условия движения наблюдаются при толщине слоя не более 25 мм.

В среднем зависимость ровности от толщины слоя снега описывается уравнением

$$S_c = 275 + 5,1h_{сн}, \quad (7.39)$$

В любом случае толщина снежного слоя не должна превышать 100—120 мм (рис. 7.17). Важно отметить, что хотя при небольшой толщине слоя уплотненного снега ровность меняется незначительно, снег все равно должен быть удален с покрытия дорог I—III категории полностью, чтобы обеспечить требуемые снеговые качества. На дорогах IV категории толщина плотного снега не должна быть более 60—80 мм при условии постоянного профилирования и удаления снега на подъемах и спусках. Только в исключительных случаях на отдельных участках может допускаться до 200 мм. Для придания лучших качеств поверхности качения на

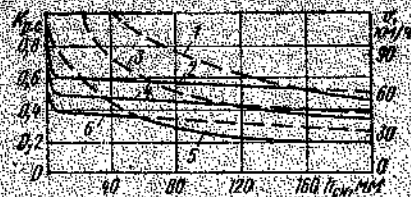


Рис. 7.17. Влияние толщины слоя снега на обеспеченность расчетных скоростей.

1 — возможная скорость при лучшей ровности; 2 — ограничение по $\phi_{\max}$; 3 — возможная скорость при средней ровности; 4 — ограничение по $\phi_{\text{сред}}$; 5 — возможная скорость при плохой ровности; 6 — ограничение по $\phi_{\min}$.

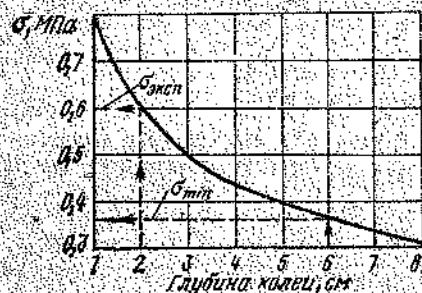


Рис. 7.18. Зависимость глубины колеи от прочности снега

с ростом прочности уплотненного снега коэффициент сцепления снижается (рис. 7.19).

Оптимальная прочность находится в пределах 0,2–0,8 МПа, чему соответствует плотность снега 0,4–0,6 г/см³.

С повышением температуры прочность снега уменьшается (рис. 7.20). При температуре около 0°C снежное покрытие непригодно для движения и должно быть своевременно удалено при приближении весны. Срок использования снежного покрытия ограничивается устойчивой отрицательной температурой не ниже 5°C. При этих условиях длительность периода эксплуатации колеблется от 4 до 8 мес в году.

Обеспеченность движения автомобилей по уплотненному снегу в зимний период

$$k = \frac{n_1}{n_2} 100, \quad (7.41)$$

где n_1 — число дней с устойчивой температурой воздуха ниже -5°C ; n_2 — длительность зимнего периода, дней.

дорогах низовой сети лучше создавать искусственно слой уплотненного снега толщиной 4–6 см, разравнивая и уплотняя его.

Одним из важных показателей является прочность уплотненного снега. Хорошо уплотненным считается снег, при проезде автомобилей по которому на покрытии не остается колеи глубже 2 см, а допустимой прочностью следует считать такую, когда от прохода расчетного грузового автомобиля колея не превышает 6 см. Установлено [6], что этим показателем соответствует прочность снега 0,3–0,6 МПа (рис. 7.18). Прочность снега зависит от его плотности и силы сцепления частиц, которая тем больше, чем ниже температура снега

$$\sigma = 8\rho^2 \sqrt{1+t}, \quad (7.40)$$

где ρ — плотность снега, г/см³; t — абсолютное значение отрицательной температуры (без учета знака).

Необходимо учитывать при эксплуатации дороги, что с ро-

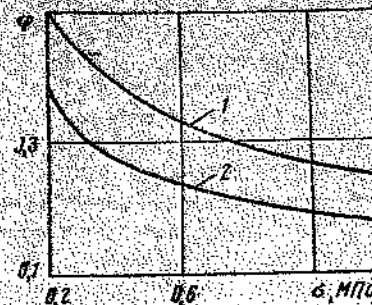


Рис. 7.19. Зависимость коэффициента сцепления от прочности уплотненного снега.

1, 2 — скорость соответственно 40 и 60 км/ч

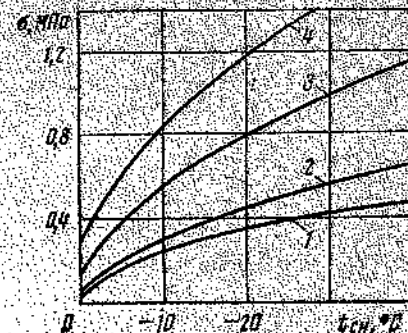


Рис. 7.20. Зависимость прочности от плотности снега и температуры.

1, 2, 3, 4 — плотность снега соответственно 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 г/см³

Дополнительные отложения снега во время метелей и снегопадов на поверхности ранее уплотненного снега приводят к снижению скорости и перерывам движения. Поэтому дороги, остающиеся для эксплуатации с уплотненным снегом, тоже должны иметь защиту от снежных заносов, хотя требования к этим сооружениям могут быть несколько ниже, чем на дорогах, где не допускается наличие уплотненного снега. Если по каким-либо причинам снегозаносимость дороги не обеспечена, необходимо предусмотреть в проекте возможность устройства обьездов заносимых участков.

Перерывы возникают обычно из-за заноса выемок или мелких насыпей на сравнительно коротких участках. Однако из-за этого может быть парализовано движение на десятках, а иногда и на сотнях километров дороги. Поэтому целесообразно предусмотреть варианты объезда заносимого участка с устройством временных дорог, с использованием местных проездов или старых дорог (рис. 7.21).

Иногда в районах с хорошо развитой дорожной сетью можно пойти на проектирование местной дороги без учета снегозаносимости. В этом случае на период снежных заносов должно быть предусмотрено переключение движения на обходные маршруты.

Проектирование баз противогололедных материалов и других мероприятий. В проектах дорог предусматривают базы для противогололедных материалов, определяют расстояния между ними, места их расположения. Расстояние между базами зависит от категории дороги, интенсивности движения, климатических условий и вида противогололедного материала. Чаще приходится располагать базы хранения фрикционных материалов (песка, шлака и др.), поскольку они расходуются в очень больших количествах. Так, на многополосных автомобильных магистралях с бетонным покрытием, где в первые годы эксплуатации не допускается применение хлоридов, оптимальное расстояние между базами

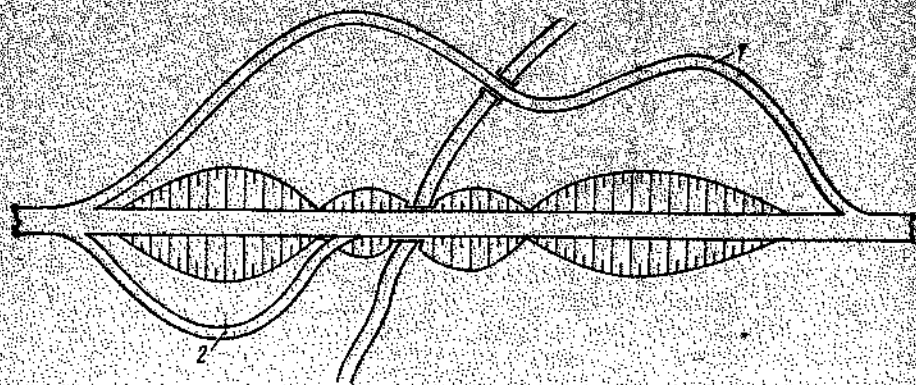


Рис. 7.21. Временные объезды снегозаносимых участков:
1 — местная старая дорога; 2 — временный объезд

песка 10—20 км. На дорогах II—IV категорий с усовершенствованными покрытиями это расстояние может достигать 40—50 км. Объем хранения фрикционных материалов в сильногололедных районах достигает 2000 м³, а в среднегололедных 1000 м³.

Кроме того, на опасных участках целесообразно предусматривать через каждые 50—100 м места хранения небольших объемов фрикционных материалов, защищенных от снега, намокания и смерзания.

Особенно это важно на крутых подъемах и спусках, на подходах к мостам, путепроводам и на пересечениях.

В настоящее время для борьбы с гололедом все большее применение находят химические реагенты, особенно хлористые и натриевые соли в сухом виде и их растворы. Расстояния между базами этих материалов могут приниматься такими же, как и между базами песка, но объемы хранения значительно меньше. Конструкции баз противогололедных материалов описаны в книге [9].

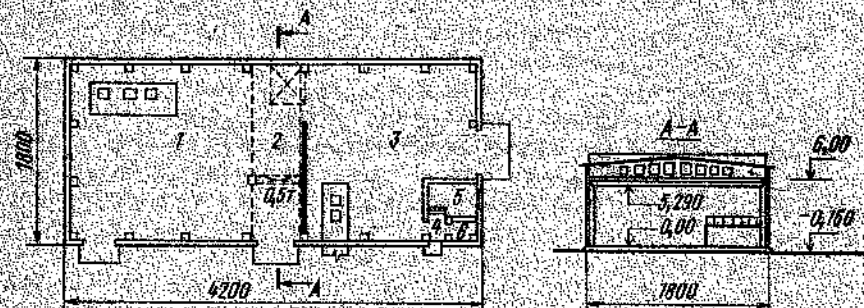


Рис. 7.22. Типовая база приготовления и хранения противогололедных материалов (Тип-1):
1 — склад с дробильно-сортировочным узлом; 2 — склад ХКФ и ингибиторов; 3 — склад готовой смеси; 4, 5, 6 — котельная и служебные помещения

В Гипродорнии разработаны типовые проекты новых конструкций баз по приготовлению и хранению противогололедных химических материалов. Типовая база (Тип-1) рассчитана на приготовление и хранение твердых противогололедных химических материалов объемом до 320 т. Она состоит из складов хлористого натрия с дробильно-сортировочным узлом, хлористого кальция, ХКФ и ингибитора, склада готовой смеси и других узлов (рис. 7.22).

Длина обслуживаемого участка при ширине проезжей части 7,5 м составляет около 40 км. Для приготовления и хранения жидких противогололедных материалов рекомендуется база (Тип-2), вмещающая до 180 т. Она состоит из резервуаров по 30 м³, пропеллерной мешалки с баком, центробежного насоса, склада ингибиторов и других узлов (рис. 7.23). Длина обслуживаемого одной базой участка шириной проезжей части 7,5 м составляет 20 км.

Для одновременного приготовления и хранения твердых и жидких противогололедных химических материалов рекомендована база (Тип-3), которая практически объединяет базы Тип-1 и Тип-2. Она рассчитана на приготовление и хранение 320 т твердых и 180 т жидких материалов. Общая длина обслуживаемого участка с шириной проезжей части 7,5 м составляет 60 км, из которых 40 км обрабатываются твердыми, а 20 км жидкими материалами.

В ряде случаев имеется возможность получить готовые твердые или жидкие химические противогололедные материалы. Необходимы только склады по их хранению и отгрузке. Можно также запроецировать централизованное или кустовое приготовление химических противогололедных материалов. Для их хранения Гипродорнии разработал типовый проект расходного склада на 100 т твердых и 60 м³ жидких противогололедных химических материалов (Тип-РС) в двух вариантах: с галереями и с элеваторной подачей. Склад состоит из двух резервуаров по 30 м³, центробежных

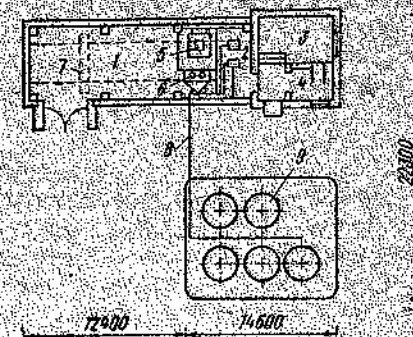


Рис. 7.23. База приготовления и хранения жидких противогололедных материалов (Тип-2):

1 — склад ингибиторов; 2 — насосная; 3, 4 — котельная и служебные помещения; 5 — бункер с дозатором; 6 — пропеллерная мешалка; 7 — край балки; 8 — трубопровод; 9 — резервуары вместимостью по 30 м³

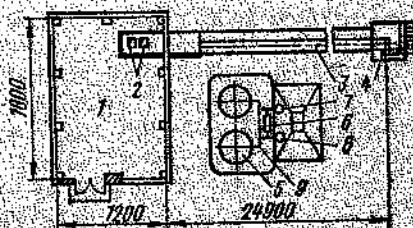


Рис. 7.24. Расходный склад твердых и жидких противогололедных материалов:

1 — склад твердых химических материалов; 2 — абсорбатор-питатель; 3 — ленточный конвейер; 4 — раздаточный бункер; 5 — резервуары для жидких противогололедных химических материалов; 6 — центробежный насос; 7 — сливной вывал; 8 — сливной фильтр; 9 — трубопроводы

насосов, приемных и раздаточных бункеров, оборудования для хранения и погрузки готовых материалов (рис. 7.24). Длина участка шириной проезжей части 7,5 м, обслуживаемая одним складом, составляет 27 км, из которых 20 км обрабатываются твердыми, а 7 км жидкими материалами.

Во всех указанных случаях базы рассчитаны на противогололедную обработку обслуживаемого участка в течение всей зимы.

Дополнительные мероприятия по обеспечению безопасности движения. На участках дорог I—III категорий, где по данным метеорологических справочников или наблюдений ожидается повышенное число случаев гололеда, целесообразно предусматривать специальные автоматические световые табло, предупреждающие водителей о гололеде.

Влияние туманов на безопасность движения необходимо учитывать при выборе трассы и проектировании ее геометрических параметров. Анализ данных метеорологических станций позволяет выявить участки местности с наибольшей повторяемостью туманов (котловины, поймы рек, заболоченные низины, озера, водоемы с теплыми водами и др.). Такие участки целесообразно обходить при трассировании дорог высокой интенсивности. На этих участках нельзя располагать кривые в плане, пересечения, примыкания и автобусные остановки. Если избежать этого нельзя, их нужно устраивать с канализацией движения, чтобы разделить зоны возможных столкновений автомобилей и наездов на пешеходов.

При проектировании дорог на туманоопасных участках необходимо разработать комплекс мер, позволяющих водителю иметь точную информацию о направлении движения, состоянии и занятости проезжей части и о целесообразном режиме движения.

К важнейшим из них относятся: направляющие столбики и планки со светоотражающими катафотами или полосами пленки; дорожные знаки, указатели с рефлектирующей поверхностью или подсветкой; сигнальные устройства и световые табло со сменной информацией, предупреждающие о тумане, гололеде, осадках; разметка проезжей части; втапливаемые в покрытие светоотражающие микрошарики; стационарное освещение на опасных участках; осветление покрытий; устройство краевых полос из цветных материалов, шероховатых поверхностных обработок и другие меры для быстрого отвода воды с поверхности дорог.

Для обеспечения расчетной скорости автомобилей на ветроопасных участках дорог высоких категорий на стадии проектирования необходимо предусматривать комплекс мероприятий: устройство ветрозащитных сооружений — насаждений, заборов, сеток, ограждений, галерей; установку предупреждающей сигнализации на подходах к ветроопасным участкам, а в некоторых случаях и уширение полос движения на случай возможного отклонения автомобиля от порывов ветра.

Наиболее эффективным является учет влияния метеорологических условий на состояние дороги и условия движения при проложении трассы на местности. Поэтому требования к сбору и ана-

лизу данных о климатических характеристиках в процессе изысканий необходимо дополнять требованиями по выявлению участков местности, на которых часты туманы, гололед, сильные ветры.

Особенно большое значение имеет информация водителей о реальных условиях движения и рекомендуемых режимах. Для этой цели надо ввести систему временных дорожных знаков, проектировать специальные табло со сменной информацией, которую можно заменять с пульта управления или автоматически. В проекте следует обосновывать места установки средств информации.

Чтобы существенно повысить достоверность метеорологической информации в части привязки к конкретным дорогам и участкам, в проектах дорог целесообразно предусматривать создание постов наблюдения за метеорологическими условиями.

В пояснительную записку к проекту организации и технологии работ по зимнему содержанию дороги рекомендуется включать характеристики природно-климатических условий применительно к зимнему периоду; расчет средств механизации для снегоочистки и борьбы с гололедом, противогололедных материалов; определение потребности в горюче-смазочных материалах; создание баз хранения материалов; оценку обеспеченности расчетной скорости в зимний период и выявление наиболее опасных мест; определение очередности работ.

Специальный раздел записки полезно посвятить выбору, расчету и технико-экономическому обоснованию снегозащитных мероприятий, где можно отразить расчет затрат на зимнее содержание с определением видов и объемов работ по выбранному варианту защиты дорог от заносов и зимнего содержания, ведомости потребности в рабочей силе, материалах и машинах, другие вспомогательные расчеты и документы, подтверждающие принятые объемы работ и их стоимость.

Кроме того, в пояснительной записке разрабатывают схему организации движения на дороге по периодам года, которая включает схему разметки дороги и расстановки знаков по периодам года, организацию объездов снегозаносных участков, получение метеорологической информации и передачу информации о проезжаемости в сложных условиях погоды и другие сведения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение задачи повышения надежности работы дорог, удобства и безопасности движения транспортных потоков в сложных природно-климатических условиях идет двумя путями. Первый из них направлен на повышение уровня содержания дорог за счет оснащения дорожно-эксплуатационной службы машинами, оборудованием и материально-техническими ресурсами, разработки и внедрения новых типов машин, материалов, совершенствования методов производства и организации работ по содержанию дорог в неблагоприятные периоды года и в сложных условиях погоды.

второй — на совершенствование методов и норм проектирования дорог и их инженерного оборудования, более полно учитывающих реальные условия движения автомобилей и эксплуатации дорог, разработку новых конструктивных решений по защите дорог от отрицательного воздействия погодноклиматических факторов.

Успешное решение задачи повышения эффективности функционирования дорог может быть в том случае, если оба направления органично сливаются, дополняют друг друга. Именно такой подход изложен в данной книге. Ведь в неблагоприятные периоды года проходят совместную проверку надежность и качество проектных решений по защите дорог от отрицательного воздействия погодноклиматических факторов, эффективность мер, предусмотренных проектом по содержанию дорог и организации движения в характерных для каждого региона и периода года условиях, и уровень работы дорожно-эксплуатационной службы.

В работе приведены результаты исследований и обобщений, которые дают возможность перейти к разработке принципов и методов проектирования дорог и организации их функционирования с учетом этого воздействия, к разработке региональных норм проектирования и обоснованию комплекса конструктивных, организационных и технологических решений, позволяющих поддерживать движение автомобилей с заданным уровнем обеспеченности расчетной скорости и безопасности движения в любых погодноклиматических условиях.

Изложенные методы проектирования дорог и организации их содержания могут показаться сложными и трудными, как и проблема обеспечения круглогодичного удобного и безопасного движения в реальных природноклиматических условиях. Еще не все из них разработаны с одинаковой степенью детализации, поэтому предстоит дальнейшее развитие и усовершенствование предлагаемых методов и решений.

Но уже сегодня ясно, чтобы гарантировать надежную и непрерывную работу дороги необходимо на стадии проектирования рассмотреть и найти решения по комплексу новых вопросов.

как обеспечены нормальные условия движения на дороге в течение года при принятых в проекте конструктивных и организационных решениях;

что произойдет на каждом участке дороги во время дождя, снегопада, метели, гололеда и при других метеорологических явлениях, сколько раз в году и на каких участках возможно снижение скоростей, затор или остановка по указанным причинам,

как пропустить движение по этим участкам или в обход их и организовать эффективную работу дороги в сложных погодноклиматических условиях;

все ли сделано для того, чтобы с наименьшими затратами обеспечить наилучшие условия движения транспортных потоков и содержания дороги в неблагоприятные периоды года.

Если по этим вопросам найдены положительные решения, цель проектирования достигнута.

Сочетание метеорологических явлений	Расчетные формулы
Исходная математическая модель	
$K_{p,c} = \prod_{i=1}^n K_{p,ci} + \sum_{i,j} \theta_{ij} (1 - K_{p,ci})(1 - K_{p,cj}) + \sum_{i < j < k} \gamma_{ijk} (1 - K_{p,ci})(1 - K_{p,cj})(1 - K_{p,ck}) \times$ $\times (1 - K_{p,ck})$	
1. Положительная температура воздуха X_1	
Температура — влажность воздуха	$K_{p,c12}^{итог} = K_{p,cx_1} K_{p,cx_2} + 2,15(1 - K_{p,cx_1})(1 - K_{p,cx_2})$
Температура — дождь	$K_{p,c13}^{итог} = K_{p,cx_1} K_{p,cx_3} + 0,8(1 - K_{p,cx_1})(1 - K_{p,cx_3})$
Температура — ветер	$K_{p,c14}^{итог} = K_{p,cx_1} K_{p,cx_4} + (1 - K_{p,cx_1})(1 - K_{p,cx_4})$
Температура — туман (МДВ)	$K_{p,c15}^{итог} = K_{p,cx_1} K_{p,cx_5}$
Влажность воздуха — дождь	$K_{p,c23}^{итог} = K_{p,cx_3} K_{p,cx_3} - 0,91(1 - K_{p,cx_3})(1 - K_{p,cx_3})$
Влажность воздуха — ветер	$K_{p,c24}^{итог} = K_{p,cx_3} K_{p,cx_4}$
Влажность воздуха — туман (МДВ)	$K_{p,c25}^{итог} = K_{p,cx_3} K_{p,cx_5}$
Дождь — ветер	$K_{p,c34}^{итог} = K_{p,cx_3} K_{p,cx_4} + 0,28(1 - K_{p,cx_3})(1 - K_{p,cx_4})$
Дождь — туман (МДВ)	$K_{p,c35}^{итог} = K_{p,cx_3} K_{p,cx_5} + 0,36(1 - K_{p,cx_3})(1 - K_{p,cx_5})$
Ветер — туман (МДВ)	$K_{p,c45}^{итог} = K_{p,cx_4} K_{p,cx_5}$
Температура — влажность — дождь	$K_{p,c123}^{итог} = K_{p,cx_1} K_{p,cx_2} K_{p,cx_3} + 2,15(1 - K_{p,cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p,cx_2}) + 0,8(1 - K_{p,cx_1})(1 - K_{p,cx_3}) -$ $- 0,91(1 - K_{p,cx_3})(1 - K_{p,cx_3}) - 4,56(1 - K_{p,cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p,cx_2})(1 - K_{p,cx_3})$
Температура — влажность — ветер	$K_{p,c124}^{итог} = K_{p,cx_1} K_{p,cx_2} K_{p,cx_4} + 2,15(1 - K_{p,cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p,cx_2}) + (1 - K_{p,cx_1})(1 - K_{p,cx_4})$
Температура — влажность — туман (МДВ)	$K_{p,c125}^{итог} = K_{p,cx_1} K_{p,cx_2} K_{p,cx_5} + 2,15(1 - K_{p,cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p,cx_2})$
Температура — дождь — ветер	$K_{p,c134}^{итог} = K_{p,cx_1} K_{p,cx_3} K_{p,cx_4} + 0,8(1 - K_{p,cx_1})(1 -$ $- K_{p,cx_3}) + (1 - K_{p,cx_1})(1 - K_{p,cx_4}) + 0,28 \times$ $\times (1 - K_{p,cx_3})(1 - K_{p,cx_4}) + 4,09 \times$ $\times (1 - K_{p,cx_1})(1 - K_{p,cx_3})(1 - K_{p,cx_4})$

Сочетание метеорологических явлений	Расчетные формулы
Температура — дождь — туман (МДВ)	$K_{p.c135}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} + 0,8(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) + 0,36(1 - K_{p.cx_2})(1 - K_{p.cx_3})$
Температура — ветер — туман (МДВ)	$K_{p.c145}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} + (1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2})$
Влажность — дождь — ветер	$K_{p.c234}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} - 0,91(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) + 0,28(1 - K_{p.cx_2})(1 - K_{p.cx_3})$
Влажность — дождь — туман (МДВ)	$K_{p.c235}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} - 0,91(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) + 0,36(1 - K_{p.cx_2})(1 - K_{p.cx_3})$
Влажность — ветер — туман (МДВ)	$K_{p.c245}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3}$
Дождь — ветер — туман (МДВ)	$K_{p.c345}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} + 0,28(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) + 0,36(1 - K_{p.cx_2})(1 - K_{p.cx_3})$

II. Отрицательная температура воздуха, X_1

Температура — ветер	$K_{p.c114}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} + 0,19(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Температура — туман (МДВ)	$K_{p.c15}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2}$
Температура — снегопад	$K_{p.c16}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} + 0,27(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Температура — гололед	$K_{p.c17}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2}$
Температура — метель	$K_{p.c18}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2}$
Ветер — туман (МДВ)	$K_{p.c45}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2}$
Ветер — снегопад	$K_{p.c46}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} - 0,62(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Ветер — гололед	$K_{p.c47}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} + 0,15(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Туман (МДВ) — снегопад	$K_{p.c56}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} - 0,17(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Туман (МДВ) — гололед	$K_{p.c57}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} - 0,32(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Туман (МДВ) — метель	$K_{p.c58}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2}$
Снегопад — гололед	$K_{p.c67}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2}$

Сочетание метеорологических явлений	Расчетные формулы
Снегопад — метель	$K_{p.c68}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2}$
Гололед — метель	$K_{p.c78}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} - 0,30(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Температура — ветер — туман (МДВ)	$K_{p.c145}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} + 0,19(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) + 3,04(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_3})$
Температура — ветер — снегопад	$K_{p.c146}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} + 0,19(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) + 0,27(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2}) -$ $- 0,62(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Температура — ветер — гололед	$K_{p.c147}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} + 0,19(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) + 0,15(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2}) -$ $- 0,81(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})(1 - K_{p.cx_3})$
Ветер — туман (МДВ) — снегопад	$K_{p.c456}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} - 0,62(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2})$
Ветер — туман (МДВ) — гололед	$K_{p.c457}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} + 0,15(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2})$
Туман (МДВ) — снегопад — гололед	$K_{p.c567}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} - 0,17(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) - 0,32(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2}) +$ $+ 4,20(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})(1 - K_{p.cx_3})$
Туман (МДВ) — снегопад — метель	$K_{p.c568}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} - 0,17(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) - 1,62(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})$
Снегопад — гололед — метель	$K_{p.c678}^{итог} = K_{p.cx_1} K_{p.cx_2} K_{p.cx_3} - 1,62(1 - K_{p.cx_1}) \times$ $\times (1 - K_{p.cx_2}) - 0,30(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2}) -$ $- 0,75(1 - K_{p.cx_1})(1 - K_{p.cx_2})(1 - K_{p.cx_3})$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги Севера. И. Л. Борщук, Ю. Н. Высоцкий, В. А. Давыдов и др./Под ред. И. А. Золотаря.—М.: Транспорт, 1981.—247 с.
2. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Пер. с англ./В. У. Рэнкин, П. Клафф, С. Халберт и др.—М.: Транспорт, 1981.—592 с.
3. Алисов Б. П. Климат СССР.—М.: Изд-во МГУ, 1956.—652 с.
4. Астров В. А. Коэффициент сцепления и степень шероховатости дорожного покрытия.—Автомобильные дороги, 1970, № 10, с. 3—9.
5. Бабков В. Ф. Дорожные условия и безопасность движения.—М.: Транспорт, 1982.—288 с.
6. Белинский И. А., Самородов Ю. А., Соколов В. С. Зимнее содержание аэродромов.—М.: Транспорт, 1982.—192 с.
7. Бельский А. Е. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах.—М.: Транспорт, 1966.—284 с.
8. Бируля А. К. Проектирование автомобильных дорог.—М.: Автотрансиздат, 1961.—495 с.
9. Васильев А. П. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях.—М.: Транспорт, 1976.—224 с.
10. Васильев А. П., Немчинов М. В. Безопасность движения в осенний и весенний периоды года.—М.: Транспорт, 1976.—79 с.
11. Васильев А. П., Фримштейн М. И. Управление движением на автомобильных дорогах.—М.: Транспорт, 1979.—296 с.
12. Васильев А. П. Особенности обоснования требований к параметрам дорог с учетом климата различных регионов.—Автомобильные дороги, 1981, № 8, с. 19—21.
13. Водотепловой режим земляного полотна и дорожных одежд/Под ред. И. А. Золотаря, Н. А. Пузакова, В. М. Сиденко.—М.: Транспорт, 1971.—416 с.
14. Дорожные условия и режим движения автомобилей/Бабков В. Ф., Афанасьев М. Б., Васильев А. П. и др.—М.: Транспорт, 1967.—223 с.
15. Жуков В. И. Шероховатость и скользкость дорожных покрытий в зимнее время.—Известия Высших учебных заведений. Строительство и архитектура, 1972, № 9, с. 130—132.
16. Замахаев М. С. Исследование коэффициента поперечного скольжения пневматической шины на дорожных покрытиях.—М.: Дориздат, 1949, с. 9—12.
17. Замахаев М. С. Назначение ширины проезжей части автомобильных дорог.—М.: Автотрансиздат, 1956.—153 с.
18. Зимнее содержание автомобильных дорог/Бялосжеский Г. В., Дюгин А. К., Плакс Л. Н. и др.—М.: Транспорт, 1983.—197 с.
19. Зимнее содержание дорог: Пер. с нем./К. Г. Лефельд, Х. Барц, П. Матт и др.—М.: Транспорт, 1977.—176 с.
20. Иванов В. Н. Влияние ширины проезжей части автомобильных дорог на безопасность и режим движения транспортных средств.—М.: Высшая школа, 1972.—405 с.
21. Иванов В. Н., Ерохов В. И. Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива.—Автомобильные дороги, 1982, № 8, с. 10—13.
22. Кабанов Н. В. Влияние погодных условий на изменение средней технической скорости движения.—В кн.: Исследования транспортно-эксплуатаци-

- онных показателей автомобильных дорог Западной Сибири.—Омск: Зап.-Сиб. книжн. изд-во Омского отделения, 1979, с. 100—106.
23. Каганович В. Е. К вопросу оптимизации сроков реконструкции и стадийного строительства автомобильных дорог.—В кн.: Оптимизация сроков реконструкции и стадийного строительства автомобильных дорог.—Алма-Ата, 1973, с. 3—52.
24. Калужский Я. А. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог.—М.: Транспорт, 1969.—136 с.
25. Кнороз В. И. Работа автомобильной шины.—М.: Транспорт, 1976.—238 с.
26. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации.—М.: Гидрометеоиздат, 1978.—256 с.
27. Комаров А. А., Романов А. А., Конорев Г. Я. и др. Повышение эффективности дорожного строительства на Камчатке.—Автомобильные дороги, 1977, № 5, с. 10—11.
28. Комаров А. А. Особенности снеготранспорта и проектирование железных дорог в Заполярье с учетом требований снегоборьбы.—Новосибирск: Зап.-Сиб. книжн. изд-во, 1966.—158 с.
29. Кунгурцев А. А. Проектирование снегозащитных мероприятий на дорогах.—М.: Автотрансиздат, 1961.—108 с.
30. Лобанов Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя.—М.: Транспорт, 1980.—311 с.
31. Методические рекомендации по зимнему содержанию автомобильных дорог в Казахстане.—Алма-Ата: Изд. Минавтодора Казахской ССР, 1973.—239 с.
32. Монокрович Э. И. Гидрометеорологическая информация в народном хозяйстве.—Л.: Гидрометеоиздат, 1980.—168 с.
33. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. I. Метеорологические наблюдения на станциях.—Л.: Гидрометеоиздат, 1969.—306 с.
34. Некрасов В. К. Содержание автомобильных дорог.—М.: Высшая школа, 1969.—123 с.
35. Немчинов М. В. Проектирование и строительство дорожных покрытий с шероховатой поверхностью.—М.: Изд. МАДИ, 1982.—142 с.
36. Нечаев А. Н., Орехов И. А. Влияние погодных условий на среднетехнические скорости движения.—В кн.: Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов.—Минск: Высшая школа, 1973, с. 151—160.
37. Никитин С. Б. Сравнение вариантов автомобильных дорог с учетом влияния продольного профиля.—В кн.: Вопросы проектирования автомобильных дорог.—Саратов, 1967, с. 74—86.
38. Пеззнер Я. М. Теория устойчивости автомобиля.—М.: Машино, 1947.—154 с.
39. Перков Ю. Р., Ворон Т. Е. Состояние обочин и безопасность движения.—Автомобильные дороги, 1972, № 10, с. 12—14.
40. Петрушов В. А., Шуклин С. А., Московкин В. В. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов.—М.: Машиностроение, 1975.—225 с.
41. Полякова Л. Д. О выборе продольного уклона автомобильных дорог в слабо пересеченной местности.—В кн.: Вопросы проектирования автомобильных дорог.—Саратов: Изд. СПИ, 1967, с. 104—110.
42. Расников В. П. Предпосылки районирования территории СССР по условиям движения.—В кн.: Влияние дорожных условий на безопасность движения.—М.: Изд. Гипродорнии, 1976, с. 38—44.
43. Расников В. П. Определение оптимального уровня зимнего содержания покрытия автомобильных дорог.—В кн.: Современные методы организации и повышения безопасности движения на автомобильных дорогах.—М.: Изд. Гипродорнии, 1981, с. 65—70.
44. Рекомендации по изысканиям и проектированию снегозадерживающих лесных полос вдоль автомобильных дорог.—М.: Союзгипролесхоз, 1982.—191 с.
45. Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог/Минавтодор РСФСР.—М.: Транспорт, 1982.—88 с.

46. Сегержак В. М. Исследование свойств транспортного потока при проектировании режимов скоростей. — В кн.: Теоретическое и экспериментальное исследование автомобильных дорог и автомобильного транспорта Эстонской ССР в условиях интенсивной автомобилизации. — Таллин: ТПИ, 1979, с. 11—15.
47. Сиденко В. М., Михович С. И. Эксплуатация автомобильных дорог. — М.: Транспорт, 1976. — 288 с.
48. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. — М.: Транспорт, 1977. — 303 с.
49. Ситников Ю. М., Дивочкин О. А. Стадийное улучшение транспортно-эксплуатационных качеств дорог. — М.: Транспорт, 1973. — 128 с.
50. Струченков В. И., Карих Ю. С. Методика учета и исследование влияния распределения земляных масс при проектировании продольного профиля автомобильной дороги на ЭВМ. — В кн.: Изыскания в проектировании автомобильных дорог. — М.: Изд. Гипродорнии, 1974, с. 91—164.
51. Струченков В. И., Карих Ю. С. О способах учета влияния площади занимаемых земель при автоматизированном проектировании дорог. — В кн.: Изыскания в проектировании автомобильных дорог. — М.: Изд. Гипродорнии, 1979, с. 61—66.
52. Тверской П. Н. Курс метеорологии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1962. — 286 с.
53. Технические указания по устройству дорожных покрытий с шероховатой поверхностью. (ВСН 38-77)/Минавтодор РСФСР. — М.: Транспорт, 1978. — 56 с.
54. Технические указания по укреплению обочин автомобильных дорог (ВСН 38-79)/Минавтодор РСФСР. — М.: Транспорт, 1980. — 47 с.
55. Тулаев А. Я. Расчет и конструкции дренажных устройств. — М.: Высшая школа, 1974. — 113 с.
56. Указания по организации и обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. (ВСН 25-76)/Минавтодор РСФСР. — М.: Транспорт, 1977. — 176 с.
57. Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог (ВСН 21-75)/Минавтодор РСФСР. — М.: Транспорт, 1976. — 64 с.
58. Хавкин К. А., Дашевский Л. И. Проектирование продольного профиля автомобильных дорог. — М.: Транспорт, 1966. — 236 с.
59. Хомяк Я. В., Чвак В. С. Проектирование автомобильных дорог с учетом условий эксплуатации. — В кн.: Автомобильные дороги и дорожное строительство. Республ. межведомств. сб. Вып. 24. — Киев: Будівельник, 1979, с. 28—30.
60. Хорошилов Н. Ф. Технико-экономические обоснования норм и технических условий на автомобильные дороги общей сети СССР. — В кн.: Доклады и сообщения на научно-техническом совещании по строительству автомобильных дорог. М.: Изд. Союздорнии, 1963, с. 35—93.
61. Хорошилов Н. Ф., Беззубик Н. С., Брайловский С. С. Основные положения по оценке проектных решений при разработке проектно-сметной документации на строительство автомобильных дорог. М.: Изд. Союздорнии, 1973, с. 34—53.
62. David I. Davis. Shpolder Improvements on Two-Lane Roads. «Transp. Res. Rec.», 1979, № 737, 59—60.
63. Szatkowski W. S. B2. Recommendations and Specifications for skid-resistance of new and existing roads. Belgium, Czechoslovakia, France, Finland, Federal Republic of Germany, Great Britain, The Netherlands, Poland, Spain, Sweden, Italy, Japan, Switzerland. «XV Congress, Mexico City», 1975, pp. 26—36.
64. Fromm H. J. Winter Maintenance Practice and Research in Ontario. «Des. Automob. Corros. Prev. Conf. Northfield Hilton Inn. Troy, Mich.», 1978, Warrendale, Pa. 1978, 1—4.
65. Relation between Skid-resistance and accidents. «XV Congress, Mexico City, Great Britain, The Netherlands Italy, Japan», 1975, pp. 8—25.
66. Peltier R. Metodi per l'assegnazione degli appalti di viabilità invernale nella provincia Québec. «Neve Int.», 1982, 24, № 4, 40—45.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Теоретические основы проектирования дорог с учетом влияния климата на условия движения	5
1.1. Климат и условия движения	5
1.2. Климат и требования к проектированию дорог	11
1.3. Характеристики поверхности дороги и движение автомобиля	16
Глава 2. Оценка климата при назначении параметров дорог	28
2.1. Основные положения оценки влияния климата на режим движения	28
2.2. Влияние параметров дорог и метеорологических факторов на обеспеченность расчетной скорости	36
2.3. Методика оценки влияния климата на обеспеченность расчетной скорости	53
Глава 3. Принципы проектирования дорог с учетом влияния климата на условия движения	61
3.1. Мероприятия по защите дорог от воздействия климата и порядок их проектирования	61
3.2. Выбор расчетных периодов года	69
3.3. Оценка дороги по обеспеченности расчетной скорости в неблагоприятные периоды года	80
3.4. Оценка пропускной способности и безопасности движения в неблагоприятные периоды года	86
Глава 4. Проектирование поперечного профиля и плана дорог в разных климатических условиях	95
4.1. Комплексное проектирование ширины укрепленной поверхности	95
4.2. Назначение ширины и укрепления обочин	105
4.3. Возможности уменьшения ширины земляного полотна	113
4.4. Поперечный уклон проезжей части	117
4.5. Проектирование кривых в плане с учетом состояния поверхности дорог и бокового ветра	122
Глава 5. Проектирование продольного профиля с учетом климатических условий	129
5.1. Определение максимального продольного уклона	129
5.2. Проектирование насыпей и вьездов с учетом снегонезаносимости	136
5.3. Назначение и обоснование мероприятий по защите дорог от снежных заносов	153
5.4. Оптимизация продольного профиля с учетом затрат на защиту дорог от снежных заносов	162
Глава 6. Экономическое обоснование параметров дороги	171
6.1. Скорость как экономический показатель качества дороги	171
6.2. Методика технико-экономических расчетов	176
	247

6.3. Технико-экономическое обоснование требований к параметрам поперечного профиля и плана	188
6.4. Технико-экономическое обоснование требований к продольному уклону	196
6.5. Оценка экономической эффективности региональных норм проектирования дорог	203
Глава 7. Обеспечение эксплуатационных требований при проектировании дорог	205
7.1. Обеспечение сцепных качеств покрытий	205
7.2. Обоснование требований к допустимой толщине снега на дороге	214
7.3. Обоснование сроков ликвидации зимней скользкости и общие требования к зимнему содержанию	221
7.4. Требования к организации движения в сложных погодных условиях	232
Заключение	239
Приложение	241
Список литературы	244

Производственное издание

Александр Петрович Васильев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА УСЛОВИЯ ДВИЖЕНИЯ

Переплет художника **Н. И. Анисущина**
Технический редактор **Р. А. Иванова**
Корректор-вычитка **С. М. Лобова**
Корректор **О. В. Тузова**

ИБ № 3019

Сдано в набор 29.11.86. Подписано в печать 07.07.86. Т-05742.
Формат 60×90^{1/8}. Бум. тип № 2. Гарнитура литературная. Высокая печать.
Усл. печ. л. 15,6. Усл. кр.-обр. 16,5. Уч.-изд. л. 18,13.
Тираж 8000 экз. Заказ 2020. Цена 1 р. 20 к.
Изд. № 1-3-1/15 № 2678.

Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ»
103008, Москва, Басманный туп., 5а.

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли,
101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.