

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Д. С. Дубяго, В. Ф. Курчевский

ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ДОРОГИ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений образования, обеспечивающих
получение общего высшего образования по специальности
6-05-0811-03 Мелиорация и водное хозяйство*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2025

УДК 728.6+631.2(075.8)

ББК 85.118я73

Д79

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета
18.06.2025 (протокол № 10)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
25.06.2025 (протокол № 11)*

Авторы:

старший преподаватель *Д. С. Дубяго*;
старший преподаватель *В. Ф. Курчевский*

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *С. М. Курчевский*;
кандидат технических наук, доцент *А. С. Анженков*

Дубяго, Д. С.

Д79

Внутрихозяйственные дороги : учебно-методическое пособие / Д. С. Дубяго, В. Ф. Курчевский. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 163 с.

ISBN 978-985-882-704-5.

Приведен теоретический и практический материал по расчету и проектированию конструктивных элементов внутрихозяйственной автомобильной дороги для курсового и дипломного проектирования.

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение общего высшего образования по специальности 6-05-0811-03 Мелиорация и водное хозяйство.

УДК 728.6+631.2(075.8)

ББК 85.118я73

ISBN 978-985-882-704-5

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ВВЕДЕНИЕ

В данном издании излагается методика выполнения курсового проекта по дисциплине «Внутрихозяйственные дороги» студентами специальности 6-05-0811-03 Мелиорация и водное хозяйство. Автомобильная дорога – комплексное сооружение, предназначенное для движения с установленными скоростями, нагрузками и габаритами автомобилей и иных наземных транспортных средств, а также земельные участки, предоставленные для размещения объектов, входящих в состав этого сооружения.

Дорожная одежда должна соответствовать общим требованиям, предъявляемым к дороге, и обеспечивать расчетную скорость, безопасность и комфортабельность движения транспортных средств. Это достигается обоснованным выбором и проектированием дорожной одежды и покрытия проезжей части, укрепленных и разделительных полос.

Цель дисциплины – научить студентов теоретическим основам изысканий, проектирования, строительства, содержания, ремонта и реконструкции внутрихозяйственных автомобильных дорог с учетом охраны окружающей среды, энерго- и ресурсосберегающих технологий и конструкций.

Задачи изучения дисциплины состоят в получении необходимого комплекса знаний, умений и навыков в области изысканий, проектирования, основ строительства, содержания и ремонта, реконструкции автомобильных внутрихозяйственных дорог.

Цель выполнения курсового проекта по дисциплине «Внутрихозяйственные дороги» состоит в том, чтобы научиться рассчитывать технические параметры внутрихозяйственной автомобильной дороги, выбирать оптимальную трассу, проектировать ее продольный профиль, дорожные одежды, пересечения с естественными или искусственными водотоками, реками, ручьями, каналами и т. д.

Материал изложен в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

1.1. Развитие дорожного строительства

Издавна через белорусские земли осуществлялись экономические, военные, культурные связи. Дорожные традиции Беларуси уходят своими корнями во времена образования Полоцкого, Туровского, Пинского, Мстиславского княжеств и Великого Княжества Литовского (VII–IX). Занимая важное географическое положение, Беларусь с давних пор служила перекрестком первостепенных транзитных дорог с запада на восток и с севера на юг. По ее же территории проходил вошедший в историю путь из варяг в греки, связывающий Скандинавские страны с Ближним Востоком.

Поначалу древние трассы использовались преимущественно для перемещения боевых колонн и обозов, ведения военных действий. Устройство дорог ограничивалось расчисткой лесных троп, прокладкой жердевых или бревенчатых настилов в болотистых местах и к поселениям людей. Грунтовые дороги прокладывались преимущественно по более сухой местности с отводом воды.

С развитием общества, его материальной культуры возникла потребность в создании сети благоустроенных дорог, связывающих города с другими населенными пунктами и обеспечивающих движение по международным торговым путям. К середине XVI в. дороги получают государственный статус. В сводах законов (статутах) 1588 г. появляются нормы, по сути регулирующие дорожное движение, параметры дорог, правила пользования ими.

Дальнейшее формирование сети автомобильных дорог относится ко второй половине XVII в., когда была учреждена почтовая служба. Одной из первых появилась почта по дороге Москва – Вильно. Через Смоленск и Минск почтовые отправления доставлялись из конца в конец за 21 день.

В этот же период рост грузоперевозок вызвал необходимость мощения дорог камнем. Долгое время каменные мостовые служили наиболее прочной дорожной одеждой. Технология сооружения мостовых была простой: по выровненному уплотненному песчаному основанию плотно укладывались специально подобранные и обработанные камни высотой 15–20 см. Затем их засыпали песком, утрамбовывали и поливали водой.

Исключительным для России того времени было становление ком-

плексного дорожного строительства именно в белорусских губерниях. Это во многом способствовало хозяйственному развитию городов, товарообмену с соседними губерниями. В 1773 г. на территории Белоруссии была начата, а в 1780-м завершена прокладка прямолнейных широких дорог, называвшихся тогда «аллеями». Они разделялись на главные почтовые, губернские, уездные и большие проезжие.

Благоустройство дорог в Белоруссии конца XVIII в., осуществлявшееся с помощью воинских команд и путем взимания больших налогов и штрафов, служило примером для других губерний Российского государства.

В ходе дальнейшего развития дорожной сети учитывались требования, предъявляемые к удобству и скорости перемещения по дорогам. Каменные мостовые площадей и улиц городов продолжались щебеночными покрытиями на загородных участках дорог. В XVIII в. прочно укореняется термин «шоссе». В начале XIX в. пассажирское сообщение между городами, осуществляемое акционерными компаниями дилижансов, становится регулярным, и через Белоруссию прокладываются два важных для Российской империи шоссе: Москва – Варшава и Санкт-Петербург – Киев общей протяженностью на белорусской территории 1150 км. Дороги устраиваются почтовыми домами, как правило, каменными, а также станционными гостинными домами на расстоянии 15–25 верст друг от друга, где содержались перекладные лошади и жили ямщики. Скорость передвижения в сутки в теплое время года составляла 60–80 км для дилижансов, 40–50 – для перекладных повозок и 15–20 км – для ломовых грузовых подвод.

Однако действовавшее веками правило, согласно которому строительство дорог осуществлялось за счет дорожной повинности, было разорительно и по экономическим мотивам неприемлемо для зарождавшейся буржуазии. И вот в 1833 г. в России издается закон, в котором по-иному сформулированы основные требования к устройству и содержанию дорог в государстве, а также определена сеть главных дорог, установлена постоянная полоса отвода.

Дороги подразделялись на пять классов:

I класс – главных сообщений (государственные);

II класс – больших сообщений;

III класс – обычных почтовых сообщений, губернские;

IV класс – обычных почтовых сообщений, уездные;

V класс – сельские и полевые.

Принятая классификация дорог сохранилась вплоть до 1918 г.

Вторая половина XIX в. характеризуется началом активной прокладки железнодорожных путей сообщения и резким уменьшением строительства дорог важных сообщений. Это, в свою очередь, изменило подход к проектированию дорог важных сообщений: максимально удешевлялись работы, отказывались от длинных прямолинейных трасс, характерных для времен Екатерины II, таких, например, как Белорусский тракт на перегонах Витебск – Орша – Могилев и Довск – Гомель.

Появление автомобилей на дорогах Белоруссии относится к началу XX ст. Их насчитывалось тогда около 300 единиц.

Накануне Первой мировой войны по территории Белоруссии проходили следующие важнейшие дороги: С.-Петербург – Динабург – Ковно; Москва – Смоленск – Минск – Брест – Варшава (обе первого класса); С.-Петербург – Витебск – Киев – Одесса; Вильно – Гродно – Белосток; Рига – Полоцк – Витебск – Смоленск; Могилев – Житомир (все четыре – второго класса).

Протяженность дорожной сети с твердым покрытием (белое щебеночное покрытие и булыжные мостовые) на территории Белоруссии в канун Первой мировой войны составляла 2041 км, ее состояние оценивалось как образцовое. Остальные дороги представляли собой естественные грунтовые пути, совершенно не пригодные для автомобильного транспорта, а в период весенне-осенней распутицы – и для гужевого.

С развитием городов и дорожной сети появились мосты и водопропускные трубы как неотъемлемая часть путей сообщения. Единственным материалом, который веками применялся при строительстве мостов, было дерево. К сожалению, его недолговечность, а также многочисленные войны, административные и ведомственные изменения не способствовали сохранению вещественных исторических памятников.

В ходе Первой мировой и Гражданской войн дорожная сеть Белоруссии была разрушена едва ли не полностью. Становление транспортного хозяйства начиналось с гужевых транспортных контор, имевшихся во всех городах и осуществлявших до 1922 г. практически все перевозки в условиях полной остановки движения по железным дорогам.

В первые годы Советской власти все дороги и водные пути были переведены на новую метрическую систему измерения расстояний: версты и сажени заменялись километрами и метрами, верстовые столбы – километровыми.

Метрическую конвенцию Россия подписала еще в 1875 г., но новая система была введена в качестве обязательной только декретом СНК РСФСР от 14 октября 1918 г.

После окончания военных действий перед страной встала задача: за короткий срок восстановить хозяйство, в том числе привести в проезжее состояние основные гужевые дороги и восстановить разрушенные мосты, начать строительство новых дорог.

До 1923 г. в СССР, в том числе и Белоруссии, сооружались в основном грунтовые дороги. Начал внедряться опыт их постройки механизированным способом. Пионерами здесь были военно-дорожные отряды, а затем работы выполнялись управлениями местного транспорта. При этом единственным средством механизации были прицепные грейдеры, волокуши. Строительство дорог в этот период осуществлялось при активном участии местного населения, с использованием конной тяги, лопат, мотыг, кирок, носилок и других простейших приспособлений. Работы велись сезонно, стадийно, с использованием ранее построенных дорожных одежд в качестве оснований.

К концу 1928 г. сеть шоссейных дорог была восстановлена до довоенного уровня. Основным видом транспорта по-прежнему оставался гужевой.

В 1920–1930 гг. понятие об автомобиле связывалось исключительно с городом. В сельской местности машина считалась редкостью, ничтожны были и междугородные автомобильные перевозки. К концу 1928 г. на территории БССР имелось 380 автомобилей, в том числе 139 легковых, 97 грузовых и 144 специальных.

В 1925 г. осуществляется регулярное автобусное движение по маршрутам Минск – Червень, Минск – Острошицкий городок, Борисов – Зембин, Слуцк – Тимковичи, Слуцк – Бобруйск, Могилев – Чаусы, Могилев – Пропойск, Гомель – Чериков общим протяжением 575 км.

Начиная с первой пятилетки (1928–1929), ведет отсчет своей истории автомобильная отрасль СССР, в том числе и Белоруссии. Ее становление идет вместе с другими хозяйственными сферами: промышленной, аграрной, строительной, добывающей. Процесс стимулировался постоянным повышением бытовых потребностей населения республики.

Однако на местах еще не хватало ремонтных мастерских, шиномонтажных пунктов, бензоколонок, ощущался острый дефицит кадров. Тем не менее рост автомобильного парка Белоруссии продолжался.

К началу Великой Отечественной войны ведущее место в перевозках грузов по-прежнему занимал железнодорожный транспорт. На его долю приходилось 93 % грузооборота и 68 % объема доставки грузов, на долю автотранспорта – 28 % от общего объема перевозок, на долю речного – 4 %. Большую роль в перевозках все еще играл гужевой транспорт: в республике насчитывалось 250 тыс. активно используемых телег.

Организация отечественного производства автомобилей и широкое использование их во всех отраслях народного хозяйства потребовали значительных капитальных вложений в дорожные работы. При этом строящиеся автомобильные дороги должны были отвечать новым требованиям автотранспорта.

В 1928–1933 гг. в Белоруссии построено более 4 тыс. км новых дорог, из них 30 % – с твердым покрытием (гравийные, белое шоссе и булыжные мостовые). Важное значение имели такие дороги, как Минск – Червень, Минск – Слуцк, Мозырь – Калинковичи, Минск – Бобруйск, Минск – Дзержинск.

В 1936 г. завершено строительство таких важных для республики автомагистралей, как Минск – Могилев и Могилев – Бобруйск, заасфальтирована дорога Минск – Орша (часть автомагистрали Москва – Минск). Любопытно, что к прокладке новых дорог по-разному относились в восточных и западных областях. Если в восточной части Белоруссии раньше стали строиться крупные современные магистрали, а проселочные дороги улучшались очень медленно, то в западной – строились главным образом дороги местного значения – узкие, мощные булыжником.

С 1930-х гг. намечается решительный поворот от строительства железных дорог к сооружению автомобильных.

Увеличение количества автомобильного транспорта потребовало создания специальной службы, обеспечивающей безопасность движения, – Государственной автомобильной инспекции (ГАИ). Она была учреждена в 1936 г. в составе Главного управления рабочей-крестьянской милиции НКВД.

Усилия, направленные на строительство и совершенствование дорожной сети, дали свои плоды. Протяженность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием в конце второй пятилетки (1937) составляла 3,9 тыс. км, а в 1940 г. – 11,2 тыс. км, из них с усовершенствованным покрытием – 220 км.

По областям протяженность дорог с твердым покрытием выглядела

в конце 1940 г. так: Брестская область – 1,4 тыс. км; Витебская – 2,7 тыс. км; Гомельская – 0,7 тыс. км; Гродненская – 2,3 тыс. км; Минская – 3,2 тыс. км; Могилевская – 0,9 тыс. км. В целом по этому показателю Белоруссия занимала четвертое место в СССР после Российской Федерации, Украины и Литвы. На 1000 км² территории республики приходилось 53,9 км дорог с твердым покрытием.

Невиданные масштабы военных действий развернулись с первых дней Великой Отечественной войны на огромной территории и привели к большим трудностям на фронтовых дорогах. Возникшая напряженность превзошла все ожидания. Отступление войск и одновременно эвакуация гражданского населения и имущества вглубь страны создали на дорогах перегрузки и заторы.

К осени 1941 г. на оккупированной гитлеровцами территории оказалась основная сеть автомагистралей европейской части страны. Тылы фронтов и армия базировались на пространствах, почти не имеющих дорог с твердым покрытием. В этот трудный для страны период и были созданы дорожные войска.

В 1942 г. Совет Народных Комиссаров БССР принял постановление «О мерах по приведению в порядок проезжих дорог и мостов в освобожденных районах БССР». Основная задача, возложенная на дорожников, заключалась в обеспечении проезда военной техники и прохождения войск. Широко применяемые хворостяные выстилki и жердевые настилы не выдержали нагрузки, и с 1942 г. дорожные части перешли к постройке колеино-лежневых дорог. Для заболоченных и лесных районов деревянная колея стала основным типом дорожного покрытия.

В период между наступательными действиями дорожные войска занимались восстановлением разбитых дорог и мостов. Так, из местного гравийного материала было построено, например, твердое покрытие автомобильной дороги Смоленск – Витебск, при форсировании Днепра наведено 119 переправ протяженностью 3 тыс. м.

В 1943 г. дорожники приступили к массовому строительству деревянных мостов. К 1 сентября 1944 г. было построено 1388 мостов общей длиной 12941 м и 7107 пог. м капитально отремонтировано.

1.2. Состояние и перспективы дорожного строительства

От технического уровня и состояния автомобильных дорог во многом зависит эффективность работы автотранспорта. Качество дорог –

проблема многоплановая и сложная. Решение ее неразрывно связано с научно-исследовательскими, проектно-изыскательскими и конструкторскими работами; технологией, организацией и культурой производства; применением новых прогрессивных проектных решений; внедрением комплексной механизации и автоматизации работ; функционированием системы контроля качества материалов, изделий, конструкций и готовой продукции; планированием и управлением дорожными работами на основе экономико-математических методов.

Республику Беларусь можно отнести к государствам с развитой сетью автомобильных дорог.

Сеть автомобильных дорог как совокупность всех дорог на территории страны, области, района, обслуживающих все отрасли хозяйства региона, внешние сношения с другими регионами, а также транзитное движение, представлена республиканскими магистральными дорогами: М1/Е30-М12; другими республиканскими дорогами: Р1-Р149, подъездами к дорогам с индексами М: городам, аэропортам, санаторию «Радон», к мемориальному комплексу «Хатынь», а также местными дорогами с индексом Н.

Количество легкового транспорта в составе потока составляет 40–85 %. На транзитных маршрутах доля автопоездов находится в пределах 5–35 %.

Для сети характерно увеличение сроков службы дорожно-мостовых сооружений без капитального ремонта, старение материалов элементов конструкций, интенсификация процессов внутреннего структурного повреждения, усугубляемого влиянием усталости за счет накопления проходов автотранспортных средств за длительное время. Средние сроки службы дорожных покрытий возросли с 10 лет в 1991 г. до 16 лет в 1999 г.; мостов и путепроводов – соответственно с 17 до 25 лет. Интервалы распределения этих сроков составляют от 2 до 35 лет для дорожных покрытий; от 5 до 65 лет – для мостовых сооружений.

Уровень развития производительных сил региона и транспортную доступность характеризует способность дорожной сети обеспечить доступ в зоны деятельности населения, а также к социально-бытовым объектам. Показателем транспортной доступности является средняя продолжительность поездки по маршруту и в целом для сети дорог соответствующего уровня. Для его расчета выполняется системный анализ состояния дорожных покрытий, мостов и путепроводов, транспортных потоков, возможных маршрутов движения, факторов, ограни-

чивающих скорости движения, возможные сезонные перерывы движения; вычисляя скорости движения и время в пути; по отдельным маршрутам разной протяженности определяют средневзвешенную величину продолжительности поездки в целом по сети.

Влияние на состояние дорог оказывает не только транспорт, но и природно-климатические условия. Наиболее интенсивно воздействию динамических нагрузок и погодно-климатических факторов подвержено покрытие. Климатические условия Беларуси по содержанию покрытий являются неблагоприятными. Влажная зима, частые переходы температуры через ноль в комплексе с воздействием транспорта оказывают на покрытие разрушительное воздействие.

Это требует нового подхода к эксплуатации дорог, поскольку первостепенное значение приобретает как обеспечение безопасного и комфортного движения, так и предотвращение преждевременного снижения основных транспортно-эксплуатационных качеств дороги. При анализе технического и транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог необходимо учитывать достижения отечественной и зарубежной науки, а также прогрессивный опыт, который накоплен в проектных и производственных организациях Республики Беларусь. Особое внимание заслуживают теоретические положения, которые сформулированы в трудах профессоров А. К. Бирули, А. П. Васильева, Н. Н. Иванова, М. Б. Корсунского, М. В. Немчинова, В. М. Сиденко, В. В. Сильянова и других ученых.

Дорожное хозяйство Республики Беларусь является неотъемлемой частью единой транспортной системы страны, обеспечивает конституционное право граждан на свободу передвижения и является одной из важнейших отраслей экономики республики, обслуживающей общегосударственные и региональные нужды. Наличие развитой и благоустроенной сети дорог рассматривается как необходимое и неотъемлемое условие социально-экономического развития государства, поскольку работа производственных, торговых и других структур непосредственно зависит от состояния и надежности автодорожной сети.

Наличие совершенной сети дорог является одной из важных предпосылок развития и совершенствования экономики страны. В мировой истории нет примеров прогрессивного поступательного развития государств, не имевших достаточного количества добротных дорог. Поэтому становится понятным, что в XXI в. одним из важнейших приоритетов и богатств Республики Беларусь будут автомобильные дороги.

Во все времена строительство дорог являлось генератором экономического развития государства. Дорожные традиции Беларуси уходят своими корнями во времена образования Полоцкого, Туровского, Пинского княжеств и Великого Княжества Литовского. Занимая важное географическое положение, Беларусь издавна служила перекрестком транзитных путей сообщения с запада на восток и с севера на юг. Именно с дороги, с великого пути «Из варяг в греки» начиналась цивилизация белорусской земли.

В современной Беларуси дорогам всегда придавалось особое значение, поскольку осознавалась их важнейшая роль, учитывая транзитный характер территории государства, predetermined историей и его географическим положением.

Таким образом, история говорит о том, что транспортная система (и прежде всего автомобильные дороги) должна не следовать за развитием экономики, а по возможности опережать и стимулировать ее развитие.

Развитие экономики любого государства невозможно представить без наличия нормально работающей системы магистральных и местных дорог, осуществляющих доставку грузов и пассажиров «от двери до двери», т. е. от отправителя до получателя, строго в заданные сроки и с высокой степенью сохранности.

2. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ДОРОГИ

2.1. Определение интенсивности движения по проектируемой дороге

Интенсивность движения – количество транспортных средств, проезжающих по дороге в единицу времени. При исчислении интенсивности движения на внутрихозяйственных дорогах учитывают не только число автомобилей, но и число тракторов, сельскохозяйственных машин, мотоциклов, гужевого транспорта.

Интенсивность движения зависит от многих факторов: грузонапряженности, неравномерности и продолжительности перевозок, коэффициента использования пробега, грузоподъемности автомобиля, повторности перевозок и др.

Для получения данных о фактической интенсивности движения транспортных средств на существующих дорогах выполняют натурные наблюдения. Учет движения можно проводить без остановки автомобилей и с кратковременной остановкой. Выяснение сведений в случае остановки можно осуществлять путем устного опроса водителей; вручения водителям почтовых открыток-анкет с просьбой заполнить их на месте или отправить почтой по указанному адресу. Продолжительность учета зависит от требуемой точности получаемой информации, учет может быть круглосуточным или трехчасовым. Учет движения желательно проводить в месяцы наибольшей загрузки дорог.

Перспективную интенсивность движения можно определить по формуле

$$N_t = N_0 (1 + 0,01p)^{t-1}, \text{ авт/сут}, \quad (2.1)$$

где N_0 – начальная интенсивность движения, авт/сут;

Согласно [8, п. 4.10] за расчетную интенсивность движения следует принимать среднегодовую суточную интенсивность движения механизированных транспортных средств (ед/сут) суммарно в обоих направлениях за последний год перспективного периода;

p – ежегодный прирост интенсивности (по заданию), %;

t – расчетный период ($t = 20$ лет).

По полученной по формуле (2.1) расчетной интенсивности движения автомобилей категорию дороги определяют с помощью табл. 2.1.

Интенсивность движения непостоянна в течение суток и резко

снижается в ночное время. Не остается она постоянной и в течение года и дней недели. На дорогах сельскохозяйственных районов в периоды уборки урожая объем перевозок, а следовательно, и интенсивность движения значительно возрастают. В праздничные дни движение грузовых автомобилей уменьшается, а легковых, наоборот, увеличивается. В связи с отмеченными частыми колебаниями интенсивности движения на дорогах ее можно надежно характеризовать только средними значениями за расчетный период времени.

При проектировании дорог движение чаще всего характеризуют средним за год, месяц «пик» количеством автомобилей, проезжающих по участку в сутки, называемым средней суточной интенсивностью движения за расчетный период.

Средняя суточная интенсивность движения транспортных средств на каждом перегоне дороги устанавливается на основе данных грузо-пассажиро-напряженности и структуры автомобильного парка и составляет

$$N_{cc} = N_{гр} + N_{л} + N_{с} + N_{а} + N_{х}, \quad (2.2)$$

где $N_{гр}$, $N_{л}$, $N_{с}$, $N_{а}$, $N_{х}$ – интенсивность движения соответственно грузовых, легковых и специальных автомобилей, автобусов и автомобилей осуществляющих хозяйственные перевозки авт/сут.

Интенсивность движения грузовых автомобилей

$$N_{гр} = \frac{Q_{п} \cdot K_{нт}}{q_{ср} \cdot K_{п} \cdot K_{г} \cdot T_{р}}, \quad (2.3)$$

где $Q_{п}$ – перспективная грузонапряженность (объем перевозимых грузов), нетто-тонн за расчетный период (год, месяц и т. п.);

$K_{нт}$ – коэффициент неучтенных грузов по хозяйственно эксплуатационному обслуживанию населения;

$q_{ср}$ – средневзвешенная грузоподъемность автомобилей, т;

$K_{п}$ – коэффициент использования пробега автомобилей $K_{п} = 0,9$;

$K_{г}$ – коэффициент использования грузоподъемности $K_{г} = 0,85$ автомобилей;

$T_{р}$ – расчетное число дней работы автомобильного транспорта в расчетном периоде (год, месяц и т. п.).

Величина $K_{нт}$ принимается в зависимости от уровня развития района строительства, а именно:

1,45 – для дорог с высоким уровнем производительных сил, наибо-

лее густонаселенных, с небольшим расстоянием между населенными пунктами (10 км и менее);

1,30 – для дорог в районах со средним уровнем производительных сил, со средней плотностью населения, с расстоянием между населенными пунктами 10–25 км;

1,20 – для дорог в районах со слабым уровнем производительных сил, с малой плотностью населения и редким расположением населенных пунктов, более 25 км друг от друга.

Среднюю грузоподъемность автомобилей определяют по формуле

$$q_{\text{ср}} = q_1\alpha_1 + q_2\alpha_2 + \dots + q_n\alpha_n, \quad (2.4)$$

где $q_1, q_2, \dots, q_n$ – грузоподъемность различных марок автомобилей, т. д.; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – доля автомобилей различных марок в составе потока грузовых автомобилей.

Средневзвешенные коэффициенты использования грузоподъемности и пробега определяют по аналогичным формулам:

$$K_r = \sum \alpha_i \cdot K_{ri}; \quad (2.5)$$

$$K_{\text{ипп}} = \sum \alpha_i \cdot K_{\text{ипп}i}. \quad (2.6)$$

Интенсивность движения автомобилей, обеспечивающих хозяйственные перевозки, специальных, легковых и автобусов можно определить по зависимостям

$$N_x = aN_{\text{гр}}; \quad (2.7)$$

$$N_c = bN_{\text{гр}}; \quad (2.8)$$

$$N_d = c(N_{\text{гр}} + N_x + N_c); \quad (2.9)$$

$$N_a = d(N_{\text{гр}} + N_x + N_c). \quad (2.10)$$

Значение коэффициентов a, b, c, d принимают в соответствии с экономическим развитием обследуемого района:

$a = 0,35$ – для густонаселенных районов с высокопроизводительными силами и расстояниями между населенными пунктами до 10 км;

$a = 0,25$ – для районов со средним развитием производительных сил и средней плотностью заселения при расстояниях между населенными пунктами 10–25 км;

$a = 0,15$ – для районов со слабым развитием производительных сил, малой плотностью заселения при расстояниях между населенными пунктами более 25 км;

$b = 0,1$ – для районов с высокоразвитой промышленностью;
 $b = 0,05$ – для районов со средней и слаборазвитой промышленностью;

$c = 1,25, d = 0,25$ – для курортных районов, мест массового отдыха и туризма;

$c = 0,25, d = 0,05$ – для слаборазвитых в промышленном отношении районов с малой плотностью заселения и расстояниями между населенными пунктами 25 км и более.

Интенсивность движения рассчитывают для каждого укрупненного перегона проектируемой сети дорог исходя из размеров грузо-пассажиро-напряженности отдельных перегонов, состава движения автомобилей и показателей их работы.

Расчетная среднемесячная интенсивность движения связана со среднегодовой суточной зависимостью

$$N_{\text{см}} = N_{\text{сс}} \cdot K_{\text{общ}}, \quad (2.11)$$

где $N_{\text{сс}}$ – средняя суточная интенсивность движения транспортных средств;

$K_{\text{общ}}$ – обобщенный коэффициент, учитывающий среднюю грузо-подъемность грузовых автомобилей и их долю в транспортном потоке, неравномерность по месяцам года и часам суток, рельеф местности и расстояние между развязками движения
 $K_{\text{общ}} = 1,5-1,6$.

Обычно при оценке условий работы дороги интенсивность движения выражают в фактическом количестве проходящих автомобилей, независимо от их типов. В этом есть условность, так как проезд по дороге с малой скоростью нескольких автопоездов с тяжелыми прицепами неэквивалентен по продолжительности проезду равного числа быстроходных легковых автомобилей. Иногда для уточнения в составе движения указывают долю легковых, грузовых автомобилей и автобусов.

Поэтому для характеристики количества автомобилей, которые дорога может пропустить, фактическую интенсивность движения обычно приводят к эквивалентному количеству легковых автомобилей. Для этого вводят коэффициенты приведения, характеризующие, сколько легковых автомобилей могло бы проехать по участку дороги за время проезда одного грузового автомобиля или автопоезда. Тогда приведенная к легковому автомобилю интенсивность движения определяется по формуле

$$N^{\text{пр}} = (N_{\text{гр}} + N_{\text{л}} + N_{\text{а}} + N_{\text{с}} + N_{\text{х}}) K_{\text{ср}}^{\text{пр}}, \quad (2.12)$$

где $N_{гр}$, $N_{л}$, N_a , N_c , N_x – интенсивность движения соответственно грузовых, легковых и специальных автомобилей, автобусов и автомобилей, осуществляющих хозяйственные перевозки, авт/сут;

$K_{ср}^{пр}$ – средний коэффициент приведения интенсивности движения различных транспортных средств к легковому автомобилю.

Средний коэффициент приведения интенсивности движения к легковому автомобилю определяют по формуле

$$K_{ср}^{пр} = K'_{пр} \cdot \alpha_1 + K''_{пр} \cdot \alpha_2 + \dots + K^n_{пр} \cdot \alpha_n, \quad (2.13)$$

где $K'_{пр}$, $K''_{пр}$, ..., $K^n_{пр}$ – коэффициенты приведения для различных транспортных средств (для легковых автомобилей $K_{пр} = 1$ (табл. 2.1);

α_1 , α_2 , ..., α_n – доля различных транспортных средств в составе потока движения.

Т а б л и ц а 2.1. Коэффициенты приведения интенсивности движения различных транспортных средств к легковому автомобилю

Тип транспортного средства	Грузоподъемность, т	Коэффициент приведения
Легковой автомобиль, мотоцикл, микроавтобус	–	1,0
Грузовой автомобиль	До 2 включ.	1,3
	Св. 2 до 6 включ.	1,4
	Св. 6 до 8 включ.	1,6
	Св. 8 до 14 включ.	1,8
	Св. 14	2,0
Автопоезд	До 12 включ.	1,8
	Св. 12 до 20 включ.	2,2
	Св. 20 до 30 включ.	2,7
	Св. 30	3,2
Автобус малой вместимости	–	1,4
Автобус средней вместимости	–	2,5
Автобус большой вместимости	–	3,0
Сочлененный автобус и троллейбус	–	4,6

П р и м е ч а н и е. Коэффициенты приведения для специальных автомобилей следует принимать как для базовых автомобилей соответствующей грузоподъемности.

2.2. Установление технической категории автомобильной дороги

Ориентировочно категория дороги назначается по перспективной интенсивности движения N_t :

$$N_t = N_0 (1 + 0,01 p)^{t-1}, \text{ авт/сут,} \quad (2.14)$$

где N_0 – начальная интенсивность движения, авт/сут;

p – ежегодный прирост интенсивности (по заданию), %;

t – расчетный период ($t = 20$ лет).

Категорию внутрихозяйственной дороги и основные параметры для ее проектирования принимают по СН 3.03.04-2019 [8]. По полученной формуле (2.14) расчетной интенсивности движения автомобилей категорию дороги определяют с помощью табл. 2.2.

Таблица 2.2. Параметры дороги в зависимости от класса

Класс автомобильной дороги	Категория автомобильной дороги	Расчетная интенсивность движения, ед/сут	
		для республиканских дорог	для местных дорог
Автомагистраль	I-а	Св. 8000	–
Скоростная дорога	I-б	Св. 10 000	–
Обычная дорога	I-в	Св. 10 000	Св. 10 000
	II	» 5000 до 10 000 включ.	» 7000 до 10 000 включ.
	III	» 2000 » 5000 »	» 3000 » 7000 »
	IV	» 200 » 2000 »	» 400 » 3000 »
	V	» 200 »	» 100 » 400 »

Основные характеристики и параметры классификационных признаков, используемых при классификации дорог, приведены в табл. 2.3.

Категорию автомобильных дорог необходимо назначать в зависимости от функционального назначения дороги и наибольшей расчетной интенсивности движения (часовой или суточной).

Наибольший допустимый продольный уклон проектируемой дороги определяют из условия равномерного движения автомобиля на подъеме. Расчет выполняется для автомобилей заданных марок в задании. Сравнивается с нормативными значениями и принимается для проектирования меньшее значение [8, п. 5.3.2, п. 5.3.4, табл. 10].

В качестве составляющих элементов плана и продольного профиля трассы дороги следует применять кривые как постоянного, так и переменного радиуса линейной или нелинейной функции, а также прямые.

В качестве основного составляющего элемента плана трассы прямые следует применять только при реконструкции. При назначении элементов плана и продольного профиля в качестве основных параметров следует принимать: продольный уклон – не более 30 %.

Т а б л и ц а 2.3. Основные характеристики и параметры классификационных признаков, используемых при классификации дорог

Класс автомобильной дороги	Категория автомобильной дороги	Наличие центральной разделительной полосы	Пересечения с другими транспортными коммуникациями		Доступ на дорогу с примыканий в одном уровне
			с автомобильными дорогами	с железными дорогами и трамвайными путями	
Автомагистраль	I-а	Обязательно	В разных уровнях		Разрешается без пересечения прямого направления движения
Скоростная дорога	I-б				
Обычная дорога	I-в	Обязательно	Разрешается в одном уровне с реализацией дополнительных мер по организации движения	В разных уровнях	Разрешается без пересечения прямого направления движения
	II	Отсутствует			
	III				
	IV				
	V				
Дорога низшей категории	VI-а	Отсутствует	В одном уровне	Разрешается в одном уровне	Разрешается
	VI-б				

Если по условиям местности не представляется возможным выполнение условий по [8, п. 5.3.2] или их выполнение связано со значительными объемами работ и стоимостью строительства, то при обосновании следует применять предельные нормы проектирования по [8, п. 5.3.4, табл. 3]. Сочетание на одном отрезке трассы предельных норм для принятой расчетной скорости параметров плана и продольного профиля не допускается.

Зависимость параметров дороги от расчетной скорости представлена в табл. 2.4.

Таблица 2.4. Зависимость параметров дороги от расчетной скорости

Расчетная скорость, км/ч	Наибольший продольный уклон, ‰	Наименьшее расстояние видимости для остановки, м	Наименьший радиус кривых в плане, м	Наименьший радиус кривых в продольном профиле, м	
				выпуклой	вогнутой
140	40	350	1200	25 000	8000
120	40	250	800	15 000	5000
100	50	200	600	10 000	3000
90	55	175	450	7500	2500
80	60	150	300	5000	2000
60	70	85	150	2500	1500
40	90	55	60	1000	1000

Примечания: 1. Увеличение наибольшего продольного уклона для расчетной скорости от 60 до 120 км/ч в точке сопряжения вертикальных кривых не должно превышать 5 ‰.

2. При других значениях уклона выража наименьшие радиусы кривых в плане следует рассчитывать по формуле (2.24).

Продольный уклон зависит от рельефа местности. Наибольшие допустимые продольные уклоны дороги определяются ее категорией и эксплуатационными требованиями. Если по дороге предполагается движение большегрузных автомобилей с прицепами, продольные уклоны не должны превышать 70 ‰. Для улучшения эксплуатационных показателей дорогу всегда стремятся проектировать с возможно меньшими продольными уклонами.

Наибольший допустимый продольный уклон дороги определяется из условия равномерного движения автомобиля на подъеме по формуле

$$i_{\max} = D_{\max} - f, \quad (2.15)$$

где $D_{\max}$ – динамический фактор автомобиля при расчетной скорости (коэффициент), определяется по графикам динамических характеристик. Для автомобилей типа МАЗ можно принять 0,06; для КАМАЗ – 0,06; для ГАЗ – 0,046;

f – коэффициент сопротивления качению принимается в зависимости от типа покрытия (асфальтобетонное 0,01).

Для каждого типа автомобиля определяется динамический фактор, при этом должно выполняться условие обеспечения сцепления с покрытием

$$D_{\max} \leq D'. \quad (2.16)$$

Динамический фактор по сцеплению колес автомобиля с покрытием рекомендуется рассчитывать для неблагоприятных условий движения на мокром и загрязненном покрытии по формуле

$$D' = \varphi \cdot \frac{G_{\text{сц}}}{G} - \frac{P_w}{G}, \quad (2.17)$$

где φ – коэффициент сцепления колес автомобиля с покрытием, для влажного, грязного покрытия и неблагоприятных условий движения ($\varphi = 0,3$);

$G_{\text{сц}}$ – сцепная масса автомобиля $(0,65\text{--}0,75)G$, т;

G – масса автомобиля в груженом состоянии, т;

P_w – сила сопротивления воздушной среды, кг, которая определяется по следующей зависимости:

$$P_w = \frac{K \cdot F \cdot v^2}{13}, \quad (2.18)$$

где K – коэффициент сопротивления воздуха. Для грузовых автомобилей – $0,06\text{--}0,07$; для автобусов – $0,04\text{--}0,06$; для легковых автомобилей – $0,025\text{--}0,035$;

F – площадь лобовой проекции автомобиля, грузовых – $3,0\text{--}5,5 \text{ м}^2$; автобусов – $4,5\text{--}6,5$; легковых – $1,4\text{--}2,6 \text{ м}^2$;

v – расчетная скорость движения, км/ч.

Проверяется условие сцепления автомобиля с покрытием. За расчетный уклон принимаем меньший.

Параметры дороги в зависимости от ее категории представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Параметры дороги в зависимости от ее категории

Категория дороги	I-а	I-б, I-в, II	III	IV	V
Расчетная скорость, км/ч (основная)	140	120	100	90(80)	60
$R_{\text{выпмин}}, \text{ м}$	25000	15000	8000	4000	1500
$R_{\text{вогмин}}, \text{ м}$	8000	6000	4000	2500	1500
Уклон $i_{\text{тах}}$, ‰	40	40	50	60	70

Примечание. В стесненных условиях допускается проектировать отдельные участки дорог с допускаемыми расчетными скоростями, меньшими приведенных в табл. 2.3 на 20 км/ч.

Расчетную скорость, км/ч, для дорог категории IV следует принимать:

90 – при капитальном или облегченном типе дорожной одежды;

80 – при переходном типе дорожной одежды.

Расчетную скорость 60 км/ч для дорог категории IV следует принимать в случаях, предусмотренных [8, п. 5.1.2], или при расчетной интенсивности движения не более 500 ед/сут и переходном типе дорожной одежды.

Расстояния видимости на дорогах определяют по [8, с. 28–29].

Для безопасности движения с требуемой скоростью водитель должен видеть перед собой дорогу на расстоянии, достаточном для своевременной остановки автомобиля перед препятствием или его объезда. Это расстояние называется расчетным расстоянием видимости (рис. 2.1).

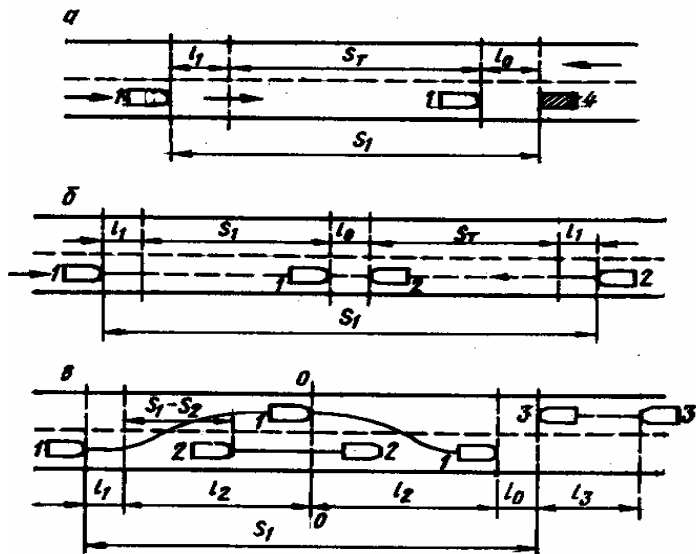


Рис. 2.1. Расчетные схемы к определению видимости:

a – поверхности дороги; *б* – встречного автомобиля; *в* – при обгоне легковым автомобилем грузового; 1, 2, 3 – автомобили; 4 – препятствие

По первой схеме расчетное расстояние видимости поверхности дороги S_1 определяют по формуле

$$S_1 = \frac{v_p \cdot t_p}{3,6} + \frac{K_3 \cdot v_p^2}{254(\varphi_1 \pm i)} + l_{3,6}, \quad (2.19)$$

где V_p – расчетная скорость движения автомобиля для дороги принятой технической категории, принимается по табл. 2.2, км/ч;

t_p – время реакции водителя и включения тормозов, можно принять $t_p = 2,6$ с;

K_3 – коэффициент, учитывающий эффективность действия тормозов, величину которого можно принять равной 1,3 для легковых автомобилей и 1,85 для остальных;

φ_1 – коэффициент продольного сцепления ($\varphi_1 = 0,4-0,5$);

i – продольный уклон участка дороги, равный максимально допустимому для принятой категории дороги [8, табл. 3];

$l_{3,6}$ – зазор безопасности между автомобилем и препятствием ($l_{3,6} = 5$ м).

Расчетное расстояние видимости из условия торможения двух автомобилей, движущихся навстречу друг другу, определяют по формуле

$$S_2 = \frac{v_p \cdot t_p}{1,8} + \frac{K_3 \cdot v_p^2 \cdot \varphi_1}{127(\varphi_1^2 - i^2)} + l_{3,6}. \quad (2.20)$$

Расчетное расстояние видимости при обгоне грузового автомобиля легковым определяется по следующей формуле

$$S_3 = v_1^2 / [1,8(v_1 - v_2)] + K_3 \cdot v_1(v_1 + v_2) / (127 \cdot \varphi_1) + [K_3 \cdot v_2^2 / (254 \cdot \varphi_1) + l_{3,6}] \cdot 2 v_1 / (v_1 - v_2), \text{ м}, \quad (2.21)$$

где v_1, v_2 – скорости движения легкового и грузового автомобилей, км/ч.

$$v_2 = 0,7v_1, \text{ км/ч}. \quad (2.22)$$

При обгоне легковым автомобилем грузового скорость последнего на 30 % ниже конструктивной (по заданию). Встречный автомобиль (легковой) движется со скоростью не выше 90 км/ч на дорогах I-б, I-в, II и III категории и не выше расчетной на дорогах IV, V категории.

Как на закруглениях, так и на прямых участках дорог, по местным условиям возможно внезапное появление на дороге людей и животных, например, вблизи населенных пунктов, должна быть обеспечена боковая видимость придорожной полосы. Во всех случаях не разрешается посадка деревьев ближе 5 м от кромки проезжей части. Телеграф-

ные столбы, мачты и линии электропередач располагают не ближе 2,5 м.

Боковая видимость вычисляется по формуле

$$S_{\text{бок}} = \frac{2S_1 v_{\text{п}}}{v_{\text{р}}}, \quad (2.23)$$

где $v_{\text{п}}$ – скорость бегущего пешехода, пересекающего дорогу, можно принять $v_{\text{п}} = 10$ км/ч;

$v_{\text{р}}$ – скорость движения автомобиля, км/ч;

S_1 – расчетное расстояние видимости поверхности дороги, м.

По нормам [8, п. 5.3.4, табл. 10] расчетное расстояние видимости поверхности дороги равно 350, 250, 200, 175, 150, 85 и 55 м для расчетных скоростей 140, 120, 100, 90, 80, 60 и 40 км/ч соответственно.

Расчетное расстояние видимости по второй схеме не нормируется.

Боковая видимость для дорог согласно норм [8, п. 5.3.3] При пересечении автомобильных дорог категорий, I-а – II с путями миграции диких животных для их пропуска следует предусматривать устройство специальных сооружений и установку защитных (направляющих) конструкций. Места установки указанных сооружений должны соответствовать расположению основных миграционных коридоров диких животных.

На дорогах категорий III и IV необходимо обеспечить боковую видимость прилегающей к дороге полосы на расстоянии не менее 15 м от кромки проезжей части, не менее 10 м – для категории V, а также применять организационные мероприятия по ограничению режима, скорости и времени движения дорожными знаками и иными средствами регулирования движения.

Полученное значение расчетного расстояния видимости S_1 и $S_{\text{бок}}$ сопоставляется с нормами, и для дальнейшего проектирования принимаются большие значения.

Наименьшая расчетная видимость регламентируется [8] и техническими условиями на проектирование.

Радиусы горизонтальных и вертикальных кривых рассчитывают по [8, п. 5.3.6].

Наименьшие радиусы вертикальных выпуклых и вогнутых кривых регламентируются строительными нормами.

Минимальный радиус вертикальной выпуклой кривой (м) определяется из условия обеспечения видимости поверхности дороги по формуле

$$R_{\text{вып. min}} = \frac{S_1^2}{2 \cdot (\sqrt{d_1} + \sqrt{d_2})^2}, \quad (2.24)$$

где S_1 – расстояние видимости поверхности дороги, м;

d_1 – высота глаза водителя легкового автомобиля над поверхностью дороги, можно принять $d_1 = 1,0$ м;

d_2 – высота препятствия, можно принять $d_2 = 0,15$ м.

Рекомендуемый радиус вертикальной выпуклой кривой вычисляется по условию обеспечения безопасности обгона

$$R_{\text{вып. рек}} = \frac{S_3^2}{2 \cdot (\sqrt{d_1} + \sqrt{H})^2}, \quad (2.25)$$

где S_3 – расчетное расстояние видимости по условию обгона, м;

H – высота встречного легкового автомобиля (1,45 м).

Минимальный радиус вертикальной вогнутой кривой определяем из условия недопущения перегрузки рессор:

$$R_{\text{вог. min}} = \frac{v^2}{13 \cdot a_0}, \quad (2.26)$$

где v – расчетная скорость для принятой категории дороги;

a_0 – допускаемое центробежное ускорение, $a_0 = 0,5\text{--}0,7$ м/с.

Рекомендуемый радиус вертикальной вогнутой кривой определяют из условия обеспечения видимости дороги ночью

$$R_{\text{вог. рек}} = \frac{S_1^2}{2(h_\phi + S_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2})}, \quad (2.27)$$

где h_ϕ – возвышение фар над дорогой, можно принять $h_\phi = 0,7$ м;

α – угол рассеивания пучка света, можно принять $\alpha = 2^\circ$.

Вычисленные по формулам (2.24)–(2.28) значения радиусов округляют с точностью до 5 м в большую сторону, сопоставляют с нормами (см. табл. 2.3). Для дальнейших расчетов принимают большие значения радиусов вертикальных кривых.

Расстояние между вершинами разноименных переломов проектной линии – шаг проектирования – на равнинной местности устанавливается для дорог соответствующей категории.

2.3. Горизонтальные кривые

Минимальный радиус горизонтальной кривой вычисляют для случаев односкатного (вираж) и двухскатного поперечных профилей проезжей части по формуле [8, п. 5.3.6].

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127(\mu \pm i_n)}, \text{ м}, \quad (2.28)$$

где v – расчетная скорость для дороги принятой категории, км/ч;

μ – коэффициент поперечной силы по условиям удобства пассажиров:

$$\mu = 0,2 - 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot v, \quad (2.29)$$

i_n – поперечный уклон проезжей части в долях единицы, для виража принимается со знаком «плюс», для двухскатного поперечного профиля – со знаком «минус».

Максимальный уклон виража по нормам [8] составляет 40 % в северном дорожно-климатическом районе, 45 % в центральном и 50 % в южном. Деление территории Республики Беларусь приведено в прил. И.

Поперечный уклон проезжей части с двухскатным поперечным профилем зависит от типа покрытия (на дорогах II–V категории в курсовом проекте принимается равным 0,020, на дорогах I категории – 0,025).

Вычисленные по формуле (2.29) значения радиусов округляют в большую сторону с точностью до 5 м. Минимальный радиус кривых в плане в случае виража ($i = i_n$) принимается равным полученному по формуле (2.29).

Минимальный радиус круговой кривой в случае двухскатного поперечного профиля проезжей части ($i = i_n$) принимается равным согласно табл. 2.6.

На прямых участках дорог и на участках кривых в плане с радиусами, при которых не требуется устройство виража, проезжую часть следует предусматривать с двускатным поперечным профилем. Поперечные уклоны проезжей части для асфальтобетонных и цементобетонных покрытий, а также для покрытий, укрепленных органическими и неорганическими вяжущими на двухполосных дорогах следует принимать 20–25 %, на многополосных – 25 %; для гравийных, щебеночных покрытий и для мостовых – 30–40 %.

Поперечный уклон обочины следует принимать на 10–20 % больше поперечного уклона проезжей части.

На участках кривых в плане согласно [8, п. 5.2.11], радиусы кривизны которых меньше значений, приведенных в табл. 2.6, следует предусматривать устройство проезжей части с односкатным поперечным профилем (виражом).

Таблица 2.6. Критерии расчетной скорости и радиуса кривизны дороги для принятия типа поперечного профиля дороги

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60	40
Радиус кривой, м	$\frac{3000}{—}$	$\frac{2000}{—}$	$\frac{2000}{—}$	$\frac{2000}{600}$	$\frac{1000}{600}$	$\frac{—}{400}$

Примечание. В числителе приведены значения для дорог с дорожной одеждой капитального и облегченного типов, в знаменателе – для дорог с дорожной одеждой переходного и низшего типов.

Вираз следует начинать с уклона, равного уклону проезжей части на прямой, в точке с радиусом кривой, соответствующим значениям, приведенным в табл. 2.6, с доведением до максимального уклона, назначаемого на участке круговой кривой в соответствии с табл. 2.7. В случае недостатка места для перехода от двускатного поперечного профиля к односкатному точку начала виража следует смещать.

Таблица 2.7. Зависимость уклона виража от минимального радиуса круговой кривой

Уклон виража I-в, %	Минимальный радиус круговой кривой, м, соответствующий уклону виража I-в, для категории автомобильной дороги			
	I-а	I-б–IV	V (с дорожными одеждами капитального и облегченного типа)	IV, V (с дорожными одеждами переходного и низшего типа)
20 (25)	1330	850	540	—
30	1240	800	510	300
40	1150	750	480	280
50	1060	700	450	260

Примечание. При применении радиусов, менее приведенных в таблице, следует принимать максимальные уклоны виража, которые соответствуют следующим значениям: 40 % – в северном дорожно-климатическом районе, 45 % – в центральном и 50 % – в южном. Деление территории Республики Беларусь на дорожно-климатические районы производится в соответствии с прил. Е.

2.4. Расчет ширины проезжей части и дорожного полотна

Ширина проезжей части определяется на основе выбранной по нормативным документам ширины полосы движения для данной категории дороги. Назначение ширины проезжей части автомобильной дороги – задача технико-экономическая. На автомобильных дорогах с малой интенсивностью движения для снижения расходов на строительство дороги принимают меньшую ширину полосы движения, сознательно предусматривая необходимость снижения скорости при многочисленных встречах автомобилей. В сложных условиях и на внутрихозяйственных дорогах (категорий VI-а и VI-б) иногда допускают строительство дорог с проезжей частью на одну полосу движения с устройством специальных уширений, на которых один из автомобилей ожидает проезда встречного. С каждого уширения дороги должно быть видно следующее уширение.

При проектировании первоначально устанавливают количество и ширину полос движения, составляющих проезжую часть автомобильной дороги. После этого вычисляют ширину проезжей части дороги и ширину дорожного полотна.

В соответствии с [8] на дорогах I технической категории принимают четыре полосы движения и более, на дорогах II–V категории устраивают две полосы движения. На дорогах категорий I-а, I-б, I-в следует предусматривать шесть полос движения: при расчетной интенсивности движения 30 000 авт/сут – в случае дороги I-а категории, 40 000 авт/сут – в случае дорог I-б и I-в категорий. На участках дорог с двухполосной проезжей частью и расчетной интенсивностью движения свыше 1000 авт/сут при продольном уклоне более 30 ‰ и длине участка свыше 1 км, а при уклоне более 40 ‰ и длине участка свыше 0,5 км следует предусматривать дополнительные полосы в сторону подъема.

Ширина проезжей части на двухполосных дорогах для случая встречного движения двух грузовых автомобилей или автобусов:

$$b = a_k + c_k + z_b + z_{k1} + z_{k2}, \text{ м}, \quad (2.30)$$

где a_k , c_k – ширина кузова и колея грузового автомобиля или автобуса, принимают по заданию;

z_b – зазор безопасности между кузовами встречных автомобилей или автобусов, зависит от скорости движения встречных автомобилей V_1 и V_2 :

$$z_b = 0,3 + 0,1 \cdot \sqrt{V_1 + V_2}, \text{ м}, \quad (2.31)$$

$z_{к1(2)}$ – расстояние от оси следа колеса до края проезжей части, м:

$$z_{к1(2)} = \sqrt{0,1 + 0,0075 \cdot V_{1(2)}}, \text{ м}, \quad (2.32)$$

где V_1 и V_2 – скорости движения встречных грузовых автомобилей, принимаются равными максимальной конструктивной для данного автомобиля (автобуса) скорости, уменьшенной на 15–20 %, но не выше 70 км/ч.

На двухполосных дорогах ширину проезжей части определяют также и для случая обгона легковым автомобилем грузового:

$$b = \frac{a_k + c_k}{2} + \frac{a_l + c_l}{2} + z_0 + z_{к1} + z_{к2}, \text{ м}, \quad (2.33)$$

где z_0 – зазор безопасности между кузовами автомобилей при обгоне, м:

$$z_0 = 0,3 + 0,0075 \cdot \sqrt{V_1 + V_2}, \text{ м}, \quad (2.34)$$

где V_1 и V_2 – скорости движения легкового и грузового автомобилей, принимаются следующими: грузового – на 30 % ниже конструктивной, но не выше 70 км/ч; легкового – 80 км/ч на дорогах IV категории и 90 км/ч на дорогах II и III категорий.

Полученные по формулам (2.31) и (2.34) значения ширины проезжей части двухполосных дорог сопоставляют с нормами [8]. В случае значительного превышения ширины проезжей части, вычисленной по формулам (2.31) и (2.34), по сравнению с требованиями норм [8], что часто имеет место при встрече двух грузовых автомобилей на дорогах IV и III технической категорий, следует учесть краевые полосы шириной 0,5; 0,5 и 0,75 м на дорогах соответственно IV, III и II технической категории и снижать значение z_k (см. формулу (2.33)) на величину краевых полос. При небольшом различии между вычисленной и нормативной шириной проезжей части для дальнейшего проектирования следует принимать нормативную ширину, при большом – полученную расчетом, округляя с точностью до 10 см.

Основные параметры поперечного профиля дорожного полотна представлены в табл. 2.8.

Таблица 2.8. Основные параметры поперечного профиля дорожного полотна

Наименование элементов	Значение элементов для категорий					
	I-a	I-б, I-в	II	III	IV	V
Число полос движения	4, 6	4, 6	2	2	2	2
Ширина полосы движения	3,75	3,5	3,5	3,5	3	2,75
Ширина проезжей части	7,5×2 11,25×2	7×2 10,5×2	7	7	6	5,5
Ширина обочины, м	3,75	3,00	3,00	2,50	2,0	1,25
В том числе:						
- укрепленной полосы, м;	–	0,5	0,75	0,50	0,50	–
- остановочной, м	2,5	2,5	–	–	–	–
Наименьшая ширина разделительной полосы, м	2 + с	2 + с	–	–	–	–
в том числе укрепленной полосы, м	0,75	0,50	–	–	–	–
Ширина дорожного полотна	24,5 + с 32 + с	22 + с 29 + с	13	12	10	8

Примечание. с – ширина ограждения. В курсовом проекте может быть принята равной 1,0 м.

По нормам на дорогах категории I-a ширина полосы движения равна 3,75 м, на дорогах категорий I-б и I-в – 3,5 м. Ширина проезжей части дороги I технической категории равна суммарной ширине всех полос движения. Например, на дороге I-a категории с числом полос движения четыре ширина проезжей части равна $2 \cdot (3,75 + 3,75) = 2 \cdot 7,5$ м.

Остановочные полосы, представляющие собой часть обочины с дорожной одеждой капитального или облегченного типа шириной 2,5 м, следует предусматривать на автомагистралях (дорогах категории I-a) всегда, а на дорогах категории I-б – при интенсивности движения более 15 000 авт/сут, а на дорогах категории I-в – при интенсивности движения более 20 000 авт/сут.

Все полученные вычисления параметров проектируемой автомобильной дороги сводятся в табл. 2.9.

Ширина дорожного полотна двухполосных дорог равна ширине проезжей части и двух обочин.

Ширина дорожного полотна на длине не менее 10 м от начала и конца мостовых сооружений должна превышать расстояние между перилами не менее чем на 0,5 м с каждой стороны дороги. Переход к уширенному дорожному полотну следует осуществлять на прилегающем участке с отгоном 1:10.

Т а б л и ц а 2.9. Технические параметры проектируемой дороги

№ п/п	Технические параметры	Единицы измерения	Получено по расче- ту	По нормам	Принято в проекте
1	Расчетный объем грузовых перевозок в месяц «пик»	тыс. т			
2	Интенсивность движения: годовая среднесуточная; месячная среднесуточная; приведенная к легковому автомобилю: перспективная	авт/сут авт/сут авт/сут авт/сут			
3	Категория дороги				
4	Расчетная скорость	км/ч			
5	Число полос движения	шт.			
6	Ширина полосы движения	м			
7	Ширина проезжей части	м			
8	Ширина обочины	м			
9	Ширина земляного полотна	м			
10	Наибольший продольный уклон Поперечный уклон проезжей части Поперечный уклон обочины Поперечный уклон зем. полотна	% % % %			
11	Расстояние видимости: поверхности дороги, S_1 ; встречного автомобиля, S_2 ; из условия обгона, S_3 ; боковой, $S_{бок}$	м м м м			
12	Радиусы кривых: горизонтальной, R вертикальной выпуклой: минимальный, $R_{вып. min}$ рекомендуемый, $R_{вып. рек}$ вертикальной вогнутой: минимальный, $R_{вог. min}$ рекомендуемый, $R_{вог. рек}$	м м м м м			

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ

3.1. Общие требования к проектированию дороги

Внутрихозяйственные дороги и их отдельные участки должны:

- располагаться в комплексе с размещением полей севооборота, садово-ягодных участков, пастбищ, сенокосов и других сельскохозяйственных угодий, усадеб бригад и отделений, полевых станков на основе генеральных схем развития внутрихозяйственных дорог, а при их отсутствии на основе комплексных перспективных планов социально-экономического развития административных районов, сельскохозяйственных предприятий и организаций, схем и проектов землеустройства и районной планировки административных районов;

- с наибольшим экономическим эффектом обеспечивать производственные, пассажирские и культурно-бытовые перевозки, удобную связь с сельскими населенными пунктами, с существующими и планируемыми автомобильными дорогами общего пользования и путями других видов транспорта;

- максимально использовать благоприятные рельефные, инженерно-геологические и гидрологические условия, обходя по возможности участки с бессточными понижениями, высоким уровнем грунтовых вод;

- отвечать требованиям рационального использования земель и охраны окружающей природной среды, предусматривая мероприятия по предотвращению затопления, затопления или чрезмерного осушения сельскохозяйственных угодий, водной и ветровой эрозии почвы, образования или развития оврагов и оползней, а также других неблагоприятных для сельского хозяйства процессов; учитывать возможность рациональной организации сельскохозяйственного производства, размещение полей севооборота и других сельскохозяйственных угодий, положение лесных полос защитных, водорегулирующих, приовражных и других насаждений, водоемов, направление мелиоративных каналов, линий электропередач и связи, сложившуюся сеть внутрихозяйственных дорог смежных сельскохозяйственных предприятий и организаций.

Площадь сельскохозяйственных угодий, занимаемая внутрихозяйственной дорогой, должна быть минимальной и включать полосу, необходимую для размещения земляного полотна, водоотводных кана-

лов и предохранительных полос шириной 1 м с каждой стороны дороги, откладываемых от подошвы насыпи или бровки выемки либо от внешней кромки откоса водоотводной канавы. В случае, когда для обеспечения устойчивости земляного полотна и дорожной одежды, размещения дорожных сооружений и устройств требуется проведение инженерных мероприятий, связанных с занятием дополнительных площадей, их размер должен устанавливаться и обосновываться проектом.

При необходимости около запроектированной дороги проектируется площадка для временного пребывания машин. Количество стояночных мест на площадке временного пребывания машин должно составлять 2–3 % от расчетной интенсивности воздействия нагрузки автомобилей группы А на дорожную полосу (авт/сут). Площадка для временного пребывания машин проектируется одновременно в плане и в горизонтальной плоскости. С площадки предусматривается отвод поверхностных вод.

Дороги размещают по возможности вдоль границ хозяйств, полей севооборотов, рек-водоприемников, у истоков открытой регулирующей сети по местам с минимальной залежью торфа, вдоль осушительных каналов всех порядков, кроме каналов с двусторонним впадением дрена. Дороги разного назначения необходимо совмещать. Не следует занимать под дороги ценные угодья.

Строить дорогу по кратчайшему направлению препятствуют элементы рельефа земной поверхности, водные преграды, заповедники и другие препятствия. Не целесообразно также прокладывать дороги по высокоплодородным землям, ценным для сельского хозяйства. К развиту трассы или вынужденному удлинению дороги прибегают на участках, где уклоны местности превышают допустимые для проектируемой дороги продольные уклоны.

Положение геометрической оси дороги на местности называется трассой. Графическое изображение проекции трассы на горизонтальную плоскость, выполненное в уменьшенном масштабе, называют планом трассы.

Изменение направления дороги характеризуется углом поворота – это угол между ее продолжением и последующим направлением трассы. Чтобы обеспечить плавность и требуемую скорость движения, во внутренние углы поворота вписывают круговые и переходные кривые.

3.2. Проектирование продольного профиля дороги

3.2.1. План трассы автомобильной дороги

Проект участка автомобильной дороги включает в себя проектирование плана и продольного профиля дороги, поперечных профилей земляного полотна и проезжей части.

Проектирование плана трассы включает:

- 1) выяснение контрольных точек и препятствий трассированию;
- 2) проложение вариантов плана трассы и выбор оптимальной трассы;
- 3) разработка продольного и поперечного профилей трассы.

В курсовом проекте исходной информацией для проектирования плана трассы являются карта местности масштабом 1:10 000.

Автомобильные дороги категории I-а пересекаются в разных уровнях с дорогами I–V категорий, дороги I-б, II категории – с дорогами I, II, III категорий, дороги III категории – с дорогами III категории при интенсивности движения в узле более 8000 приведенных автомобилей в сутки. Пересечение дорог в одном уровне выполняется под прямым или близким к прямому углу.

3.2.2. Продолжение вариантов плана трасс

В курсовом проекте рассматривают два варианта плана трассы. Варианты плана трассы рекомендуется проектировать методом упругой линии с помощью гибкой линейки с учетом контрольных точек и препятствий.

Полученное криволинейное очертание плана трассы представляет собой ее примерное положение (предварительный вариант). Для обеспечения возможности выноски этой трассы на местность кривую заменяют ломаной прямой (рис. 3.1).

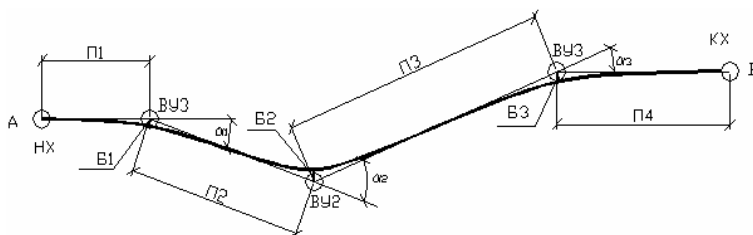


Рис. 3.1. Схема замены криволинейного плана трассы ломаным очертанием

После этого измеряют углы поворота трассы ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) в местах изменения направления прямых, расстояние между вершинами углов (Π_2, Π_3), расстояние от начала (точка A) и конца (точка B) участка трассы до ближайших вершин углов, а также биссектрисы закруглений B_1, B_2, B_3 .

3.2.3. Выбор оптимального варианта трассы

Оптимальный вариант трассы дороги выбирается на основании сравнения не менее двух ее вариантов, приведенных на топографическом плане участка местности. Различают три группы показателей, учитываемых при сравнении конкурирующих вариантов дороги: технико-эксплуатационные; экономические; характеризующие условия строительства.

Технико-эксплуатационные показатели:

а) общая длина трассы L , коэффициент удлинения трассы K_v ,

$$K_v = L / L_{\text{воз}}, \quad (3.1)$$

где L – фактическая длина трассы, км;

$L_{\text{воз}}$ – длина воздушной линии, км;

б) плавность трассы, которая характеризуется числом углов поворота n и средним значением угла поворота

$$\alpha_{\text{ср}} = \sum \alpha / n; \quad (3.2)$$

в) пологость трассы, определяемая значением принятого при проектировании максимального продольного уклона i_{max} и общей длиной участков, на которых этот уклон принят;

г) безопасность движения, характеризуемая обеспеченностью видимости дороги в плане и в продольном профиле, числом пересечений других автомобильных, а также железных дорог в одном уровне;

д) бесперебойность движения, о которой судят по наличию или отсутствию пересечений дорог в одном уровне, числу переправ через реки, обходов населенных пунктов или проездов через них;

е) устойчивость трассы, характеризуемая протяженностью участков трассы по болотам, по неустойчивым участкам с осыпями, оползнями, подверженным пучинообразованию и т. п.;

ж) число пересекаемых трассой дороги линий водосливов – лощин и рек.

Экономические показатели: основные объемы работ по устройству земляного полотна, искусственных сооружений, дорожной одежды.

Варианты оценивают по совокупности перечисленных показателей. Сравнивать показатели вариантов удобнее, записывая результаты в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Техничко-эксплуатационные показатели вариантов трассы

Показатель	Варианты			
	I	II	I	II
Длина трассы L , км				
Коэффициент удлинения трассы K_v				
Число углов поворота n				
Средний угол поворота α_{cp}				
Рельеф местности				
Число пересекаемых водотоков: лощин (линий водослива-логов) рек				
Протяженность участков, км: неблагоприятных для устойчивости полотна (болота, оползни и др.); проходящих в пределах населенных пунктов				
Итого плюсов				

3.2.4. Проектирование плана трассы закругления малого радиуса

Схема закругления малого радиуса представлена на рис. 3.2.

Проектирование плана закругления малого радиуса ведут в такой последовательности.

Вычисляют длину переходной кривой L :

$$L = \frac{V^3}{47 \cdot J \cdot R}, \text{ м}, \quad (3.3)$$

где V – расчетная скорость для дороги принятой категории, км/ч;

J – допускаемая скорость нарастания бокового ускорения, м/с³, принимается равной 0,3 для радиусов закруглений 300 м и более и 0,4 – для радиусов менее 300 м, в обычных условиях – 0,5 и 0,7 – в стесненных условиях;

R – радиус круговой кривой, м.

Полученные по (3.3) значения L сопоставляют с минимальными по нормам проектирования (табл. 3.2). Для дальнейшего расчета принимают большее значение длины переходной кривой.

Таблица 3.2. Наименьшие длины переходных кривых в зависимости от радиусов круговых кривых

Радиусы круговых кривых, м	Наименьшие длины переходных кривых, м, для дорог категорий			
	I-a	I-б, I-в, II, III	IV-V с дорожной одеждой усовершенствованного типа	IV-V с дорожной одеждой переходного типа
2000	200	200	100	
1800	180	180	100	
1500	150	150	100	
1200	160	120	100	
1000	170	120	100	
800	150	150	100	
600	–	170	120	60
500	–	130	140	70
400	–	–	150	90
300	–	–	130	120
250	–	–	100	100
200	–	–	90	90
150	–	–	80	80

Далее находят угол β (рис. 3.2), на который уменьшается круговая кривая при вписывании одной переходной кривой:

$$\beta = \frac{L}{2 \cdot R} \cdot \frac{180}{\pi}, \text{ градусы.} \quad (3.4)$$

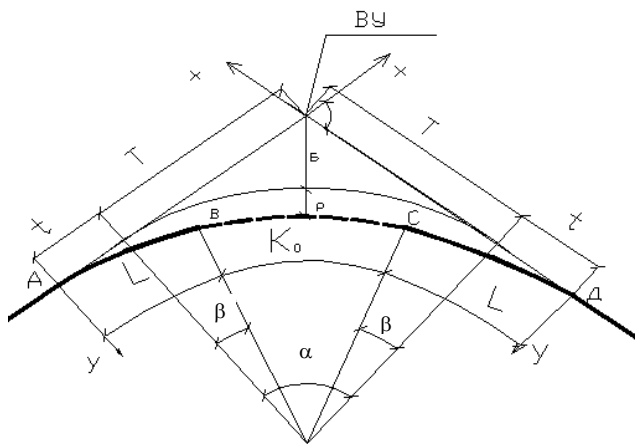


Рис. 3.2. Элементы закругления с симметричными переходными кривыми

Проверяют условие возможности разбивки закругления с переходной кривой:

$$\alpha \geq 2 \cdot \beta, \quad (3.5)$$

где α – угол поворота трассы (по заданию).

Если условие (3.5) не выполнено, то следует изменить длину переходной кривой или угол поворота трассы.

Вычисляют длину круговой кривой K_0 :

$$K_0 = R \cdot \pi \cdot (\alpha - 2\beta) / 180, \text{ м}, \quad (3.6)$$

где α – угол поворота трассы в градусах.

Закругления с переходными кривыми обычно выносят на местность методом прямоугольных координат X и Y , помещая начало координат в начало первой переходной кривой (точка A на рис. 3.2) и в конец второй (точка D).

Координаты переходной кривой:

$$X = S - S^5 / (40 A^4), \quad Y = S^3 / (6 A^2) - S^7 / (336 A^6), \quad (3.7)$$

где S – расстояние от начала координат до рассматриваемой точки на переходной кривой;

$$A = \sqrt{LR} \quad (3.8)$$

– параметр переходной кривой длиной L .

Далее определяют смещение t и сдвигку p переходной кривой:

$$t = X_B - R \sin \beta; \quad p = Y_B - R (1 - \cos \beta), \quad (3.9)$$

где X_B и Y_B – координаты конца переходной кривой, которые определяют по формуле (3.7), принимая $S = L$.

Вычисляют тангенс T и домер D :

$$T = (R + p) \operatorname{tg} (\alpha/2); \quad (3.10)$$

$$D = 2 (T + t) - (2L + K_0). \quad (3.11)$$

Пикетное положение основных точек закругления определяют по формулам:

$$\text{точка } A \text{ (начало закругления)} \quad \text{НЗ} = \text{ВУ} - (T + t);$$

точка *B* (начало круговой кривой) НКК = НЗ + *L*;
 точка *C* (конец круговой кривой) ККК = НЗ + *L* + *K*₀;
 точка *D* (конец закругления) КЗ = НЗ + 2*L* + *K*₀.

Полученные результаты расчета основных параметров закругления сводят в табл. 3.3.

Т а б л и ц а 3.3. Наименьшие длины переходных кривых в зависимости от радиусов круговых кривых

Характеристика закругления на пикете ...+...									
<i>A</i>	<i>R</i>	<i>L</i>	<i>T</i>	<i>t</i>	<i>K</i> ₀	<i>Д</i>	НЗ	СЗ	КЗ

Для выноски переходной кривой вычисляют координаты *X* и *Y* по формулам (3.7), а для выноски круговой кривой (до ее середины) по следующим формулам:

$$\begin{cases} x = t + R \sin[\beta + (S - L)180/(R\pi)], \text{ м;} \\ y = p + R - R \cos[\beta + (S - L)180/(R\pi)], \text{ м,} \end{cases} \quad (3.12)$$

где *t*, *p* – смещение и сдвигка, вычисленные по формулам (3.9);

S – расстояние от начала закругления до рассматриваемой точки на круговой кривой.

В курсовом проекте обязательно следует вычислить координаты пикетов, находящихся в пределах закругления, а также плюсовых точках, кратных 10 м (+10, +20, +30, +40, +50, +60, +70, +80, +90).

Так как разбивка закругления до середины выполняется в системе *x*₁*y*₁ (см. рис. 3.2), а после середины – в системе *x*₂*y*₂, то и координаты точек определяются в системах *x*₁*y*₁ или *x*₂*y*₂.

3.2.5. Проецирование поперечного профиля закругления

Элементы поперечного профиля принимают в соответствии с категорией дороги, а уширение проезжей части на кривой – по табл. 3.4, в которой приведена величина уширения на две полосы при радиусах кривых 500 м и менее.

Таблица 3.4. Уширение для двух полос в зависимости от радиуса кривой в плане

Радиус кривой в плане, м	500	300	200	150	100	50
Уширение для двух полос, м	0,25	0,40	0,50	0,75	1,00	2,10

Проезжую часть уширяют с внутренней стороны закругления за счет обочины. При этом ширина оставшейся обочины должна быть не менее 1,5 м для дорог I и II категорий и не менее 1,0 м для III–V категорий. Размер уширения постоянен в пределах круговой кривой K_0 радиуса 500 м. Если радиус круговой кривой менее 500 м, то уширение проезжей части начинается и заканчивается на переходной кривой в точке с радиусом кривизны 500 м. Отгон уширения следует выполнять на участках длиной 20 м, прилегающих к точке закругления с радиусом кривизны 500 м.

На закруглении с радиусами, не более приведенных в табл. 3.5, проезжая часть имеет односкатный поперечный профиль (вираж).

Таблица 3.5. Радиус кривизны в зависимости от расчетной скорости

Расчетная скорость, км/ч	140	120	100	80	60
Радиус кривизны, м	<u>3000</u>	<u>2000</u>	<u>2000</u>	<u>2000</u>	<u>1000</u>
	—	—	—	600	600

Примечание. В числителе приведены значения для дорог с усовершенствованным покрытием, в знаменателе – с переходным.

Максимальный уклон виража i_v определяется по формуле

$$i_v = \frac{V^2}{127 \cdot R} - \mu, \quad (3.13)$$

где V – расчетная скорость движения автомобиля для заданной категории дороги, км/ч;

R – радиус круговой кривой, м;

μ – коэффициент поперечной силы, определяемый по формуле

$$\mu = 0,2 - 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot v; \quad (3.14)$$

$i_{пп}$ – поперечный уклон проезжей части в долях единицы, принимается для виража со знаком «плюс», для двускатного поперечного профиля – со знаком «минус».

Полученный по формуле (3.13) уклон виража сопоставляется с требованиями норм [8], приведенных в табл. 3.6. В расчет принимается большее значение уклона виража. При этом максимальный уклон виража не должен превышать 40 ‰ в северном районе Беларуси, 45 ‰ – в центральном и 50 ‰ – в южном.

Минимальный уклон по условиям водоотвода с проезжей части должен быть не менее $i_{п}$. Поэтому в случае если расчетом получено $i_{в} < i_{п}$, принимают $i_{в} = i_{п}$.

Таблица 3.6. Минимальный радиус круговой кривой для категорий дорог

Уклон виража, ‰	Минимальный радиус круговой кривой для категорий		
	I-а	I-б, I-в, II-IV	V (с усовершенствованными дорожными одеждами)
20 (25)	1330	850	540
30	1240	800	510
40	1150	750	480
50	1060	700	450

Из табл. 3.6 следует, что уклон виража 25 ‰ принимают на дорогах категории I-а при радиусах круговой кривой от 1330 до 3000 м, на дорогах категорий I-б, I-в при радиусах круговой кривой от 850 до 2000 м. На дорогах категорий II, III, IV уклон виража 20 ‰ назначают при радиусах от 850 до 2000 м.

3.2.6. Пикетаж и составление ведомости прямых и кривых.

План трассы

Пикетаж включает нанесение пикетов и плюсовых точек на трассе с помощью измерителя и установление пикетного положения вершин углов поворота. В курсовом проекте начало НХ принимают равным нулю.

Пикетное положение:

первой вершины –

$$ВУ1 = НХ + П_1; \quad (3.15)$$

второй вершины –

$$ВУ2 = ВУ1 + П_2 - Д_1; \quad (3.16)$$

конец хода –

$$КХ = \sum П_i - \sum Д_i. \quad (3.17)$$

В формулах (3.15)–(3.17) длины участков ломаной трассы измеряются по карте, а домер D вычисляется по формуле (3.11). На каждом закруглении при известных значениях α , R , L вычисляют остальные элементы закругления с точностью до 0,01 м, пикетные положения основных точек закругления определяют длины оставшихся прямых участков трассы и их румбы.

На чертеже обозначают номера вариантов, пикеты и километры, схему привязки трассы к ориентирам на местности. На плане трассы обозначают номера вершин углов поворота, данные каждого закругления (α , R , L). На плане трассы приводится схема привязки плана трассы к ориентирам на местности по данным топографической карты (рис 3.3).

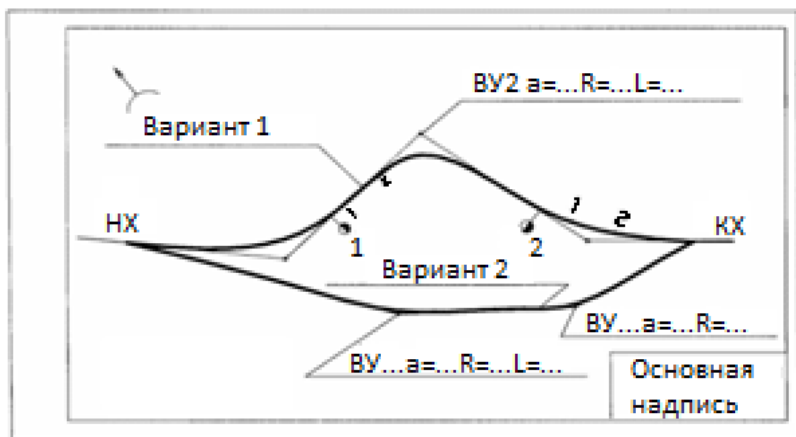


Рис. 3.3. Схема чертежа «План трассы»

3.2.7. Продольный профиль поверхности земли

Продольным профилем дороги, улицы называют развернутую в плоскости чертежа проекцию оси дороги на вертикальную плоскость. Продольный профиль характеризует крутизну отдельных участков дороги, измеряемую продольным уклоном, и расположение ее проезжей части относительно поверхности земли. Если естественные уклоны местности превышают допустимые для эффективного использования автомобилей, в таких случаях уклон дороги делают более поло-

гим, чем уклон поверхности земли. Для этого срезают часть грунта на подъемах на возвышенность или, наоборот, подсыпают его в местах перехода через пониженные участки рельефа.

Трассу на чертеже продольного профиля изображают в виде проектной (красной) линии, которая для новой дороги соответствует положению линии бровки земляного полотна, а для реконструируемой – в виде линии оси. Линию естественной поверхности земли по оси дороги иногда называют черным профилем. Проектную линию вычерчивают в два раза толще линии поверхности земли, которую наносят на чертеж по данным нивелирования трассы.

Если проектная линия проходит над черным профилем, земляное полотно дороги представляет собой насыпь, если под ним – выемку. Разность между отметками проектной и черной линии по одной вертикали называют рабочей отметкой. Если дорога проходит в насыпи, рабочие отметки подписывают выше проектной линии, если в выемке – ниже проектной линии. Обычно продольный профиль строят в условных отметках, которые проставляют в сетке профиля с точностью до двух значащих цифр после запятой ($\pm 0,01$ м).

3.2.8. Продолженный профиль

Продольный профиль составляется по выбранному варианту трассы на формате $A4 \times n$ (рис. 3.4).

Проектирование продольного профиля включает:

- 1) нанесение исходной информации;
- 2) назначение контрольных точек и руководящих рабочих отметок;
- 3) составление вариантов проектной линии;
- 4) проектирование кюветов.

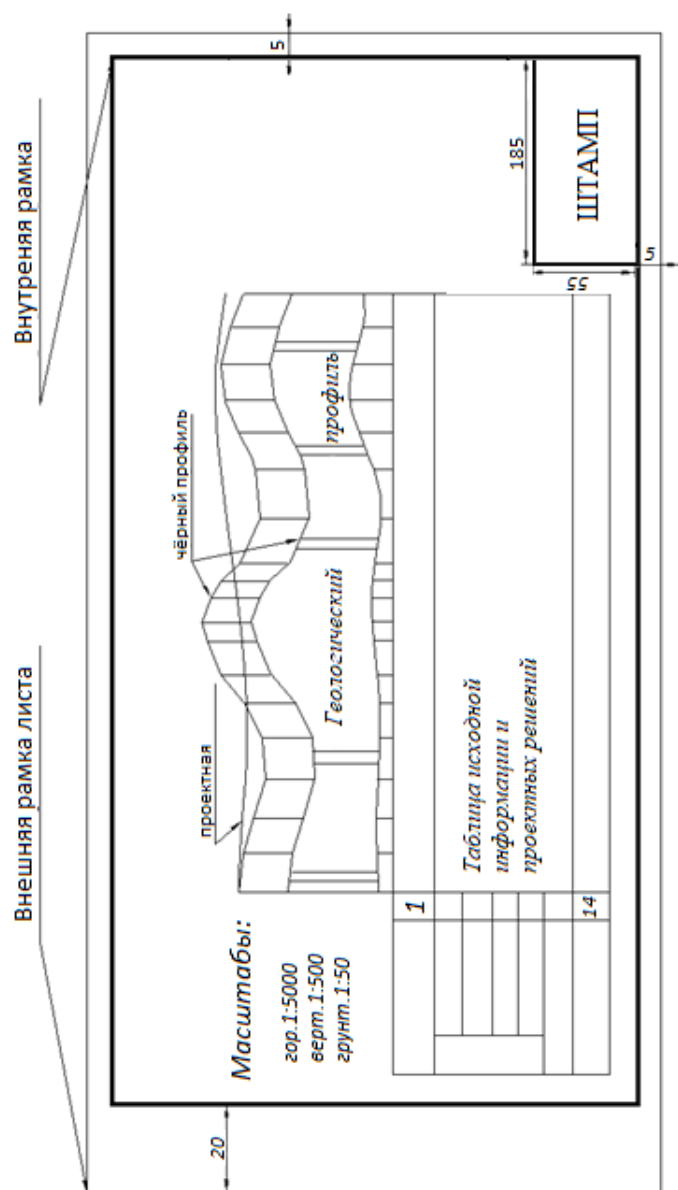


Рис. 3.4. Схема чертежа «Продольный профиль»

3.2.9. Нанесение исходной информации

К исходной информации относятся:

- а) план трассы;
- б) черный профиль по оси трассы;
- в) геологическое строение местности по оси дороги.

Геологическое строение местности при проектировании продольного профиля в курсовом проекте № 1 наносят на чертеж продольного профиля для выбранного варианта трассы.

План трассы с ситуацией по 100 м в каждую сторону от оси дороги составляют по данным топографической карты (графа 1 табл. 3.7).

В графе 1 обозначают угодья, пересекаемые дороги, водотоки, линии связи и электропередач, положение вершин углов поворота и направление поворота трассы (рис. 3.5). В графе 14 (рис. 3.6) по данным ведомости углов поворота, прямых и кривых наносят элементы плана оси дороги: прямые (длина, румб), закругления (номер вершины угла, величина угла поворота, радиус круговой кривой, длина переходной, расстояние от ближайшего пикета до начала и конца переходных и круговых кривых), указывают номера пикетов (только единицы) и километры.

В графе 13 обозначают расстояние между плюсовыми точками и пикетами. При отсутствии на пикетах плюсовых точек расстояние между пикетами (100 м) не записывают (например, ПК8, ПК9 на рис. 3.6).

Тип местности по увлажнению определяется по карте местности. Границы типов указывают в графе 2. Типы местности обозначают цифрами 1, 2 или 3.

Черный профиль – это продольный профиль поверхности земли вдоль оси трассы. Для его построения по карте в горизонталях на всех пикетах, переломах местности, в местах пересечения с водотоками, автомобильными и железными дорогами определяют отметки поверхности земли с точностью до 1 см. Если точка находится между горизонталями карты, то ее отметку находят методом интерполяции. Если точка находится в пределах замкнутой горизонтали, то ее отметку вычисляют методом экстраполяции.

Т а б л и ц а 3.7. Таблица исходной информации и проектных решений

Развернутый план дороги			1	20	175	
Тип местности по увлажнению			2	5		
Проектные данные	Тип поперечного профиля		3	5		
	Левый Кювет	Укрепление	4	5		
		Уклон, ‰		5		10
		Отметка дна, м	6	15		
	Правый Кювет	Укрепление	7	5		
		Уклон, ‰		8		10
		Отметка дна, м	9	15		
	Уклон и вертикальная кривая			10		10
	Отметки оси дороги			11		15
Фактические данные	Отметки земли, м		12	15		
	Расстояние, м		13	10		
Пикет			14	5		
Указатель километров				20		
Прямая и кривая в плане				10		
10	25	40				
75						

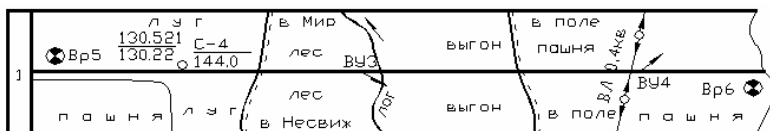


Рис. 3.5. Пример заполнения графы 1

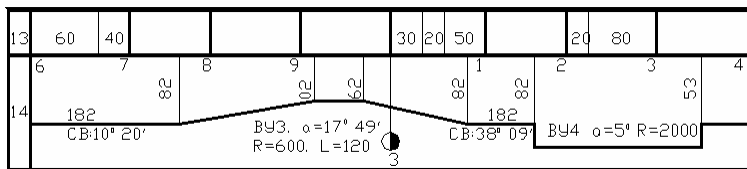


Рис. 3.6. Пример заполнения граф 13 и 14

Пример 1. Исходные данные приведены на рис. 3.7. Определить черные отметки ПК10 и ПК11+60.

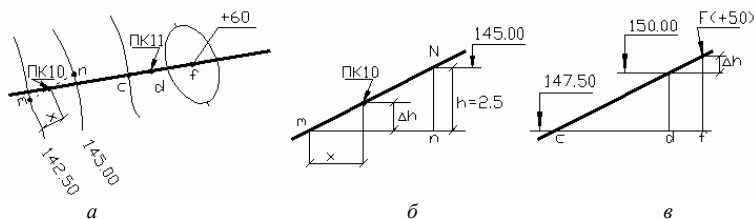


Рис. 3.7. Схема к определению отметок местности по карте

Отметку ПК10 найдем методом интерполяции. Для этого через ПК10 проведем линию наибольшего ската mn (рис. 3.7, а), измерим ее длину ($mn = 60$ м) и расстояние x от нижерасположенной горизонтали с отметкой 142,5 м ($x = 45$ м). Из рис. 3.7, б следует, что сечение горизонтали $h = 2,5$ м,

$$\Delta h = \frac{h}{mn} \cdot x = \frac{2,5}{60} \cdot 45 = 1,87 \text{ м.}$$

Отметка ПК10 будет

$$H_{\text{ПК10}} = 142,5 + 1,87 = 144,37 \text{ м.}$$

Отметку ПК11+60 найдем методом экстраполяции (рис. 3.7, в). На карте по линии наибольшего ската расстояние измерим cd между ближайшими горизонталями ($cd = 55$ м) и расстояние fd от ПК11+60 (точка F) до ближайшей горизонтали ($fd = 30$ м). Из рис. 3.7 следует, что

$$\Delta h = \frac{h}{cd} \cdot fd = \frac{2,5}{55} \cdot 30 = 1,36$$

и отметка ПК11+60

$$H_{\text{ПК11+60}} = 150,0 + 1,36 = 151,36 \text{ м.}$$

Вычисленные отметки поверхности земли по оси трассы вписывают в графу 12 (см. табл. 3.7).

Из графы 12 табл. 3.7 выбирают наименьшую отметку земли и наносят ее на чертеж «Продольный профиль» так, чтобы от нее до верха графы 1 (см. табл. 3.7) оставалось не менее 7 см для размещения геологического профиля, а сантиметровая линия миллиметровой бумаги соответствовала отметке, кратной 5 м (например, 145,0; 150,00). В обе стороны от этой точки наносят отметки остальных точек в масштабах: горизонтальном – 1:5000; вертикальном – 1:500. При этом расстояние от наивысшей точки черного профиля до верхней линии рамки должно быть не менее 3 см для размещения необходимых надписей. Если последнее условие не выполнено, то черный профиль смещают по вертикали (рис. 3.8).

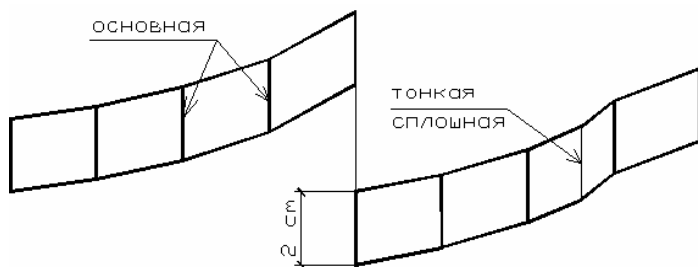


Рис. 3.8. Пример нанесения черного профиля со смещением по высоте

Точки черного профиля соединяют сплошной тонкой линией. Параллельно ей на расстоянии 2 см проводят вторую сплошную тонкую

линию и одновременно соединяют точки этих профилей вертикальными прямыми: сплошными основными толщиной 0,6–1,0 мм – на пикетах и сплошными тонкими – на плюсовых точках (рис. 3.8).

3.2.10. Нанесение проектной линии

Проектную линию вычерчивают в два раза толще линии поверхности земли, которую наносят на чертеж по данным нивелирования трассы. Положение проектной линии получают в результате проектирования трассы в продольном профиле. При этом выявляют крутизну подъемов и спусков, а также расположение насыпей и выемок.

Если проектная линия проходит под профилем, земляное полотно дороги представляет собой насыпь, если над – выемку. Разность между отметками проектной и черной линии по одной вертикали называется рабочей отметкой.

Переломы продольного профиля, образующиеся при изменении уклонов, выявляют ряд недостатков для движения: ограничивают видимость расположенной впереди участка дороги, а по проломам, имеющим сравнительно малый радиус кривизны при малых скоростях движения, возникает опасность потери управления автомобилем в связи с разгрузкой проезжей оси.

3.2.11. Назначение контрольных и руководящих отметок

Контрольными точками продольного профиля являются пересечения с железными и автомобильными дорогами, водотоками.

При пересечении дорог в разных уровнях контрольная отметка проектной линии

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{ч}} + \Gamma + h_{\text{с}} + 0,2, \quad (3.18)$$

где $H_{\text{ч}}$ – отметка проезжей части по оси пересекаемой автомобильной дороги или головки рельса железной дороги;

Γ – габарит автомобильный (5 м), 5,55 м – для неэлектрифицированных дорог и 6,5 м – для электрифицированных;

$h_{\text{с}}$ – высота пролетного строения путепровода (в курсовом проекте может быть принята 1,2 м).

При пересечении автомобильных дорог в одном уровне контрольная отметка проектной линии равна отметке проезжей части по оси пересекаемой дороги. В случае если пересекаемая дорога имеет более

низкую категорию, можно изменить ее высотное положение путем ее переустройства на подходах к пересечению и назначить контрольную отметку на пересечении по условиям проектирования продольного профиля.

На пересечениях (примыканиях) автомобильных дорог в одном уровне предельный уклон дорог должен быть не более – 40 ‰ на расстоянии видимости поверхности дороги в обе стороны от пересечения.

При пересечении железной дороги в одном уровне контрольную отметку проектной линии принимают равной отметке головки рельса железной дороги. Автомобильная дорога на протяжении не менее 2 м от крайнего рельса должна в продольном профиле иметь уклон 0, или вертикальную кривую большого радиуса при пересечении железной дороги на прямолинейном участке, или уклон виража при пересечении железной дороги на кривой. Подходы автомобильной дороги к пересечению на протяжении 50 м следует проектировать с продольным уклоном не более 30 ‰.

3.2.12. Пересечение водотоков

Водотоки бывают постоянные (реки, ручьи), отмеченные на карте синей линией, и периодически действующие, отмеченные на карте синей пунктирной линией. Для установления положения последних с помощью карты местности анализируют все понижения черного профиля. Если на рассматриваемом понижении возможен сток воды в обе стороны, то такое понижение является седловиной и не требует устройства водопропускного сооружения. Над таким понижением на профиле обозначается отвод воды в обе стороны трассы (точка со стрелками вверх и вниз от нее).

Если же по понижению местности к дороге подходит вода, то ее пропускают под дорогой с помощью труб или мостов.

Типовые трубы бывают круглые и прямоугольные одно-, двух- и трехочковые. Отверстия круглых длинномерных труб (внутренний диаметр) – 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6 м; прямоугольных (расстояние между боковыми стенками) – 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 м. Круглые трубы диаметром 0,80 м применяют при длине до 15 м и диаметром 1,0 м – при длине до 30 м.

Трубы устанавливают на суходолах или небольших ручьях. В последнем случае отверстие принимают не менее 1,20 м.

У труб контрольная отметка равна:

а) по засыпке над трубой (не менее 0,5 м) –

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{ч}} + d + t + 0,5 + H_{\text{до}} + (0,5b + c) i_{\text{п}}, \quad (3.19)$$

где $H_{\text{ч}}$ – отметка черного профиля;

d – внутренний диаметр круглой или высота прямоугольной трубы;

t – толщина стенки трубы (в курсовом проекте допускается принимать 0,08 м для d , равного 0,8 и 0,1 м – для остальных труб);

$H_{\text{до}}$ – толщина дорожной одежды (по заданию);

b – ширина проезжей части дорог II–VI категорий или одного направления дорог I категории;

c – ширина укрепленной полосы (на дорогах IV, III, II категорий или остановочной на дорогах категории I-а);

$i_{\text{п}}$ – уклон проезжей части ($i_{\text{п}} = 0,020$ на дорогах V, IV, III и II категории, $i_{\text{п}} = 0,025$ на дорогах I категории);

б) по возвышению бровки обочины над уровнем поверхностных вод (УПВ), равным 0,5 м при безнапорном и 1,0 м при напорном режиме протекания воды в трубе –

$$H_{\text{пр}} = \text{УПВ} + 0,5(1,0) + (0,5b + c) i_{\text{п}} + (a - c) i_{\text{о}}, \quad (3.20)$$

где $a, i_{\text{о}}$ – ширина и поперечный уклон обочины ($i_{\text{о}} = 0,040$).

В курсовом проекте при пересечении ложбин и понижений при необходимости устройства труб-переездов следует принимать круглые водопропускные трубы, предназначенные для работы в безопасном режиме.

Мосты проектируют на постоянных водотоках. В курсовом проекте длину малых мостов назначают ориентировочно (12, 18, 24, 27, 30 м), отверстия водопропускных сооружений и расчетные уровни воды в зоне сооружений назначают без расчета и вычисляют контрольные отметки $H_{\text{пр}}$ у труб и мостов.

Мост состоит из пролетного строения, поддерживающего проезжую часть с тротуарами, и опор, передающих давление пролетных строений на грунт. Мосты бывают однопролетными и многопролетными. Крайние опоры, расположенные в местах сопряжения моста с насыпями дороги, называют устоями, а массивные промежуточные – быками. Расстояние между центрами опор пролетного строения – расчетным пролетом. Размер от поверхности проезжей части по мосту до самой нижней части пролетного строения называют строительной высотой моста.

Схема моста при свайных береговых опорах с заборными стенками представлена на рис. 3.9.

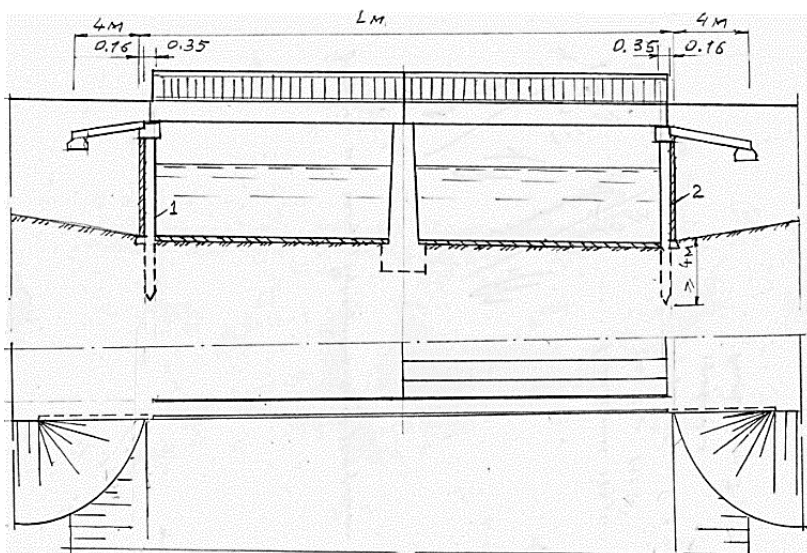


Рис. 3.9. Схема моста при свайных береговых опорах (1) с заборными стенками (2)

На местных автомобильных дорогах принимают железобетонные балочные мосты упрощенного типа. В качестве пролетного строения принимаются плитные или ребристые балки.

Для передачи усилий пролетных строений на опоры, а также восприятия деформаций пролетных строений предусматривают опорные части балочных пролетных строений. Различают подвижные и неподвижные опорные части.

В пролетных строениях до 12 м, а также при однорядных свайных опорах независимо от длины пролета можно применять опорные части из плоских стальных листов толщиной до 20 мм. Подвижную опорную часть выполняют из двух листов, обеспечивая возможность скольжения одного по другому, а неподвижную – из одного листа, через который проходит штырь, соединяющий пролетное строение с опорой.

Проезжая часть железобетонных мостов состоит из железобетонной плиты и покрытия. Для выравнивания поверхности плиты укладывают слой цементного раствора 2 – 3 см. Чтобы придать уклон, толщину

выравнивающего слоя увеличивают до 8 см за счет малопрочного мелкозернистого бетона. По выравнивающему слою устраивают оклеенную гидроизоляцию из рулонных материалов. Асфальтобетонное покрытие выполняют как однослойным (толщина 7–8 см), так и двухслойным (8–12 см).

В железобетонных мостах водоотвод обеспечивается системой продольных и поперечных уклонов. Продольные уклоны назначают по условиям проектирования продольного профиля дороги.

Вода с проезжей части вбрасывается через водоотводные трубы под мост. Предельное расстояние между трубками – 15 м. На мостах длиной до 50 м и уклоном более 20 % допускается трубки не ставить, обеспечив сброс воды с поверхности проезжей части у начала и конца моста. Водоотводные трубы устанавливают под тротуаром или на расстоянии 20–40 см от бордюра на проезжей части моста. Минимальный диаметр трубок – 15 см. Нижний конец трубки должен выступать ниже конструкции не менее чем на 10 см.

Для обеспечения свободных перемещений пролетных строений под воздействием нагрузок на проезжей части моста выполняют деформационные поперечные швы, которые устраивают под всеми промежуточными опорами в разрезных пролетных строениях. Деформационные швы заполняют битумной мастикой, резиновыми трехкулачковыми или трубчатым компенсаторами.

Сопряжение моста с насыпью обеспечивает плавность движения транспорта. Это достигается за счет укладки переходных плит, устройством песчано-гравийных подушек и отмонок. Переходные железобетонные плиты размером 100×250 см и толщиной 14–20 см укладывают с уклоном 10 % по всей ширине проезжей части.

Проезжую часть моста ограждают тротуарными блоками или бордюрами.

У мостов через несудоходные реки контрольная отметка равна

$$H_{\text{пр}} = \text{РУВВ} + Z + h_c, \quad (3.21)$$

где РУВВ – расчетный уровень высокой воды, условно назначается на 1–2 м выше отметки бровки русла;

Z – расстояние от расчетного уровня высокой воды РУВВ до низа пролетного строения (в Беларуси 1,0);

h_c – строительная высота пролетного строения, ориентировочно может быть принята равной 1,0 м.

Пример 2. Исходные данные представлены на рис. 3.10. Требуется определить контрольные отметки у трубы на ПК20+40 для дороги III категории при толщине дорожной одежды 0,6 м.

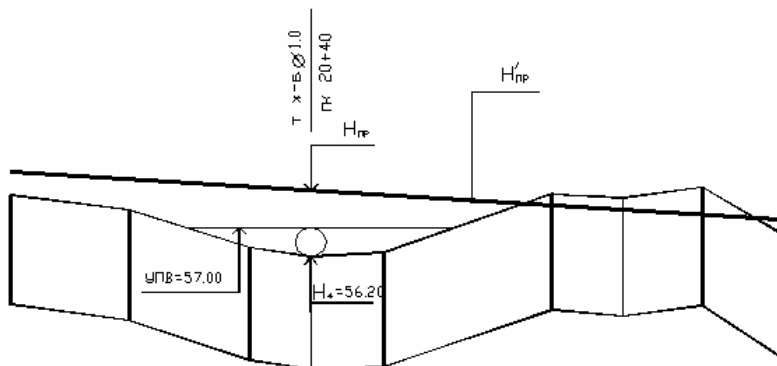


Рис. 3.10. Исходные данные к примеру 2

Контрольные отметки:

а) по засыпке над трубой –

$$H_{\text{пр}} = 56,20 + 1,0 + 0,1 + 0,5 + 0,6 + (0,5 \cdot 7,0 + 0,5) \cdot 0,02 = 58,58 \text{ м};$$

б) по возвышению бровки земляного полотна над УПВ –

$$H_{\text{пр}} = 57,00 + 0,5 + (3,5 + 0,5) \cdot 0,02 + (2,5 - 0,5) \cdot 0,04 = 57,66 \text{ м}.$$

Следовательно, над трубой проектная линия (рис. 3.10) не может быть ниже отметки 58,58 на ПК20+40 и отметки 57,66 – на участке, где устанавливается УПВ.

3.2.13. Руководящие рабочие отметки

Проектную линию (ось проезжей части) следует стремиться проектировать по обертывающей (в насыпях). Руководящие рабочие отметки h_p (минимальные высоты насыпи) вычисляют:

а) по обеспечению снегонезаносимости дороги на открытых участках –

$$h_p^1 = h_{\text{CH5\%}} + \Delta h + (0,5b + c)i_{\text{п}} + (a - c)i_0, \quad (3.22)$$

где $h_{\text{CH5}} \%$ – высота снега в данной местности с вероятностью превышения 5 % (рекомендуется принимать 0,4–0,5 м в Брестской и Гродненской областях, 0,6 м – в Гомельской и Минской, 0,6–0,7 – в Витебской и Могилевской);

Δh – запас высоты насыпи над снежным покровом для размещения сбрасываемого с дороги снега и увеличения скорости снежного потока над дорогой, равный 1,2 м – для дорог категории I-а; 1,0 м – для дорог категорий I-б, I-в; 0,7 м – для II; 0,6 м – для III; 0,5 м – для IV и V категорий;

б) по обеспечению хорошего водного режима земляного полотна на участках 2-го и 3-го типов местности по увлажнению

$$h_p^2 = H_{\min}^2 + H_{\text{д.о}} + (0,5b + c) \cdot i_n; \quad (3.23)$$

$$h_p^3 = H_{\min}^3 + H_{\text{д.о}} + (0,5b + c) \cdot i_n - H_0, \quad (3.24)$$

где $H_{\min}^{2(3)}$ – минимальное возвышение низа дорожной одежды над поверхностью земли с необеспеченным стоком $H_{\min}^2$ или над уровнем грунтовых вод ($H_{\min}^3$), принимаемое по табл. 3.8;

$H_{\text{д.о}}$ – толщина дорожной одежды;

H_0 – глубина залегания грунтовых вод.

Таблица 3.8. **Наименьшее возвышение низа дорожной одежды для типов местности**

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение низа дорожной одежды для типов местности, м	
	0,5	0,7
Песок средней крупности, мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	0,5	0,7
Песок пылеватый, суглинок легкий	0,6	1,2
Супесь пылеватая, тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, тяжелый и тяжелый пылеватый	0,8	1,9

3.2.14. Нанесение проектной линии

На листе миллиметровой бумаги формата A4×n вычерчивают черный профиль в масштабах: горизонтальном 1:5000 или 1:2000, вертикальном 1:500.

Проектную линию в курсовом проекте проектируют методом тангенсов. Для этого на профиле намечают контрольные точки и положение

ние руководящих рабочих отметок. С помощью упругой линии или шаблонов вертикальных кривых графически намечают ориентировочное положение проектной линии. Её заменяют отрезками прямых $ABCD$ (рис. 3.11).

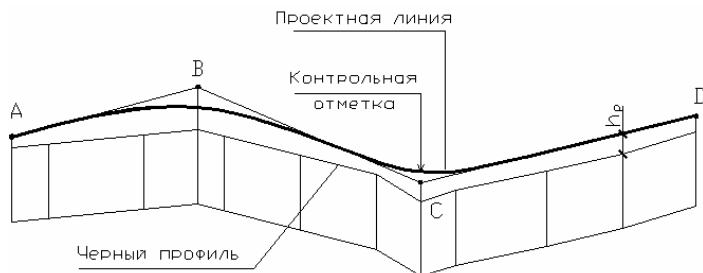


Рис. 3.11. Схема к нанесению проектной линии

Пикетное положение и отметки точек A, B, C, D ломаной линии определяют графически. Вычисляют уклоны прямых AB, BC, CD и т. д., округляют их до целого значения промилле и корректируют отметки точек или их пикетное положение.

Пример 3. Точки A и B (рис. 3.11) расположены на пикетах 2 и 6. Их отметки 99,00 и 102,50. Вычисляем уклон прямой AB :

$$I = (102,50 - 99,00) / (\text{ПК}6 - \text{ПК}2) = 3,50 / 400 = 0,00875 = 8,75 \text{ ‰}.$$

Округляем уклон прямой AB до 9 ‰. Тогда отметка точки B (ПК6) будет равна

$$H_B = H_A + i \cdot l = 99,00 + 0,009 \cdot 400 = 102,60.$$

В переломы проектной линии вписывают вертикальные кривые. Расчет элементов кривых ведут исходя из схемы, представленной на рис. 3.12.

Длину вертикальной кривой K радиуса R и тангенс T определяют по формулам

$$K = \omega \cdot R = [i_1 - (-i_2)] \cdot R; \quad T = 0,5 \cdot K, \text{ м.} \quad (3.25)$$

Пикетное положение начала и конца кривой –

$$\text{НЗ} = \text{ВУ} - T; \quad \text{КЗ} = \text{ВУ} + T. \quad (3.26)$$

Отметки начала и конца закругления –

$$H_{НЗ} = H_{ВУ} - T i_1; \quad H_{КЗ} = H_{ВУ} + T(-i_2). \quad (3.27)$$

Вершина кривой (точка B) расположена на расстоянии l_1 от ее начала и l_2 от ее конца:

$$l_1 = i_1 \cdot R; \quad l_2 = i_2 \cdot R, \text{ м.} \quad (3.28)$$

Отметка вершины кривой –

$$H_B = H_{НЗ} \pm \frac{l_1^2}{2 \cdot R}. \quad (3.29)$$

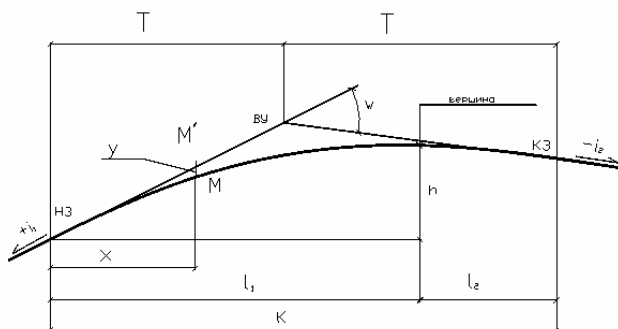


Рис. 3.12. Схема к расчету вертикальной кривой

Отметка точек на кривой (например, точки M , рис. 3.12) может быть вычислена двумя способами:

1-й способ –

$$H_M = H'_M - y = H_{НЗ} + x \cdot i_1 - \frac{x^2}{2 \cdot R}; \quad (3.30)$$

2-й способ –

$$H_M = H_B - h = H_B \pm \frac{l^2}{2 \cdot R}. \quad (3.31)$$

Пример 4. Две прямые с уклонами $i_1 = 30 \text{ ‰}$ и $i_2 = -10 \text{ ‰}$ пересекаются на ПК10+00. Отметка точки пересечения 100,00. Требуется вычислить пикетное положение и отметки начала, вершины и конца

выпуклой вертикальной кривой радиусом 10 000 м, а также пикета 9+00.

По (3.25) находим

$$K = [0,030 - (-0,010)] \cdot 10\,000 = 400 \text{ м};$$

$$T = 0,5 \cdot 400 = 200 \text{ м}.$$

Пикетные положения начала (конца) кривой и их отметки находим по (3.26) и (3.27).

$$HЗ = (\text{ПК}10+00) - 1000 - 200 = 800 = \text{ПК}8+00;$$

$$KЗ = (\text{ПК}10+00) + 200 = \text{ПК}12+00;$$

$$H_{HЗ} = 100,00 - 200 \cdot 0,030 = 94,00;$$

$$H_{KЗ} = 100,00 + 200 \cdot (-0,010) = 98,00.$$

По формуле (3.28) вычисляем расположение вершины кривой:

$$\text{ПК } B = HЗ + i_1 R = \text{ПК}8+00 + 0,030 \cdot 10\,000 = \text{ПК}11+00.$$

Отметку вершин кривой находим по формуле (3.29):

$$H_{\text{в}} = 94,00 + \frac{300^2}{2 \cdot 10000} = 98,50 \text{ м}.$$

Отметка пикета 9+00, находящегося от вершины на расстоянии $l = \text{ПК}11 - \text{ПК}9 = 200 \text{ м}$, по (3.31) равна

$$H_{\text{ПК}9} = 98,50 - \frac{200^2}{2 \cdot 10000} = 96,50 \text{ м}.$$

Вычислим также отметку пикета 9+00 по формуле (3.30), принимая начало координат X, Y на пикете 8+00:

$$H_{\text{ПК}9} = 94,00 + 100 \cdot 0,030 - \frac{100^2}{2 \cdot 10000} = 96,50.$$

Прямые участки проектной линии и вертикальные кривые обозначают в графе 10 (см. табл. 3.7) продольного профиля в соответствии с рис. 3.13.

Проектные отметки заносят в графу 10 табл. 3.7.

Вычисляют рабочие отметки (высоту насыпей и глубину выемок) как разность проектных (графа 11) и черных отметок (графа 12). Рабочие отметки на пикетах и плюсовых точках выписывают над проектной линией в случае насыпей и под проектной линией – в случае выемок, располагая цифры вертикально.

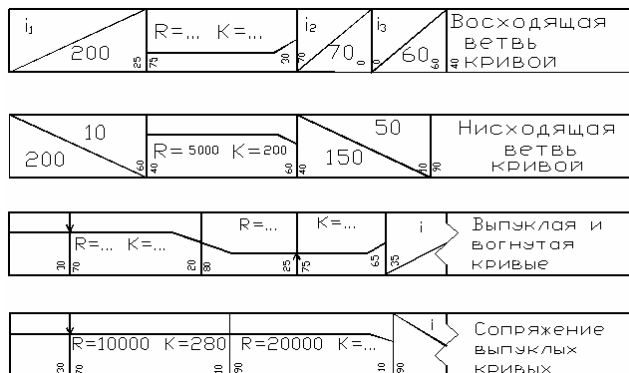


Рис. 3.13. Обозначение вертикальных кривых и прямых

На участках перехода насыпи в выемку определяют положение нулевых точек (рабочие отметки в которых равны нулю), вычисляя расстояние X :

$$X = \frac{h_n \cdot l}{h_n + h_v} = \frac{2,4}{2,4 + 2,6} \cdot 100 = 48 \text{ м},$$

где h_n , h_v – рабочие отметки (высота насыпи и глубина выемки);
 l – длина участка.

Положение нулевой точки показывают пунктиром от проектной линии до верха геологического профиля и от низа геологического профиля до графы 1 (см. табл. 3.7). На пунктире, ниже геологического профиля, указывают расстояния до соседних пикетов.

3.2.15. Системы водоотвода

Для предохранения земляного полотна от переувлажнения поверхностными водами и размывов, а также для обеспечения производства работ по сооружению земляного полотна следует предусматривать

системы поверхностного водоотвода (планировку территории, устройство кюветов, канав, лотков, быстротоков, поглощающих колодцев).

Кюветы следует устраивать в выемках и у малых насыпей для сбора и отвода воды, стекающей с поверхности земляного полотна, а также для приема воды, поступающей из дренажных устройств дорожной одежды. Глубину кювета следует назначать на 0,1–0,2 м ниже устья дренажных устройств или низа дренирующего слоя дорожной одежды в точке выхода его на откос. Крутизна внешних откосов кюветов в выемке и канав должна быть не менее 1:2.

При отсутствии дренажа глубина кювета, считая от бровки земляного полотна, в зависимости от вида грунтов должна составлять, м, не менее:

- 0,3 – в непылеватых песках;
- 0,6 – в непылеватых супесях;
- 0,8 – в суглинках и глинах;
- 0,9 – в пылеватых грунтах.

Дно кювета должно иметь продольный уклон не менее 5 ‰ и в исключительных случаях – не менее 3 ‰. Для канав, расположенных на расстоянии не менее 4 м от подошвы насыпи, допускается уклон дна не менее 1 ‰.

Наибольший продольный уклон водоотводных сооружений следует определять в зависимости от вида грунта, типа укрепления откосов и дна канавы с учетом допускаемой по размыву скорости течения. При невозможности обеспечения допустимых уклонов следует предусматривать быстротоки, перепады и водобойные колодцы.

На дорогах I-а, I-б, I-в и II–IV категорий на участках насыпей высотой более 3 м, при продольных уклонах более 30 ‰, а также у вершин вогнутых кривых в продольном профиле с радиусом 8000 м и менее следует предусматривать мероприятия против размыва обочин и откосов.

При проектировании водоотводных сооружений для отвода воды с поверхностей мостовых сооружений и дорожного полотна вероятность превышения следует принимать, %:

- для дорог I-а, I-б, I-в и II категорий – 1;
- для дорог III и IV категорий – 2;
- для дорог V категории – 3.

Грунтовые и поверхностные воды, которые могут влиять на прочность и устойчивость земляного полотна или на условия производства работ, следует перехватывать или понижать дренажными устройствами.

Проектирование кюветов включает:

- 1) проектирование продольного профиля дна кювета;
- 2) назначение укрепления кюветов.

При проектировании продольного профиля дна кювета возможны два случая:

1. Уклон проектной линии на участке дороги, где необходим кювет не менее 5 ‰.
2. Уклон проектной линии менее 5 ‰.

Случай 1.

Дно кювета располагают параллельно проектной линии ниже бровки обочины на глубину кювета h_k . В этом случае графы 6 и 9 (см. табл. 3.7) не заполняют, а в графах 5 и 8 указывают глубину кювета (например, $h_k = 0,8$) и пикетное положение (расстояние до ближайшего пикета) начала и конца кювета. Положение начала (конца) кювета определяют следующим образом. Вычисляют высоту насыпи, при которой начинается (заканчивается) кювет:

$$h_{нк} = h_k \Delta Y, \quad (3.32)$$

где h_k – принятая глубина кювета;

ΔY – разность отметок оси дороги и бровки обочины:

$$\Delta Y = i_n \cdot (0,5b + c) + i_o (a - c), \quad (3.33)$$

где i_n, i_o – поперечные уклоны проезжей части и обочины;

b – ширина проезжей части двухполосной дороги или одного направления дороги I категории;

a, c – ширина обочины и укрепленной полосы (на дороге категории I-а вместо укрепленной полосы проектируют остановочную полосу шириной 2,50 м).

Для случая, когда дно кювета параллельно проектной линии, сравнивают рабочие отметки насыпей, ближайших к выемке, величиною $h_{нк}$.

Если $h_n > h_{нк}$ (рис. 3.14, а), то расстояние от поперечника с рабочей отметкой h_n до начала кювета

$$X_k = l \cdot \frac{h_n - h_{нк}}{h_n + h_b}. \quad (3.34)$$

Если $h_n < h_{нк}$, то начало кювета будет располагаться между поперечниками с рабочими отметками h'_n и h''_n (рис. 3.14, б), $h'_n > h'_{нк}$ и $h''_n < h'_n$, $h''_n < h'_{нк}$.

$$X_k = \frac{h'_n - h_{нк}}{h'_n - h''_n}, \quad (3.35)$$

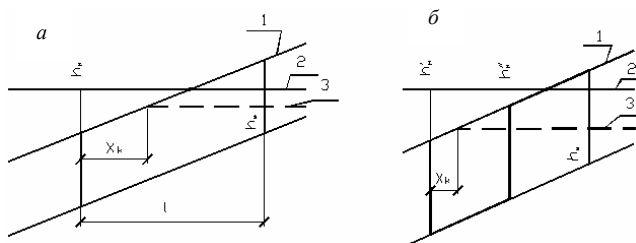


Рис. 3.14. Схема к определению начала (конца) кювета в случае расположения дна кювета параллельно проектной линии:
1 – черный профиль; 2 – проектная линия; 3 – дно кювета

Пример 5. Дорога III технической категории. Рабочие отметки на пикетах 10+00; 11+00; 12+00 соответственно равны +2,16; +1,16; –0,84 (выемка). Дно кювета расположено параллельно проектной линии. Требуется вычислить пикетное положение начала кювета при его глубине 0,8 и 1,20 м.

Вычислим разность отметок проектной линии и бровки обочины для дороги III технической категории по формуле (3.33):

$$\Delta Y = 0,02 \cdot (0,5 \cdot 7,0 + 0,5) + 0,04 \cdot (2,5 - 0,5) = 0,08 + 0,08 = 0,16 \text{ м.}$$

При глубине кювета 0,8 м –

$$h_{нк} = 0,8 + 0,16 = 0,96 \text{ м.}$$

Ближайшая к выемке насыпь на пикете 11+00 имеет высоту 1,16 м, $1,16 > 0,96$.

Начало кювета расположено между ПК11+00 и ПК12+00 на расстоянии X_k от ПК11+00. По формуле (3.34) вычислим величину X_k :

$$X_k = 100 \cdot \frac{1,16 - 0,96}{1,16 + 0,84} = 100 \cdot \frac{0,2}{2,0} = 10 \text{ м.}$$

При глубине кювета 1,20 м –

$$h_{нк} = 1,20 + 0,16 = 1,36 \text{ м.}$$

На ПК10+00 $h'_н = 2,16$, т. е. $h'_н > h_{нк}$ (см. рис. 3.14, б), а на ПК11+00 $h''_н = 1,16$, т. е. $h''_н < h_{нк}$.

Начало кювета будет находиться на расстоянии $X_к$ от ПК10+00, и величина $X_к$ вычисляется по формуле (3.35):

$$X_к = 100 \cdot \frac{2,16 - 1,36}{2,16 - 1,16} = 80 \text{ м.}$$

Случай 2.

Уклоны проектной линии на участке дороги, где необходим кювет, – менее 5 ‰. Такие участки могут быть на вертикальных кривых и на прямых. Для обеспечения продольного отвода воды кюветы проектируют раздельно (непараллельно проектной линии) с минимальным уклоном $i = 5 \text{ ‰}$ (3 ‰ – в исключительных случаях для равнинной местности).

Если проектная линия – прямая с уклоном менее 5 ‰, то проектирование продольного профиля дна кюветов выполняется следующим образом:

1. Намечают водораздельную точку A на середине выемки при $0 < i < 5 \text{ ‰}$ таким образом, чтобы обеспечить минимальное увеличение объема выемки за счет увеличения глубины кювета.

2. Вычисляют отметки дна кювета с уклонами $i = 5 \text{ ‰}$ в стороны от водораздельной точки до выхода на поверхность земли, а также пикетное положение начала и конца кювета по данным об отметках черного профиля $H'_ч$ и $H''_ч$ и дна кювета $H'_к$ и $H''_к$ (рис. 3.15).

Вычисляют расстояние от поверхности земли до фактического дна кювета в выемке –

$$a_в = H''_ч - H''_к$$

и до условного дна кювета в насыпи –

$$a_н = H'_ч - H'_к.$$

Расстояние до начала кювета –

$$X_к = \frac{a_н}{a_н + a_в}.$$

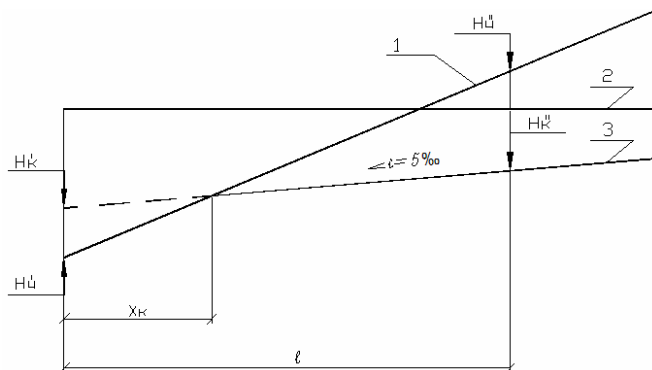


Рис. 3.15. Схема к определению положения начала кювета при раздельном проектировании:
1 – черный профиль; 2 – проектная линия; 3 – дно кювета

Пример 6. Дорога IV технической категории на участке выемки (ПК11+00 – ПК13+00) проходит с уклоном 0 ‰ и имеет отметку проектной линии 85,63, $h_k = 1,00$ м. Отметки черного профиля на пикетах 10+00, 11+00, 12+00, 13+00 и 14+00 соответственно 80,50; 85,00; 85,50; 85,00; 82,00.

Требуется запроектировать кювет с уклоном дна 5 ‰ при минимальной глубине кювета 1,00 м.

Для дороги IV категории разность отметок оси и бровки

$$\Delta Y = i_n \cdot (b + c) + i_o (a - c) = \\ = 0,02 \cdot (3,0 + 0,5) + 0,04 \cdot (2,0 - 0,5) = 0,13 \text{ м.}$$

Вычислим отметку дна кювета на ПК12+00:

$$H_{\kappa_{12}} = H_{n_{12}} - h_k - \Delta Y = 85,63 - 1,00 - 0,13 = 84,50 \text{ м.}$$

От пикета 12+00 запроектируем дно кювета с уклоном 5 ‰ (см. табл. 3.7, графа 5) до выхода на поверхность земли.

Вычислим отметки дна кювета на пикетах 11+00, 10+00, 13+00:

$$H_{\kappa_{11}} = H_{\kappa_{12}} - 0,005 \cdot l = 84,50 - 0,005 \cdot 100 = 84,00;$$

$$H_{\kappa_{13}} = H_{\kappa_1};$$

$$H_{\kappa_{10}} = 84,00 - 0,005 \cdot 100 = 83,50;$$

$$H_{\kappa_{14}} = H_{\kappa_{10}}.$$

Для определения положения и отметки конца кювета сопоставим отметки дна кювета и поверхности земли (черные отметки) на пикетах 10+00 и 11+00.

На пикете 11+00 дно кювета имеет отметку 84,00, а поверхность земли – 85,00, т. е. оно расположено ниже поверхности земли на 1,00 м. На пикете 10+00 условное дно кювета выше поверхности земли на величину $83,50 - 80,50 = 3,00$ м. Кювет начинается на ПК10+00 + X_{κ} :

$$X_{\kappa} = 100 \cdot \frac{3,00}{3,00 + 1,00} = 75 \text{ м.}$$

Заносим положение начала кювета в графу 5 табл. 3.7.

Вычисляем отметку дна начала кювета:

$$H_{\text{нк}} = H_{\kappa_{11}} = -0,005 \cdot 25 = 84,00 - 0,12 = 83,85 \text{ м.}$$

Для определения положения и отметки конца кювета сопоставим отметки дна кювета и поверхности земли на пикетах 13+00 и 14+00:

$$a_{\text{в}} = 85,00 - 84,00 = 1,00; \quad a_{\text{н}} = 83,50 - 82,00 = 1,50 \text{ м.}$$

Кювет заканчивается на ПК13 + X_{κ} :

$$X_{\kappa} = l \cdot \frac{a_{\text{в}}}{a_{\text{в}} + a_{\text{н}}} = 100 \cdot \frac{1,00}{1,00 + 1,50} = 40 \text{ м.}$$

Отмечаем положение конца кювета на пикете 13+40 в графе 5 и вычисляем отметку дна в конце кювета:

$$H_{\text{кк}} = H_{\kappa_{13}} - 0,005 \cdot 40 = 84,00 - 0,20 = 83,80.$$

Проектирование продольного профиля дна кювета на участках выпуклых кривых (выемки, низкие насыпи) выполняется следующим образом:

1) по формуле (3.33) вычисляется снижение бровки обочины ΔY . Так, для дороги IV категории $\Delta Y = 0,020 (3,0 + 0,5) + 0,04 (2,0 - 0,5) = 0,13$ м;

2) под вершиной выпуклой кривой (ниже ее на глубину кювета $h_k + \Delta Y$) намечают водораздельную точку A (рис. 3.16), ее отметку записывают в графы 8 и 11 (см. табл. 3.7);

3) вычисляют отметки дна кювета справа и слева от точки A на участке длиной $l = iR$ при уклоне дна кювета $i = 5 \text{ ‰}$ ($l = 0,01 R$ при $i = 5 \text{ ‰}$) и записывают в графы 6, 9; уклон i и расстояние l записывают в графы 5, 8 табл. 3.7;

4) за пределами участка BC раздельного проектирования на BD и CM кювет проектируют параллельно бровке земляного полотна (см. случай 1) до выхода на поверхность земли (до точек D и M).

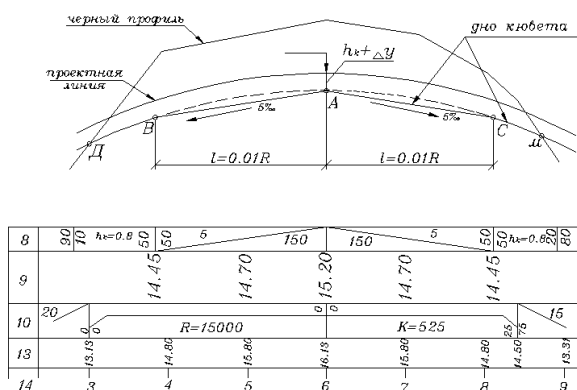


Рис. 3.16. Пример раздельного проектирования продольного профиля дна кювета на участке выпуклой вертикальной кривой

Для предотвращения размыва дно и стенки кювета укрепляют. Применяют следующие типы укрепления в зависимости от продольного уклона:

- 1) засев трав с планировкой при уклонах до 20 ‰;
- 2) одерновка откосов и укрепление дна гравием (щебнем) при продольных уклонах дна до 30 ‰;
- 3) мощение откосов и дна камнем, бетонными плитами при уклоне 30–50 ‰;
- 4) перепады, быстротоки при уклоне свыше 50 ‰.

Типы укрепления назначают по величине продольного уклона проектной линии и записывают в графы 3, 7 (см. табл. 3.7): «одерновка», «мощение» и т. д. Там же отмечают границы принятых типов укрепления.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ

4.1. Тип поперечного профиля дороги (насыпь, выемка) и конструирование земляного полотна

Поперечный профиль – разрез дороги вертикальной плоскостью перпендикулярно к ее продольной оси. Включает в себя следующие элементы:

а) проезжая часть – главный конструктивный элемент, обеспечивающий движение транспорта определенной грузоподъемности с определенной скоростью;

б) обочина – боковая полоса, примыкающая к проезжей части, служащая опорой для дорожной одежды и позволяющая повышать безопасность движения, предназначенная для вынужденной остановки автомобиля;

в) водоотводные сооружения – продольные каналы, расположенные по краям земляного полотна и сопрягаемые с откосами;

г) обрезы – полосы между отводящими сооружениями и границами полос отвода (устройство мест отдыха, объездные пути);

д) кювет – резерв, уширенный элемент, устраиваемый для сведения насыпи;

е) резерв – отличается от кювета устройством между откосами насыпи и резерва бермы полосы шириной не менее 1 м;

ж) полоса отвода – участок земли, на котором размещают все перечисленные элементы дороги и дорожные сооружения.

Земляное полотно проектируют в виде насыпей и выемок. Оно включает следующие элементы:

- верхнюю часть земляного полотна (рабочий слой);
- нижнюю часть насыпи (часть полотна, располагающуюся ниже рабочего слоя);
- откосные части насыпи или выемки;
- основание насыпи (массив грунта, на поверхности которого возводится насыпь);
- основание выемки (массив грунта ниже границы рабочего слоя);
- устройства для поверхностного водоотвода;
- устройства для понижения или отвода грунтовых вод (дренаж);
- поддерживающие и защитные геотехнические устройства и конструкции, предназначенные для защиты земляного полотна от опасных геологических процессов (эрозии, оползней и т. п.).

Природные условия района строительства дороги характеризуются комплексом погодно-климатических факторов с учетом деления территории Республики Беларусь на три дорожно-климатических района в соответствии с прил. Е [8].

Внутри районов, в зависимости от рельефа, почвенно-грунтовых, геологических и гидрологических условий, выделяют участки местности, по характеру и степени увлажнения, делящиеся на три типа, признаки которых приведены в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1. Типы местности по характеру и степени увлажнения

Тип местности	Источники увлажнения	Характерные признаки
1 (сухие места)	Атмосферные осадки	Поверхностный сток обеспечен. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение грунтов. Почвы без признаков заболачивания
2 (сырые места)	Кратковременно стоящие (до 30 сут) поверхностные воды; атмосферные осадки	Поверхностный сток не обеспечен. Рельеф местности равнинный. Весной и осенью возможен застой воды на поверхности почвы. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение грунтов. Почвы с признаками заболачивания
3 (мокрые места)	Грунтовые или длительно стоящие (более 30 сут) поверхностные воды; атмосферные осадки	Источники увлажнения оказывают влияние на увлажнение почвы и грунтов независимо от условий поверхностного стока. Почвы заболоченные

П р и м е ч а н и я. 1. Подземные воды не оказывают влияния на увлажнение верхней толщ грунтов в случае, если их уровень в предморозный период залегает ниже глубины промерзания не менее чем:

- на 2,0 м – в глинах, суглинках тяжелых пылеватых и тяжелых;
- 1,5 м – в суглинках легких пылеватых и легких, супесях тяжелых пылеватых и пылеватых;
- 1,0 м – в супесях легких, легких крупных и песках пылеватых.

2. Отвод поверхностного стока считается обеспеченным при уклонах поверхности грунта в придорожной полосе более 2 %.

При проектировании земляного полотна следует применять типовые или индивидуальные решения.

Индивидуальные решения, а также привязку типовых решений следует применять при соответствующих обоснованиях и выполнении расчетов устойчивости:

- для насыпей и выемок с высотой откоса более 12 м;

- для насыпей на участках временного подтопления, а также при пересечении постоянных водоемов и водотоков;
- для насыпей, сооружаемых на болотах глубиной более 5 м с выторфовыванием или при наличии поперечных уклонов дна болота более 1:10;
- для насыпей, сооружаемых на слабых основаниях;
- при использовании для насыпей грунтов повышенной влажности;
- при возвышении низа дорожной одежды над расчетным уровнем воды менее указанного в табл. 4.1;
- при сооружении насыпей на просадочных грунтах;
- для выемок в слоистых толщах, имеющих наклон пластов в сторону проезжей части;
- для выемок, вскрывающих водоносные горизонты или имеющих в основании водоносный горизонт, а также в глинистых грунтах с коэффициентом консистенции более 0,5;
- для выемок с высотой откоса более 6 м в пылеватых грунтах в местах избыточного увлажнения, а также в глинистых грунтах, теряющих прочность и устойчивость в откосах под воздействием погодно-климатических факторов;
- для выемок в набухающих грунтах при неблагоприятных условиях увлажнения;
- для насыпей и выемок, сооружаемых в сложных инженерно-геологических условиях: на косогорах круче 1:3, на участках с наличием или возможностью развития оползневых явлений, оврагов;
- при возведении земляного полотна с применением взрывов или гидромеханизации;
- при проектировании периодически затопляемых дорог при пересечении водотоков.

Следует также проектировать индивидуально водоотводные, дренажные, поддерживающие, защитные и другие сооружения, обеспечивающие устойчивость земляного полотна в сложных условиях, а также участки сопряжений земляного полотна с мостами и путепроводами.

4.2. Насыпи и выемки

Для насыпей разрешается без ограничений применять грунты и отходы промышленности, незначительно меняющие прочность и устойчивость под воздействием погодно-климатических факторов. Грунты, а также отходы промышленного производства, изменяющие прочность

и устойчивость под воздействием этих факторов и нагрузок с течением времени, в том числе особые грунты, допускается применять с ограничениями, обосновывая в проекте их применение результатами испытаний. В необходимых случаях следует предусматривать специальные конструктивные меры по защите неустойчивых грунтов от воздействия погодно-климатических факторов.

На сопряжениях с мостами насыпи поверху не менее высоты насыпи плюс 2 м (считая от устоя) и понизу не менее 2 м необходимо проектировать из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут.

Насыпи следует проектировать с учетом несущей способности основания.

Крутизну откосов насыпей, укрепленных посевом трав, следует назначать в соответствии с табл. 4.2.

Таблица 4.2. **Наибольшая крутизна откосов при высоте откоса насыпи**

Грунты насыпи	Наибольшая крутизна откосов при высоте откоса насыпи, м		
	До 6	До 12, в т. ч.	
		в нижней части – до 6	в верхней части – от 6 до 12
Крупнообломочные грунты, пески крупные, пески средней крупности	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Пески мелкие, пески пылеватые	1:1,5	1:2	1:1,5
Глинистые грунты	1:1,75	1:2	1:1,75

В целях обеспечения безопасного съезда транспортных средств в аварийных ситуациях крутизну откосов насыпи высотой до 3 м следует предусматривать для дорог I-а категории 1:4, для дорог I-б, I-в и II категорий – 1:3. Для дорог III и IV категорий крутизну откосов 1:3 следует предусматривать при высоте насыпи до 2 м. При необходимости установки ограждений, а также при большей высоте насыпи крутизну откосов назначают исходя из технологических соображений планировки и содержания откосов, рационального использования земель, при этом крутизна не должна превышать значений, приведенных в табл. 4.2.

При укреплении откосов конструкциями из бетона, железобетона и других материалов крутизна откосов определяется конструктивными требованиями к соответствующему типу укреплений.

При проектировании насыпей высотой более 12 м в зависимости от конкретных условий следует определять расчетами:

- возможную величину и продолжительность осадки насыпи за счет ее доуплотнения под действием собственного веса;

- очертание поперечного профиля, обеспечивающее устойчивость откосов насыпи;

- безопасную нагрузку на основание, исключаящую процессы бокового выдавливания грунта;

- величину и продолжительность осадки основания насыпи за счет его уплотнения под нагрузкой от веса насыпи.

Высоту насыпей и оградительных дамб у средних и больших мостов и на подходах к ним, а также насыпей на поймах следует назначать с таким расчетом, чтобы бровка дорожного полотна возвышалась не менее чем на 0,5 м, а бровка незатопляемых регуляционных сооружений и берм – не менее чем на 0,25 м над расчетным горизонтом воды с учетом подпора и высоты волны с набегом ее на откос.

Бровка дорожного полотна на подходах к малым мостам и трубам должна возвышаться над расчетным горизонтом воды с учетом подпора не менее чем на 0,5 м при безнапорном режиме работы сооружения и не менее чем на 1 м – при напорном и полупонапорном режимах.

Вероятность превышения расчетного паводка при проектировании насыпей на подходах к мостам следует принимать, %:

- для дорог I-а, I-б, I-в, II и III категорий – 1;
- для дорог IV категории – 2;
- для прочих дорог – 3.

На подходах к трубам вероятность превышения расчетного паводка следует принимать, %:

- для дорог I-а, I-б и I-в категорий – 1;
- для дорог II и III категорий – 2;
- для прочих дорог – 3.

Возвышение бровки обочины над расчетным уровнем снегового покрова (при расчетной вероятности превышения 5 %) следует принимать, м:

- для дорог I-а категории – 1,2;
- для дорог I-б и I-в категорий – 1,0;
- для дорог I и III категорий – 0,7;
- для дорог IV и V категорий – 0,5.

Наибольшую крутизну откосов выемок, при высоте откоса до 12 м в песчаных и глинистых грунтах, следует назначать 1:1,5.

На снегозаносимых участках выемки глубиной до 1 м следует проектировать раскрытыми с крутизной откосов от 1:5 до 1:10 или разделанными под насыпь; при глубине 1–5 м выемки следует проектировать с кювет-резервами или закюветными полками шириной не менее 3 м.

4.3. Поперечные профили земляного полотна

Поперечные профили земляного полотна проектируют одновременно с продольным профилем дороги.

В курсовом проекте должны быть представлены типовые поперечные профили земляного полотна в соответствии с рабочими отметками, видом грунта, с учетом обеспечения устойчивости откосов, требований безопасности движения, незаносимости дороги снегом, минимальной стоимости строительства.

4.4. Типовые поперечные профили насыпей

Поперечные профили земляного полотна вычерчивают на миллиметровой бумаге в масштабе 1:200 или 1:100. Вертикальный и горизонтальный масштабы одинаковые. Типовым поперечникам присваивают номера (тип 1, тип 2 и т. д.), в соответствии с которыми в графе 3 табл. 3.7 продольного профиля указывают их наименование и границы применения с расстояниями до ближайших пикетов.

1. **Низкие насыпи** (рис. 4.1) высотой до 3 м на дорогах I–II категорий и до 2 м на дорогах III–IV категорий. Заложение откосов (1:4 или 1:3) назначается по условиям безопасности движения. Нормы предусматривают крутизну откоса 1:4 для дорог категории I-а (для автомагистралей) и 1:3 для дорог I-б, I-в, II–IV категорий.

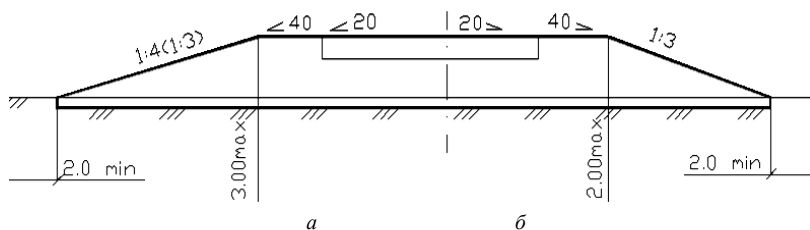


Рис. 4.1. Поперечные профили низких насыпей на дорогах:
а – I–II категорий; б – III–IV категорий

2. **Высокие насыпи высотой от 2 (3) до 12 м** (рис. 4.2). Крутизна откосов назначается минимальной по условиям их устойчивости: $m_1 = 1,5$ при мелких и пылеватых песках, $m_1 = 1,75$ при глинистых грунтах.

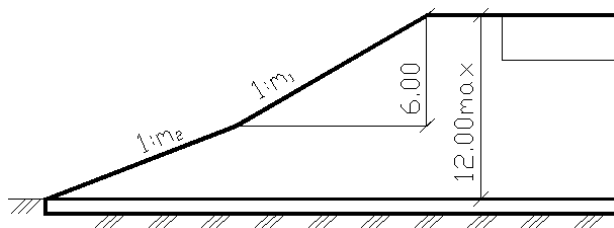


Рис. 4.2. Поперечные профили насыпей по условиям устойчивости откосов

Для повышения устойчивости откоса нижнюю его часть при высоте насыпи более 6 м проектируют более пологой ($m_2 = m_1 + 0,25$).

4.5. Типовые поперечные профили выемок

На открытых участках местности по условиям снегозаносимости дороги мелкие выемки проектируют раскрытыми (рис. 4.3, а) или разделанными под насыпь (рис. 4.3, б), в выемках глубиной до 5 м откос выемки отдалают от дороги путем устройства закуветной полки (кювет-резерва) шириной не менее 3,0 м (рис. 4.4). Заложение откоса со стороны обочины принимают 1:4 для дорог категории I-а и 1:3 для дорог I-б – IV категорий по условиям безопасности движения, аналогично заложению откосов низких насыпей (см. рис. 4.1).

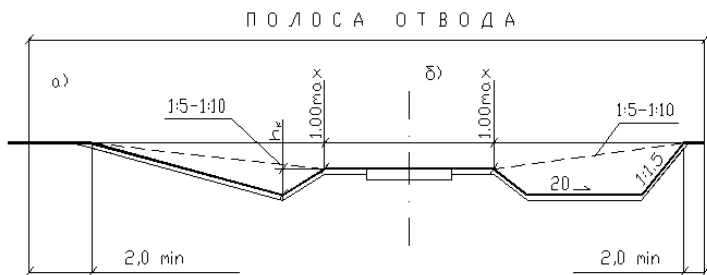
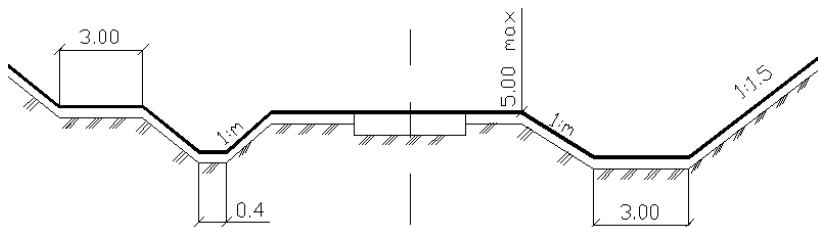


Рис. 4.3. Поперечный профиль мелкой выемки на открытой местности



На снегонезаносимых участках выемки глубиной 0–12 м проектируют с заложением откосов 1:1,5 по условиям их устойчивости (см. рис. 4.3, *а*). Такой же поперечный профиль имеют выемки глубиной 5–12 м на снегозаносимых участках местности (рис. 4.5).

Заложение откосов со стороны обочины принимают 1:4 для дороги категории I-а и 1:3 для дорог I-б – IV категорий.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ

5.1. Определение параметров земляного полотна

Объемы земляных работ включают в себя объемы насыпей, выемок, присыпных обочин, кюветов, снимаемого плодородного слоя.

Для принятой конструкции дорожной одежды вычисляют ширину верха земляного полотна B , снижение Δh бровки верха земляного полотна относительно проектной линии (оси проезжей части). Предварительно определяют разность отметок оси проезжей части и бровки обочины ΔY по формуле (5.3), а также разность отметок проектной линии и бровки верха земляного полотна (рис. 5.1):

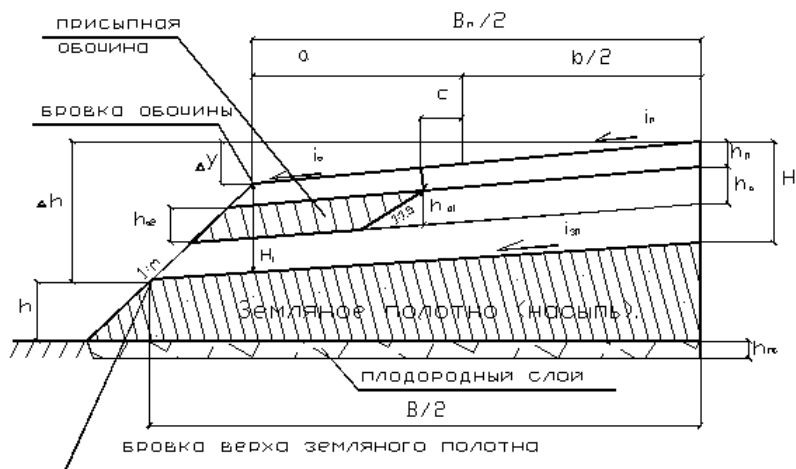


Рис. 5.1. Схема к определению объема насыпи и присыпных обочин

$$\Delta h = H_1 + i_{\text{сп}} \cdot m \cdot H_1 + \Delta Y; \quad (5.1)$$

$$H_1 = H - (i_{\text{п}} - i_{\text{сп}}) \cdot (0,5b + c) - (i_{\text{о}} - i_{\text{сп}}) \cdot (a - c); \quad (5.2)$$

$$\Delta Y = i_{\text{о}}(a - c) + i_{\text{п}}(b + c), \quad (5.3)$$

где H – толщина дорожной одежды по оси проезжей части;
 $i_{\text{сп}}$ – поперечный уклон верха земляного полотна ($i_{\text{сп}} = 0,03$);
 m – заложение относа насыпи;

i_n – поперечный уклон проезжей части;

i_o – поперечный уклон обочины;

b – ширина проезжей части дорог II–VI категорий или одного направления дороги I категории;

c – ширина укрепительной полосы;

a – ширина обочины.

Ширина верха земляного полотна:

$$B = B_n + 2m (\Delta h - \Delta y), \quad (5.4)$$

где B_n – ширина дорожного полотна (расстояние между бровками обочины).

5.2. Определение объемов насыпей

Объем насыпи при высоте до 6,0 м на участке длиной l равен

$$W_n = (Bh + mb^2 + 0,25 \cdot i_{zn} B) \cdot l, \quad (5.5)$$

где m – заложение откоса насыпи;

h – средняя высота земляного полотна в насыпи, определяемая по формуле

$$h = 0,5 \cdot (h_1 + h_2) - \Delta h, \quad (5.6)$$

где h_1 и h_2 – рабочие отметки в начале и конце участка насыпи длиной l .

Объем плодородного слоя толщиной h_{nc} , снимаемого из-под насыпи,

$$W_{nc} = (B + 2 \cdot m \cdot h) \cdot l \cdot h_{nc}. \quad (5.7)$$

Общий объем насыпи

$$W_{но} = W_n + W_{nc}.$$

При высоте насыпи более 6 м объем насыпи

$$W_n = \left[Bh + mh^2 + 0,25 \cdot i_{zn} B^2 + 0,25 \cdot (h + \Delta h - 6)^2 \right] \cdot l.$$

Объем плодородного слоя

$$W_{nc} = \left[B + 2m \cdot (6 - \Delta h) + 2(m + 0,25) \cdot (h + \Delta h - 6) \right] \cdot h_{nc} \cdot l.$$

5.3. Определение объемов выемок

Объем выемки (рис. 5.2) протяжением l вычисляют по формуле

$$W = (B_1 h + m_1 h^2 - 0.25 \cdot i_{\text{зн}} B^2) \cdot l, \quad (5.8)$$

где B_1 – ширина выемки по низу (рис. 5.2);

$i_{\text{зн}}$ – поперечный уклон верха земляного полотна ($i_{\text{зн}} = 0,03$);

h – средняя глубина выемки;

m_1 – заложение откосов со стороны местности;

B – расстояние между бровками верха земляного полотна (см. рис. 5.1), вычисляемое по формуле (5.4).

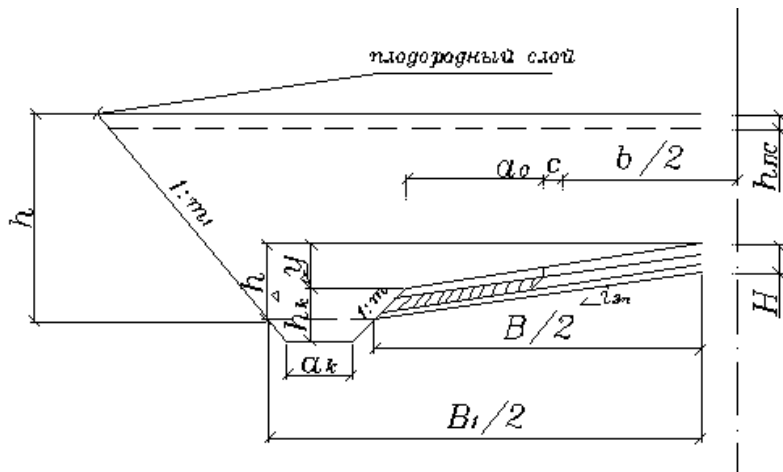


Рис. 5.2. Схема к определению объема выемки

$$B_1 = B + 2 \cdot (m + m_1) \cdot (h_k - \Delta h + \Delta y) + 2a_k, \quad (5.9)$$

где m – заложение откоса со стороны обочины;

h_k, a_k – глубина и ширина кювета (кювет-резерва).

$$h = 0,5 \cdot (h_1 + h_2) + \Delta y + \Delta h, \quad (5.10)$$

где h_1 и h_2 – рабочие отметки на концах участка выемки длиной l ;

Δy – разность отметок проектной линии и бровки обочины, вычисляется по формуле (5.3);

Δh – расстояние от бровки верха земляного полотна до бровки обочины, вычисляется по формуле (5.1).

Объем плодородного слоя, снимаемого до разработки грунта выемки на участке длиной l :

$$W_{\text{пс}} = (B_1 + 2 \cdot m_1 \cdot h) \cdot h_{\text{пс}} \cdot l, \quad (5.11)$$

где B_1 – ширина выемки по низу, вычисляется по формуле (5.9);

$h_{\text{пс}}$ – толщина плодородного слоя.

Общий объем выемки

$$W_{\text{во}} = W_{\text{в}} - W_{\text{пс}}.$$

6. КОНСТРУКЦИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

6.1. Элементы земляного полотна и общие требования к земляному полотну

Основные элементы земляного полотна:

- верхняя часть земляного полотна (рабочий слой) – зона, ограниченная по высоте снизу глубиной, равной $2/3$ глубины промерзания, но не менее 1,5 м, считая от верха покрытия; для выемок, участков с нулевыми отметками или низких насыпей в рабочий слой могут попадать грунты в природном залегании с ненарушенной структурой;

- откосная часть – зоны, ограниченные поверхностями откосов и вертикалями, проходящими через бровки насыпей или выемок; снизу откосные зоны ограничены основанием насыпи или выемки;

- ядро насыпи – зона, расположенная ниже рабочего слоя и ограниченная снизу основанием насыпи, а с боков – вертикалями, проходящими через бровки насыпи;

- основание насыпи – зона, расположенная под насыпью в пределах естественной грунтовой толщи; мощность основания, принимаемая в расчет, устанавливается в зависимости от инженерно-геологических условий, в частности от свойств грунтов, но не менее ширины насыпи понизу;

- основание выемки – зона, расположенная ниже нижней границы рабочего слоя; мощность основания, учитываемая при проектировании, устанавливается в зависимости от инженерно-геологических условий грунтового массива и может достигать размера, равного заложению откоса.

В состав земляного полотна входят также система поверхностного водоотвода (лотки, кюветы, канавы) и различного типа специальные удерживающие и поддерживающие конструкции, предназначенные для обеспечения устойчивости самого земляного полотна или склонов, на которых оно располагается.

Земляное полотно должно быть прочным, устойчивым и стабильным, т. е. его элементы не должны разрушаться или давать деформации, недопустимые с точки зрения нормальных условий эксплуатации дороги с учетом условий и срока ее службы.

Для обеспечения устойчивости различных элементов земляного полотна предусматриваются соответствующие мероприятия, отвечающие механизму нарушения прочности и устойчивости данного эле-

мента. В число таких мероприятий входят: соответствующий выбор грунтов для насыпей; обеспечение правильного расположения и требуемой степени уплотнения грунта; защита грунта от источников увлажнения устройством дренажей, гидроизоляции и т. д.; защита от опасных температурных воздействий, от эрозии, волновых воздействий, правильное назначение геометрических параметров, конструкций поперечного сечения, а также высоты насыпей и глубины выемок. Указанные мероприятия необходимо проводить комплексно с учетом местных условий, а также категории дороги, типа покрытия и др.

Земляное полотно устраивают в виде насыпей или в выемках. Высота насыпей или глубина выемок определяются в результате проектирования продольного профиля. Наиболее рациональное решение при сложном рельефе получают при проектировании продольного профиля совместно с земляным полотном.

При назначении конструкции земляного полотна учитывают категорию дороги, тип дорожной одежды, высоту насыпи или глубину выемки, свойства грунтов, используемых в земляном полотне, особенности инженерно-геологических условий того или иного участка дороги (характер и условия залегания грунтов, наличие подземных и поверхностных вод, возможное влияние опасных геологических процессов и т. д.), комплекс природных особенностей района строительства. Кроме того, учитывают условия производства работ (сезонность, наличие техники, сроки строительства и т. д.), а также опыт эксплуатации дорог в данном районе.

Геометрическая форма земляного полотна и его конструкция должны способствовать снегонезаносимости, безопасности движения, а также отвечать эстетическим требованиям.

Могут применяться типовые конструкции земляного полотна или индивидуальные решения. В ряде случаев используют типовые конструкции с индивидуальной привязкой, при которой уточняют некоторые параметры (например, осадку основания насыпи и т. п.). Для типовых решений головными проектными организациями составляются альбомы типовых конструкций.

Индивидуальные решения или индивидуальную привязку типовых решений осуществляют во всех случаях, когда необходимы проверка устойчивости откосов или склона, на котором расположено земляное полотно, оценка устойчивости или деформаций основания насыпи, учет возможных посадок за счет доуплотнения слоев самой насыпи, меры по защите земляного полотна от опасных геологических процес-

сов, специальный учет неблагоприятных свойств особых грунтов, в случаях применения нетрадиционных конструктивных мер и т. д.

Для насыпей такие решения необходимы в следующих случаях: при их высоте более 12 м; на участках временного подтопления, а также при пересечении постоянных водотоков и водоемов; при наличии слабых оснований, сложенных просадочными грунтами; на болотах глубиной более 4 м при применении выторфовывания; на болотах при поперечном уклоне дна болота более 1:10; при использовании в насыпях грунтов повышенной влажности; при недостаточном возвышении земляного полотна над уровнем грунтовых или поверхностных вод (низкие насыпи и так называемые «нулевые места»); при применении конструкции земляного полотна со специальными прослойками (термоизолирующими, гидроизолирующими, армирующими и др.) или при специальном поперечном профиле (откосы повышенной крутизны, сложный поперечный профиль и т. п.); при использовании в насыпи грунтов особых разновидностей.

6.2. Грунты для земляного полотна и требования к ним

В соответствии с существующей классификацией грунты разделяют на две группы: глинистые и обломочные несцементированные (табл. 6.1 и табл. 6.2).

Таблица 6.1. Классификация грунтов для проектирования и сооружения земляного полотна (глинистые грунты)

Грунт	Содержание песчаных частиц массы сухого грунта	Число пластичности
Супесь:		
легкая крупная	Более 50	—
легкая	50	—
пылевая	20–50	1–7
тяжелая пылевая	Менее 20	
Суглинок:		
легкий	Более 40	7–12
легкий пылеватый	Менее 40	7–12
тяжелый	Более 40	12–17
тяжелый пылеватый	Менее 40	12–17
Глина:		
песчанистая	Более 40	17–27
пылеватая	Менее 40	17–27
жирная	Не формируется	Более 27

Таблица 6.2. Классификация грунтов для проектирования и сооружения земляного полотна (несцементированные обломочные грунты)

Грунт	Масса частиц по крупности, массы сухого грунта
Крупнообломочный: щебенистый (при преобладании окатанных частиц – галечниковый)	Крупнее 10 мм – более 50
жестяный (при преобладании окатанных частиц – гравий)	Крупнее 2 мм – более 50
Песок: гравелистый	Крупнее 2 мм – менее 50, но не более 25
крупный	0,5 мм – более 50
средней крупности	0,25 мм – более 50
мелкий	0,1 мм – более 75
пылеватый	То же, менее 75

П р и м е ч а н и е. При содержании частиц крупнее 2 мм в количестве 25–50 % наименование грунта дополняют словом гравелистый при окатанных частицах и щебенистый – при острогранных, неокатанных частицах. Для легкой крупной супеси содержание песчаных частиц допустимо размером 2–0,25 мм, для остальных грунтов – 2–0,05 мм. Для установления наименования крупнообломочного или песчаного грунта последовательно суммируют проценты содержания частиц исследуемого грунта сначала крупнее 10 мм, затем крупнее 2 мм, далее крупнее 0,5 мм и т. д. Наименование грунта принимают по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения в таблице.

Прочность грунта находится в зависимости от следующих основных характеристик: гранулометрического состава, влажности, плотности и температуры. Наиболее существенно меняются в течение года влажность и плотность грунта.

Теоретически все грунты могут использоваться в дорожном строительстве, однако для отдельных их типов следует предусматривать некоторые конструктивные и технологические мероприятия по регулированию водно-теплового режима. Оценивая грунты с точки зрения их работы в проектируемых насыпях и выемках, необходимо учитывать как их свойства при естественном залегании, так и изменение этих свойств в процессе производства работ.

Грунты, сохраняющие определенную прочность при колебании влажности в значительных пределах, относятся к водоустойчивым (например, пески). Каменистые и щебеночные грунты представляют собой обломки горных пород размерами свыше 2 мм в поперечнике. Для возведения земляного полотна они являются хорошим материа-

лом, так как обладают повышенной устойчивостью к воздействию воды. Исключение составляют быстро выветривающиеся породы – мергель, глинистые сланцы и мел, которые легко размокают при насыщении водой. Эти материалы можно использовать в нижних слоях насыпей в сухих местах, не подвергающихся затоплению водой на длительное время.

Гравийные и песчаные грунты характеризуются хорошей водопроницаемостью. Вполне пригодны для возведения насыпей даже в неблагоприятных гидрогеологических условиях. Их применяют также как дренирующий материал в подстилающих слоях. Однако эти грунты отличаются малой сопротивляемостью размыву дождевой водой и развеванию ветром, поэтому откосы насыпей и выемок в таких грунтах следует укреплять.

Песчаные пылеватые грунты мало связаны в сухом состоянии, а при увлажнении пьвуют, поэтому для устройства земляного полотна их применять нежелательно.

Супесчаные грунты широко используют для возведения земляного полотна. Они отличаются устойчивостью как в сухом, так и во влажном состоянии, потому что сочетают в себе достоинства песчаных (большое внутреннее трение и хорошая водопроницаемость) и глинистых (связность в сухом состоянии) частиц.

Для пылеватых супесей характерным является повышенное количество пылеватых частиц. Высота капиллярного поднятия достигает 3 м. В сухом состоянии сильно пылят, а при увлажнении пьвуют. Склонны к образованию пучин на дорогах. Обладают малой пластичностью и плохой водопроницаемостью. Применение в дорожном строительстве ограничено, допускается при возведении насыпей в сухих местах с принятием мер против увлажнения грунта и размыва откосов.

Суглинистые грунты отличаются связностью и незначительной водопроницаемостью. Свойства этих грунтов (пластичность, набухание, капиллярное поднятие, липкость) зависят от количества глинистых частиц. Пригодны для возведения земляного полотна. Хорошо сопротивляются размыву и устойчивы в откосах. Требуют защитных мер от избыточного увлажнения. При устройстве земляного полотна на пойме при спаде уровня воды возможно орошение откосов из-за проявления действия гидродинамического давления.

Тяжелосуглинистые грунты в сухом состоянии обладают значительной связностью и плотностью, но трудно разрабатываются, мед-

ленно просыхают после увлажнения и имеют малую водопроницаемость. В этих грунтах резко выражены такие свойства, как пластичность, липкость, набухание, влагоемкость, капиллярное поднятие. Удовлетворительный грунт для возведения земляного полотна при условии принятия специальных мер против избыточного увлажнения.

Суглинистые пылеватые грунты близки по своим свойствам к тяжелосуглинистым, переходят в плавунное состояние при увлажнении, весьма склонны к пучению. При возведении земляного полотна могут применяться только для нижних слоев в сухих местах.

Глинистые грунты характеризуются большой плотностью, связностью и малой водопроницаемостью. Глинистые частицы имеют весьма малые поперечные размеры (менее 0,005 мм). Обладают большой пластичностью, липкостью и набуханием, трудно разрабатываемы. Капиллярные свойства выражены в меньшей степени, чем в суглинистых и пылеватых грунтах. Пригодны для отсыпки насыпей в сухих местах и в местах, увлажняемых на короткое время. При увлажнении этим грунтам свойственна малая несущая способность.

Лессовые и лессовидные грунты близки по свойствам к суглинистым пылеватым и частично глинистым грунтам. В естественном залегании характеризуются наличием большого количества макропор (0,5–5 мм), в связи с чем их пористость велика. Содержание пылеватых частиц в этих грунтах достигает 70–90 %. В благоприятных условиях способны образовывать вертикальные откосы большой высоты. Однако резко теряют связность при увлажнении. Откосы и обочины насыпей из таких грунтов требуют укрепления. Следует избегать устройства высоких насыпей и глубоких выемок из-за просадочности оснований при увлажнении и для надежности откосов. Обобщенные рекомендации о пригодности грунтов для дорожного строительства приведены в табл. 6.3.

Для возведения насыпей не применяют:

- илистые грунты, ил, мелкий песок с примесью торфа или ила, жирные глины с примесью ила;
- недренирующие грунты, содержащие водорастворимые соли в количестве 8 % при хлоридном и более 5 % при сульфатном засолении;
- торф, жирные глины, меловые и тальковые грунты и трепелы при наличии грунтовых вод на глубине менее 1 м и на поймах рек; опоки, мергели и сланцевые глины.

Таблица 6.3. Пригодность грунтов для дорожного строительства

Грунт	Пригодность грунтов	
	при сооружении земляного полотна	при укреплении вяжущими материалами
Глибовый	—	Непригоден
Щебенистый	Весьма пригоден	Весьма пригоден при отсутствии частиц крупнее 40 мм, используют как гранулометрическую добавку
Дресвяный	То же	Весьма пригоден для укрепления цементом, золой-уносом, битумной эмульсией или жидким битумом при разнородном составе частиц как гранулометрическая добавка к глинистым грунтам
Песок крупный	Пригоден	То же
Песок средней крупности	То же	Пригоден, но в меньшей степени, чем крупный песок, при укреплении цементом, золой-уносом или битумной эмульсией
Песок мелкий	Пригоден, но менее устойчив в земляном полотне, чем крупные и средние пески	Пригоден для укрепления цементом, либо золой-уносом, либо битумной эмульсией при сочетании с добавкой цемента
Песок пылеватый	Малопригоден	То же
Супесь легкая крупная	Весьма пригоден	Весьма пригоден
Супесь легкая	Пригоден	То же
Супесь пылеватая	Малопригоден	Пригоден
Супесь тяжелая пылеватая	Непригоден для верхней части	Малопригоден
Суглинок легкий	Пригоден	Пригоден
Суглинок легкий пылеватый	Малопригоден	Пригоден
Суглинок тяжелый	Пригоден	Пригоден с ограничениями
Суглинок тяжелый пылеватый	Малопригоден	Пригоден с ограничениями. При добавке извести весьма пригоден
Глина песчанистая	Пригоден	Малопригоден. При добавке извести
Глина пылеватая (полужирная)	Малопригоден	То же

Прочность и устойчивость земляного полотна зависят также от технологических особенностей размещения грунтов в теле полотна: разнородные грунты следует размещать в насыпи горизонтальными слоями; поверхностям слоев водонепроницаемых грунтов придают двухскатный поперечный профиль с уклоном 40 %; из слоев водонепроницаемых грунтов должен быть обеспечен вывод воды; отсыпка

насыпи в виде замкнутого ядра из одного грунта не рекомендуется; не разрешается уширение насыпи из дренирующего грунта водонепроницаемым грунтом; не допускается бессистемная отсыпка различных по свойствам грунтов в теле насыпи, так как это способствует образованию водонасыщенных линз и увлажненных наклонных поверхностей, по которым возможно оползание.

Устойчивость земляного полотна обеспечивается плотностью грунта. При выборе грунта в теле земляного полотна следует иметь в виду, что оно должно быть надежным и долговечным. Исправление деформаций полотна после постройки требует больших трудовых и денежных затрат.

Основные показатели, характеризующие состав, состояние и физико-механические свойства грунтов, используемых в дорожном строительстве, определяются в результате полевых инженерно-геологических изысканий и последующих лабораторных испытаний.

При использовании крупнообломочных грунтов следует предусматривать выравнивающий слой между насыпью и дорожной одеждой толщиной не менее 0,5 м из грунта с размерами обломков не более 0,2 м.

6.3. Конструкция земляного полотна

Земляное полотно включает следующие элементы: верхнюю часть земляного полотна, (рабочий слой), тело насыпи (с откосными частями), основание насыпи, основание выемки, устройства для поверхностного водоотвода, устройства для понижения или отвода грунтовых вод (дренаж), поддерживающие и защитные геотехнические устройства и конструкции, предназначенные для защиты земляного полотна от опасных геологических процессов (эрозии, абразии, селей, лавин, оползней и т. п.).

Верхняя часть земляного полотна (рабочий слой) включает толщину грунтового слоя в пределах $2/3$ глубины промерзания от низа дорожной одежды, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия проезжей части. Основание насыпи – массив грунта в условиях естественного залегания, располагающийся ниже насыпного слоя, а при низких насыпях – и ниже границы рабочего слоя. Основание выемки – массив грунта ниже границы рабочего слоя.

Земляное полотно служит фундаментом дорожной одежды, поэтому обеспечение его устойчивости определяет работоспособность доро-

ги в целом. Природные условия района строительства оказывают существенное влияние на работу земляного полотна.

Высота насыпи зависит от типа местности по характеру и степени увлажнения, от дорожно-климатической зоны и вида грунта.

Возвышения бровки земляного полотна могут быть снижены при условии применения специальных мер, предохраняющих верхнюю часть земляного полотна от переувлажнения (прерывающие прослойки из крупнозернистого песка и гравия, синтетических нетканых материалов). В обычных условиях поперечные профили земляного полотна местных дорог принимают по типовым проектам.

Крутизна откосов земляного полотна характеризуется коэффициентом заложения, который определяют, как отношение высоты откоса к его горизонтальной проекции.

Крутизну откосов насыпей и выемок назначают с учетом обеспечения их устойчивости, требований безопасности движения, а также условий занесения дороги снегом или песком.

6.4. Основные типы деформаций земляного полотна

Для правильного проектирования, строительства и эксплуатации дорожных конструкций необходимо знать основные виды возможных деформаций насыпей и выемок.

По внешним признакам проявления деформаций различают следующие их типы:

- для насыпей – просадки; осадки из-за уплотнения грунта в насыпи или, если слабое основание, за счет уплотнения грунта основания; осадки насыпи из-за выпирания слабого грунта из-под насыпи; расползание; сплавы и оползни откосов; сползание и сдвиги насыпи по поверхности косогора или вместе с частью грунта косогора; размывы и подмывы; провалы;

- для выемок – сплавы и оползни откосов; обрушение откосов; обрушение откосов из-за чрезмерной их подрезки при разработке выемки; выпирание слабого грунта на дне выемок; обвалы и осыпи откосов.

Просадка насыпи характеризуется вертикальными перемещениями поверхности полотна. От просадки следует отличать осадки насыпей, вызываемые их постепенным естественным уплотнением.

Осадка свежесыпанной насыпи за счет уплотнения грунта в теле земляного полотна в пределах норм является вполне очевидной и нормальной, поэтому при строительстве насыпи размеры ее устанавлива-

ются с запасом на ожидаемую осадку. Осадка насыпи на слабых основаниях приводит к искажению ее формы.

Выпирание как самостоятельный вид деформации встречается обычно в выемках, когда слабый грунт, на котором расположено земляное полотно, выдавливается вверх давлением грунта откосов выемки.

Расползание насыпи происходит в большинстве случаев из-за неправильной укладки грунта в насыпь, например, сильно наклоненными слоями вместо горизонтальных. Попадание в насыпь вместе с грунтом воды или снега при оттаивании может привести к расползанию насыпи.

При возведении насыпей на болотах или в карстовых районах возможны провалы. Обвалы, осыпи, лавины и другие явления могут происходить в результате подмывов и размывов насыпи, выветривания горных пород на склонах, снежных обвалов и т. д.

Перемещение вниз по откосу небольших масс грунта, насыщенных водой, образует спływ. Сплыв обычно захватывает верхний слой грунта на небольшую глубину откоса. Оползни происходят в основном в результате действия воды на грунт.

Чтобы избежать тех или иных деформаций, следует соблюдать правила расчета, проектирования, строительства и эксплуатации насыпей.

Методы расчета устойчивости и прочности грунтов земляного полотна автомобильных дорог основаны на закономерностях механики грунтов. Надежность этих методов зависит от правильного выбора расчетной схемы, характеризующей деформации, которые проектируют в грунтах земляного полотна, а также от правильного назначения расчетных характеристик грунта.

7. ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА

7.1. Общие положения

7.1.1. Параметры дорожных одежд

Дорожная одежда должна соответствовать общим требованиям, предъявляемым к дороге и обеспечивать расчетную скорость, безопасность и комфортабельность движения транспортных средств. Это достигается обоснованным выбором и проектированием дорожной одежды и покрытия проезжей части, укрепленных и разделительных полос.

Выбор типа дорожной одежды и материала верхнего слоя покрытия следует производить в зависимости от категории автомобильной дороги в соответствии с табл. 7.1. Изменение области применения дорожных одежд по сравнению с данными табл. 7.1 должно быть экономически обосновано.

Таблица 7.1. Выбор типа дорожной одежды и материала верхнего слоя покрытия

Тип дорожной одежды	Материал верхнего слоя покрытия, способ укладки	Категория автомобильной дороги
1	2	3
Капитальный	Монолитный цементобетон	Республиканские и местные дороги – I-a–V
	Сборный железобетон	Местные дороги – IV, V
	Асфальтобетон из плотных смесей марки I, укладываемых в горячем и теплом состоянии	Республиканские дороги – I-a–II
Капитальный	Асфальтобетон из плотных смесей марки II, укладываемых в горячем и теплом состоянии	Республиканские дороги – III, IV
Облегченный	Асфальтобетон из плотных смесей марки II, укладываемых в горячем и теплом состоянии	Местные дороги – III
	Асфальтобетон из плотных смесей марки II, укладываемых в горячем состоянии, с использованием в смеси до 20 % асфальтогранулята по СТБ 1705	Республиканские дороги – IV
	Каменные материалы, обработанные органическими вяжущими методами смешения в установке, на дороге, пропитки (полупропитки)	
	Органо-минеральные смеси по ГОСТ 30491	
	Эмульсионно-минеральные смеси по СТБ 2413	

1	2	3
Облегченный	Асфальтобетон из плотных смесей марки III, укладываемых в горячем и теплом состоянии	Местные дороги – IV, V
	Асфальтобетон из плотных смесей марки III, укладываемых в горячем состоянии, с использованием в смеси до 20 % асфальтогранулята по СТБ 1705	
	Эмульсионно-минеральные смеси по СТБ 2413	
Переходный	Щебеночное покрытие из щебеночных смесей оптимального состава по СТБ 2507	Местные дороги – IV, V
	Грунты и малопрочные каменные материалы, укрепленные вяжущими	
	Каменные мостовые	
	Щебеночно-гравийно-песчаные смеси по СТБ 2318	
Низший	Грунты, укрепленные или улучшенные различными местными материалами	Местные дороги – V

Примечание. Дорожную одежду облегченного типа на республиканских дорогах категории IV следует предусматривать при расчетной интенсивности движения менее 1000 ед/сут и на местных дорогах. Дорожную одежду переходного типа следует устраивать при расчетной интенсивности движения менее 500 ед/сут.

Дорожные одежды по сопротивлению нагрузкам от транспортных средств и характеру деформирования подразделяют на две группы: жесткие и нежесткие.

К жестким дорожным одеждам следует относить одежды, имеющие цементобетонные монолитные или сборные покрытия.

Нежесткие дорожные одежды состоят из асфальтобетона, из каменных материалов и грунтов, укрепленных битумом, цементом, известью и другими вяжущими, в том числе на основе отходов производства (зола-унос, шлак, цементная пыль и др.), а также зернистых материалов (щебень, гравий, шлак и др.).

При конструировании дорожной одежды следует руководствоваться следующими принципами:

- вид покрытия, конструкция дорожной одежды в целом должны удовлетворять транспортно-эксплуатационным требованиям, предъявляемым к дороге соответствующей категории и ожидаемым в перспективе составу и интенсивности движения;
- конструкция дорожной одежды должна учитывать местные природные и грунтово-гидрологические условия, обеспечивать эффективное осушение и морозоустойчивость;

– материалоемкость и энергоемкость дорожных и транспортных составляющих, определенные по сумме приведенных капитальных вложений, должны быть минимальными;

– при назначении конструкции дорожной одежды необходимо учитывать региональный опыт строительства и эксплуатации дорог, уделяя особое внимание новым конструктивным решениям, прошедшим опытную проверку.

Нормируемые показатели ровности проезжей части и поверхности оснований, а также уплотнения конструктивных слоев дорожной одежды должны соответствовать требованиям ТКП 059-2007 Автомобильные дороги. Правила устройства.

Требуемые значения коэффициента сцепления шины автомобиля с усовершенствованным дорожным покрытием в зависимости от особенностей участка дороги и условий движения при увлажненной поверхности покрытий приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2. Требуемые значения коэффициента сцепления шины автомобиля с усовершенствованным дорожным покрытием в зависимости от особенностей участка дороги и условий движения при увлажненной поверхности покрытий

Категория автомобильной дороги	I-a	I-б–III	IV, V
Коэффициент сцепления, не ниже	0,55	0,50	0,45

Примечания: 1. Для участков дорог категорий I-б–III с видимостью менее расчетной, подъемами и спусками с уклонами, превышающими расчетные, для зон пересечений в одном уровне, участков дорог при коэффициенте загрузки более 0,5 коэффициент сцепления должен быть не ниже 0,6.

2. Нормативные значения коэффициента сцепления и адреса участков дорог в зависимости от условий движения должны быть указаны в проектной документации.

Средняя глубина впадин шероховатости покрытия, определяемая по методу «песчаного пятна», для цементобетонных покрытий по условиям безопасности движения для дорог категорий I-a–III должна быть не менее 1 мм.

Указанные в табл. 7.2 значения коэффициента сцепления следует обеспечивать:

– для асфальтобетонов типов В и Д – устройством шероховатой поверхности способом поверхностной обработки или втапливанием щебня марки по прочности не ниже 1000;

– для асфальтобетонов типа Б – для дорог категорий I-a–III – применением щебня марки по прочности не ниже 1000 в количестве не

менее 40 % и дробленого песка или отсева дробления изверженных горных пород;

– для цементобетонных покрытий – применением специальной отделки поверхности.

Проектирование устройства верхнего слоя покрытия совместно с выравнивающим слоем не допускается.

Дорожную одежду укрепленных полос следует принимать такой же конструкции, как и проезжей части.

Дорожная одежда остановочной полосы должна быть капитального или облегченного типа и дополнительно рассчитана на статическую нагрузку от наиболее тяжелого автомобиля при единичном нагружении.

Поверхность остальной части обочин в зависимости от интенсивности и характера движения, грунтов земляного полотна и особенностей климата следует укреплять засевом трав, россыпью щебня, гравия, шлака и других местных материалов, обеспечивающих устойчивость земляного полотна.

Для дорог с расчетной интенсивностью движения 3000 ед/сут и более, а также на участках применения допускаемых расчетных скоростей при интенсивности движения от 1000 до 3000 ед/сут следует применять покрытия, обеспечивающие более высокие коэффициенты сцепления шин с поверхностью проезжей части (из плотных асфальтобетонных типов С, А, Г и Б по СТБ 1033 с использованием щебня марки по прочности не ниже 1000 и дробленого песка или отсева дробления изверженных горных пород), а также поверхностные обработки.

7.1.2. Нежесткие дорожные одежды

Нежесткие дорожные одежды следует проектировать в соответствии с требованиями ТКП 45-3.03-112.

Нежесткие дорожные одежды на полосах движения проезжей части следует рассчитывать на прочность с учетом кратковременного многократного воздействия подвижных нагрузок. Продолжительность действия нагрузки следует принимать равной 0,1 с и при расчетах учитывать соответствующие этой продолжительности значения модуля упругости и прочностных характеристик материалов и грунтов.

Дорожные одежды на площадках для стоянки транспортных средств, остановочных пунктах маршрутного пассажирского транспорта, обочинах, на подъездах к железнодорожным путям и на подоб-

ных участках следует рассчитывать на многократное действие нагрузки, а также на длительное однократное нагружение.

Нежесткие дорожные одежды следует рассчитывать с учетом уровня надежности по следующим критериям:

- сопротивление упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивление растяжению при изгибе монолитных слоев;
- сопротивление сдвигу в слоях дорожной одежды и в грунте земляного полотна;
- морозоустойчивость и осушение.

В качестве верхних слоев оснований для дорог категорий I–II следует применять монолитные материалы (пористый и высокопористый асфальтобетоны, каменные материалы и грунты, укрепленные цементом, отходами и побочными продуктами промышленности, обладающими вяжущими свойствами, монолитный бетон класса по прочности в соответствии с табл. 7.3).

Таблица 7.3. Зависимость материалов для устройства дорожных одежд от категории автомобильной дороги

Категория автомобильной дороги	Назначение слоя	Минимальный проектный класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	Минимальный проектный класс бетона по прочности на сжатие	Минимальная проектная марка бетона по морозостойкости
1	2	3	4	5
I–a–I–в	Однослойное покрытие или верхний слой двухслойного цементобетонного покрытия	$B_{\text{тб}}4,4$	B35	F150*
	Нижний слой двухслойного цементобетонного покрытия	$B_{\text{тб}}3,6$	–	F150*
II	Однослойное покрытие или верхний слой двухслойного цементобетонного покрытия	$B_{\text{тб}}4,0$	B30	F150*
	Нижний слой двухслойного цементобетонного покрытия	$B_{\text{тб}}3,2$	–	F150*

1	2	3	4	5
III	Однослойное покрытие или верхний слой двухслойного цементобетонного покрытия	B _{тб} 3,6	B27,5	F150*
	Нижний слой двухслойного цементобетонного покрытия	B _{тб} 2,8	–	F150*
IV, V	Однослойное покрытие или верхний слой двухслойного цементобетонного покрытия	B _{тб} 3,2	B25	F150*
IV, V	Нижний слой двухслойного цементобетонного покрытия	B _{тб} 2,4	–	F150*
I-a–V	Основание под цементобетонное покрытие	B _{тб} 1,0, B _{тб} 1,2, B _{тб} 1,6	B5,0, B7,5, B10	F50
	Основание под асфальтобетонное покрытие	B _{тб} 1,6, B _{тб} 3,6	B7,5, B25–B27,5	F50

*Марка бетона по морозостойкости по второму базовому методу испытаний.

Примечания: 1. Классы бетона по прочности на сжатие следует учитывать только при проектировании железобетонных и предварительно напряженных покрытий.

2. Среднемесячную температуру наиболее холодного месяца для районов строительства принимают в соответствии с действующими нормативными документами.

Для армирования щебеночных оснований, устроенных из щебеночных оптимальных смесей, применять прослойки из армирующих геосинтетических материалов по СТБ 2398.

7.1.3. Дополнительные слои дорожных одежд

При невозможности выполнения требований, а также в случаях, когда необходимая по условиям прочности толщина дорожной одежды не превышает 2/3 глубины промерзания, следует предусматривать противопучинные мероприятия, обеспечивающие достаточную морозоустойчивость дорожной одежды.

Если рабочий слой земляного полотна состоит из пучинистых, сильнопучинистых и чрезмерно пучинистых грунтов, то над ним следует предусматривать дренирующий слой, предназначенный для сбора

и отвода воды, поступающей в дорожную одежду сверху или снизу, толщину которого следует определять расчетом. Коэффициент фильтрации при максимальной плотности у песка, применяемого для устройства дренирующего слоя, должен быть не менее 1 м/сут.

Дренирующий слой не предусматривают на участках дорог с морозозащитным слоем или с верхней частью рабочего слоя из непучинистых или слабопучинистых песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 0,2 м/сут, в которых может разместиться вся поступающая в основание дорожной одежды вода.

Для защиты дренирующего слоя и основания из неукрепленных каменных материалов от заиливания тонкодисперсными грунтовыми частицами следует предусматривать разделительные прослойки из геосинтетических материалов.

7.1.4. Материалы для дорожных одежд

Для цементобетонных покрытий и оснований следует применять тяжелый и мелкозернистый бетоны по СТБ 2221.

Бетон для покрытий и оснований должен соответствовать требованиям табл. 7.3.

Асфальтобетонные, органоминеральные и эмульсионно-минеральные смеси для покрытий следует применять в соответствии с СТБ 1033, ГОСТ 30491, СТБ 2413 и табл. 7.4.

Таблица 7.4. Материалы покрытия автомобильных дорог категории I–V

Категория автомобильной дороги, тип дорожной одежды	Материал покрытия	
	верхнего слоя	нижнего слоя
1	2	3
I–a–III, капитальный	Горячие и теплые смеси для плотного асфальтобетона типов С, А, Б и Г марки I	Горячие и теплые смеси для пористого и плотного асфальтобетона марки I
III, IV, капитальный	Горячие и теплые смеси для плотного асфальтобетона типов А, Б и Г марки II	Горячие и теплые смеси для пористого асфальтобетона марки I
III, IV, облегченный	Горячие и теплые смеси для плотного асфальтобетона типов А, Б, В, Г и Д марки II Горячие смеси для плотного асфальтобетона типов А, Б, В, Г и Д марки II с содержанием в смеси до 20 % асфальтогранулята	Горячие и теплые смеси для пористого асфальтобетона марки II
		Горячие смеси для пористого асфальтобетона марки II с содержанием в смеси до 20 % асфальтогранулята
		Горячие и теплые смеси для высокопористого асфальтобетона марки I. Эмульсионно-минеральные смеси

1	2	3
IV, V, облегченный	Горячие и теплые смеси для плотного асфальтобетона типов Б, В, Г и Д марки III	Горячие смеси для пористого асфальтобетона марки II
	Горячие смеси для плотного асфальтобетона типов Б, В, Г и Д марки III с содержанием в смеси до 20 % асфальтогранулята	Горячие смеси для пористого асфальтобетона марки II с содержанием в смеси до 20 % асфальтогранулята
	Эмульсионно-минеральные смеси по СТБ 2413	Каменные материалы, обработанные органическими вяжущими.
	Органоминеральные смеси по ГОСТ 30491	Горячие и теплые смеси для высокопористого асфальтобетона марки I
		Органоминеральные смеси по ГОСТ 30491

При соответствующем технико-экономическом обосновании для обеспечения повышенной сдвигоустойчивости и трещиностойкости асфальтобетонных покрытий следует применять асфальтобетоны с использованием модифицированных вяжущих.

На дорогах категорий I–II, а также на дорогах, предназначенных для движения под нагрузку группы А₃, верхний слой покрытия необходимо проектировать с использованием асфальтобетона на резинобитумном вяжущем, а нижний слой покрытия – из пористых или из плотных крупнозернистых асфальтобетонных смесей с содержанием щебня не менее 60 % от массы заполнителя и с использованием гранитного отсева дробления.

Асфальтобетонные и органоминеральные смеси и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для оснований применяют в соответствии с табл. 7.5.

Таблица 7.5. Асфальтобетонные и органоминеральные смеси и грунты, укрепленные органическими вяжущими, при устройстве автомобильных дорог категорий I–IV

Категория автомобильной дороги	Материал
I–II	Горячие и теплые смеси для плотного или пористого асфальтобетона марки II, высокопористого асфальтобетона марки I, ресайклированный материал
III	Горячие и теплые смеси для плотного или пористого асфальтобетона марки II, горячие смеси для высокопористого асфальтобетона марки I или II, ресайклированный материал
II, III, IV	Органоминеральные смеси и грунты, укрепленные органическими вяжущими

П р и м е ч а н и е. На дорогах категорий I–IV под нагрузку А₃ и дорогах категорий I–II под нагрузку А₂ содержание щебня в пористых и плотных асфальтобетонных смесях должно быть не менее 55 %.

Материалы (смеси щебеночно-песчаные, гравийно-песчаные, щебеночно-гравийно-песчаные, пески и грунты), укрепленные гидравлическими вяжущими, для покрытий и оснований должны соответствовать требованиям СТБ 1521 и табл. 7.6.

Таблица 7.6. Материалы (смеси щебеночно-песчаные, гравийно-песчаные, щебеночно-гравийно-песчаные, пески и грунты), укрепленные гидравлическими вяжущими, для покрытий и оснований

Тип дорожной одежды	Конструктивный слой дорожной одежды	Категория автомобильной дороги	Марка укрепленного материала, не ниже	
			по прочности	по морозостойкости
Капитальный	Основание под цементобетонное покрытие	I-a-II	M100	F50
		III	M75	F35
		IV, V	M40, M60	F25
	Основание под асфальтобетонное покрытие	I-a-II	M60, M75	F25
		III, IV	M40, M60	
Облегченный	Основание под асфальтобетонное покрытие	III, IV	M40, M60	
		V	M20, M40, M60	F15
Переходный	Покрытие	IV, V	M40, M60	F25

При проектировании щебеночных и гравийных покрытий и оснований применяемые смеси должны соответствовать требованиям СТБ 2318, СТБ 2507 и ГОСТ 32495.

Процентное содержание компонентов смесей для устройства щебеночных оснований и покрытий следует определять по СТБ 1698 с обеспечением максимальной плотности и сохранением роли каркаса за основной фракцией щебня.

Устройство оснований и покрытий из смесей следует проектировать с учетом необходимости предварительного перемешивания компонентов смесей на притрассовых площадках с последующей укладкой готовых смесей в конструкцию дорожной одежды и уплотнением.

В щебне из изверженных и метаморфических пород марок 800 и выше и осадочных пород марок 600 и выше для щебеночных покрытий дорог категорий IV и V содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не должно превышать 15 % по массе, а для оснований дорог категорий I-a-III – 35 % по массе.

Коэффициент фильтрации песчаных грунтов, применяемых для устройства дренирующих и морозозащитных слоев, при максимальной плотности по ГОСТ 22733 должен быть не менее 1,0 м/сут.

Для устройства этих слоев разрешается использовать пески по ГОСТ 8736, содержащие зерна крупностью менее 0,16 мм в количестве не более 15 % по массе и пылевидные и глинистые частицы размером менее 0,05 мм в количестве не более 3 % по массе, в том числе глины в комках – не более 0,5 % по массе, без дополнительных испытаний по ГОСТ 25584.

7.2. Дорожная одежда для внутрихозяйственной автомобильной дороги

Расчет дорожных одежд внутрихозяйственной автомобильной дороги необходимо выполнять в соответствии с действующими нормативными документами.

Общие положения.

Классификация нежестких дорожных одежд и видов покрытий приведена в ТКП 45-3.03-19.

Дорожную одежду проектируют с использованием следующих основных критериев надежности:

- сопротивление упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивление сдвигу в грунтах и в неукрепленных материалах;
- сопротивление слоев из монолитных материалов усталостному разрушению при растяжении при изгибе.

Также в расчете используются дополнительные критерии надежности:

- сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев дорожной одежды;
- устойчивость асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов.

Расчет дорожных одежд выполняют по трем группам расчетных нагрузок и в соответствии с прил. В и Ж:

- группа A_1 – при нормативной статической нагрузке на одиночную ось расчетного автомобиля 100 кН (10 тс на одиночную ось);
- группа A_2 – при нормативной статической нагрузке на одиночную ось расчетного автомобиля 115 кН (11,5 тс на одиночную ось);
- группа A_3 – при нормативной статической нагрузке на одиночную ось расчетного автомобиля 130 кН (13 тс на одиночную ось).

Проектирование дорожной одежды осуществляют с учетом следующих граничных условий:

- а) напряженно-деформированное состояние дорожной одежды под действием нагрузок описывается уравнениями линейной теории упругости для слоистого полупространства при сцеплении слоев по границе контакта;

б) силы инерции в расчетах не учитывают (квазистатическая задача);
в) предельное состояние дорожной одежды характеризуется показателями, зависящими от особенностей материалов каждого слоя дорожной одежды и грунта земляного полотна, а также от их размещения и условий работы в конструкции.

Конструкция дорожной одежды, ее общая толщина и толщина отдельных слоев, а также применяемые материалы должны обеспечивать при воздействии расчетных транспортных нагрузок стабильную во времени сложность, ровность и шероховатость покрытия.

Запроектированная дорожная одежда должна быть не только прочной и надежной в эксплуатации, но экономичной и наименее материалоемкой, особенно по расходу дорогостоящих материалов и энергоресурсов, а также должна соответствовать экологическим требованиям.

При проектировании дорожных одежд необходимо выбирать оптимальные дорожно-строительные материалы и назначать их рациональное размещение в конструкции с учетом грунтово-гидрологических условий земляного полотна.

Для дифференциации грунтово-гидрологических условий территории Республики Беларусь разделена на три дорожно-климатических района. Сведения о климатических характеристиках дорожно-климатических районов и о грунтовых условиях территории Республики Беларусь изложены в П2 к СНиП 2.05.02. В соответствии с грунтово-гидрологическими условиями строительства производят выбор значений расчетных характеристик грунтов земляного полотна для расчета дорожных одежд на прочность.

Выбор конструкции дорожной одежды и типа покрытия обосновывают технико-экономическим анализом вариантов с оценкой экономической эффективности капитальных вложений по действующим ТНПА.

Толщину слоев дорожной одежды назначают на основании расчета, однако их величина должна быть не менее указанной в [8, 6.3.4 и 6.3.5].

Дорожные одежды на подъездах к перекресткам дорог, к железнодорожным путям, на автостоянках, на остановках общественного транспорта рассчитывают как на повторное динамическое воздействие нагрузки, так и на действие статического нагружения продолжительностью 600 с.

Дорожную одежду по ширине проезжей части проектируют, как правило, равнопрочной.

Дорожную одежду укрепленных полос обочин и разделительных полос проектируют идентичной по прочности дорожной одежде про-

езжей части. Конструкцию дорожной одежды переходно-скоростных полос и обочин проектируют в зависимости от грунтово-гидрологических условий земляного полотна, природно-климатических факторов, интенсивности и состава транспортного потока.

При проектировании дорожных одежд для конкретных объектов или при разработке типовых конструкций дорожных одежд следует учитывать данные научно-практического опыта (в том числе в части применения местных материалов, уточнения их расчетных характеристик и т. п.), отраженного в действующих методических документах, утвержденных в установленном порядке.

Расчетный срок службы проектируемой дорожной одежды и соответствующий ему требуемый коэффициент надежности назначают по [8, п. 6.1.9].

При назначении видов покрытия для разных вариантов конструкций дорожных одежд следует руководствоваться ТКП 45-3.03-19 и действующими ТНПА на дорожно-строительные материалы и изделия.

При расчете на прочность дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями необходимо учитывать особенности их поведения во время эксплуатации в зависимости от температуры окружающей среды.

При расчете грунта земляного полотна и слоев из неукрепленных материалов на сопротивление сдвигу модуль упругости асфальтобетонных слоев покрытия принимают при температуре 20 °С (прил. А и Б). При расчете асфальтобетонного покрытия на сопротивление усталостным разрушениям на растяжение при изгибе его характеристики принимают при температуре 0 °С (прил. Б). При расчете устойчивости асфальтобетонных покрытий к пластическим деформациям расчетную температуру принимают 50 °С.

Расчетные значения модулей упругости грунтов и дорожно-строительных материалов принимают по прил. А и Б. Значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают при температуре 10 °С.

Последовательность расчета по критериям прочности может быть любая. Однако методически целесообразно при перспективе большой интенсивности воздействия нагрузок и малой влажности грунтов ($W < 0,7W_m$) начинать расчеты по упругому прогибу, а при малых интенсивностях воздействия нагрузок и высокой влажности грунтов – по сдвигу в грунте.

Капитальную дорожную одежду на воздействие подвижной нагрузки рассчитывают по всем трем критериям при высоком уровне надежности, а облегченные – также на воздействие подвижных нагрузок по

трем критериям, но с уменьшенным допускаемым уровнем надежности по сравнению с капитальными одеждками.

Одежды с покрытиями переходного типа – щебеночными, гравийными и из других прочных минеральных материалов, а также из грунтов и малопрочных каменных материалов, обработанных вяжущими, мостовые из булыжного и колотого камня рассчитывают на воздействие подвижных нагрузок только по двум критериям – сдвигу в грунте и упругому прогибу при соответствующем допускаемом уровне надежности.

Расчет дорожных одежд по допускаемому упругому прогибу.

Конструкция дорожной одежды удовлетворяет требованиям надежности и прочности по критерию упругого прогиба, если

$$K_{\text{пр}} \leq E_{\text{общ}} / E_{\text{тр}}, \quad (7.1)$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прочности дорожной одежды;

$E_{\text{общ}}$ – общий модуль упругости конструкции, МПа;

$E_{\text{тр}}$ – требуемый модуль упругости конструкции с учетом капитальности одежды, типа покрытия и интенсивности воздействия нагрузок, МПа.

Порядок расчета дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу (требуемому модулю упругости) можно представить в виде следующей схемы:

1. Определяют значение коэффициента прочности (табл. 7.7–7.10).

Дорожную одежду необходимо рассчитывать с учетом надежности, под которой подразумевают вероятность безотказной работы конструкции в течение всего периода между капитальными ремонтами. Отказ – это такое состояние одежды и соответствующий ему коэффициент прочности, при которых требуется проведение капитального ремонта ранее срока, установленного действующими нормами. Количественным показателем служит уровень надежности, представляющий собой отношение протяженности прочных, не требующих капитального ремонта конструкций, к общей протяженности участка с данным значением запаса прочности.

Для основных случаев проектирования допустимый (требуемый) уровень надежности, определяющий минимальное значение коэффициента прочности, которое дорожная одежда должна иметь к концу срока службы между капитальными ремонтами, нормирован в зависимости от категории дороги, капитальности одежды и типа покрытия при уровне надежности, отличающемся от указанных значений, минимальный коэффициент прочности следует принимать по графику (рис. 7.1).

Таблица 7.7. Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения группы нагрузок A_3

Дорожная одежда капитального типа		Значения коэффициентов для категории автомобильных дорог, предназначенных для движения группы нагрузок A_3						
		I		II		III, IV		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию	упругого прогиба	1,40	1,20	1,28	1,10	1,18	1,05	1,00
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,25	1,15	1,20	1,10	1,15	1,05	1,00
	усталостного разрушения монолитных слоев на растяжение при изгибе	1,20	1,15	1,10	1,03	1,05	1,00	0,95
	сдвигоустойчивости асфальтобетонных слоев дорожной одежды	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10
	устойчивости асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10

Таблица 7.8. Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок A_1 и A_2

Дорожная одежда капитального типа		Значения коэффициентов для категории автомобильных дорог, предназначенных для движения групп нагрузок A_1 и A_2									
		I		II		III			IV		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию	упругого прогиба	1,25	1,15	1,20	1,10	1,20	1,10	1,00	1,05	0,95	0,85
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90
	усталостного разрушения монолитных слоев на растяжение при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90

Т а б л и ц а 7.9. Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения группы нагрузок A_1

Дорожная одежда облегченного типа		Значения коэффициентов для категории автомобильных дорог, предназначенных для движения группы нагрузок A_1							
		III		IV			V		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,95	0,90	0,90	0,85	0,80	0,80	0,75	0,70
Требуемый коэффициент прочности $K^{тр}$ по критерию	упругого прогиба	1,17	1,10	1,06	1,02	1,00	0,98	0,94	0,90
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,00	0,94	0,90	0,87	0,94	0,87	0,84	0,80
	усталостного разрушения монолитных слоев на растяжение при изгибе	0,98	0,93	0,85	0,80	0,78	0,77	0,76	0,75

Т а б л и ц а 7.10. Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения группы нагрузок A_1

Дорожная одежда переходного и низшего типов		Значения коэффициентов для категории автомобильных дорог, предназначенных для движения группы нагрузок A_1					
		IV			V, VI		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,85	0,80	0,75	0,80	0,75	0,70
Требуемый коэффициент прочности K_{np} по критерию	упругого прогиба	1,06	1,02	1,00	1,06	0,98	0,90
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	0,90	0,87	0,85	0,94	0,87	0,80

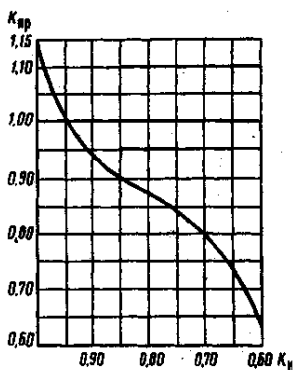


Рис. 7.1. Зависимость коэффициента прочности от уровня надежности

2. Назначают требуемый модуль упругости конструкции по расчетной приведенной интенсивности воздействия нагрузки на одну полосу с учетом капитальности одежды.

Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции $E_{тр}$, МПа, при $\sum N_p > 4 \cdot 10^4$, шт., вычисляют по формуле

$$E_{тр} = 98,65 \left[\lg \left(\sum N_p \right) - c \right], \quad (7.2)$$

где $\sum N_p$ – число накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды, устанавливаемое в соответствии с [8, п. 6.2.10] (формула (7.3));

c – коэффициент, равный: для группы нагрузок A_1 – 3,55; для группы нагрузок A_2 – 3,23; для группы нагрузок A_3 – 3,05.

Число накопленных осей за расчетный срок службы $\sum N_p$, шт., определяют по формуле

$$\sum N_p = 0,7 N_p \cdot \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рлг} K_n, \quad (7.3)$$

где K_c – коэффициент суммирования, который определяют по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1}; \quad (7.4)$$

$T_{сл}$ – расчетный срок службы дорожной одежды, принимаемый по табл. 7.11;

q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам (по заданию);

$T_{рлг}$ – расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости дорожной конструкции, определяемое по табл. 7.12;

K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, принимаемый по табл. 7.13.

Таблица 7.11. Рекомендуемый расчетный срок службы дорожной одежды

Категория автомобильной дороги	Тип дорожной одежды	Коэффициент надежности K_n						
		0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
		Срок службы $T_{сл}$, лет						
I	Капитальный	19	14	—	—	—	—	—
II	Капитальный	17	13	—	—	—	—	—
III	Капитальный	15	12	11	—	—	—	—
	Облегченный	—	11	10	—	—	—	—
IV	Капитальный	12	10	9	8	—	—	—
	Облегченный	—	—	8	7	6	—	—
	Переходный	—	—	—	6	5	4	—
V	Облегченный	—	—	—	—	6	5	4
	Переходный	—	—	—	—	5	4	3
	Низший	—	—	—	—	—	4	3
VI	Переходный	—	—	—	—	5	4	3
	Низший	—	—	—	—	—	3	2

Таблица 7.12. Значение $T_{рлг}$ в зависимости от расположения дороги

Дорожно-климатический район	$T_{рлг}$ при расчете на прочность дорожной одежды, сут
1. Северный, влажный	125
2. Центральный	130
3. Южный, неустойчиво-влажный	135

Таблица 7.13. Значение коэффициента K_n , учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента K_n при категориях дорог				
	I	II	III	IV	V, VI
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	—
Облегченный	—	1,47	1,32	1,26	1,06
Переходный, низший	—	—	1,19	1,16	1,04

Независимо от результата расчета по формуле (7.2), требуемый модуль упругости дорожной конструкции $E_{тр}$ должен быть не менее указанного табл. 7.14. Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции $E_{тр}$, МПа, при $\sum N_p < 4 \cdot 10^4$, шт., определяют по табл. 7.14.

Т а б л и ц а 7.14. Требуемый модуль упругости дорожной одежды $E_{тр}$

Категория автомобильной дороги	Требуемый модуль упругости дорожной одежды $E_{тр}$, МПа				
	капитального типа при группе нагрузок			облегченного типа	переходного и низшего типов
	A_1	A_2	A_3		
I	230	270	310	–	–
II	220	250	280	–	–
III	200	230	260	180	–
IV	180	200	220	150	100
V	–	–	–	110	90
VI	–	–	–	–	70

Расчетные значения модулей упругости грунтов и дорожно-строительных материалов принимают по прил. А и Б. Значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают при температуре 10 °С.

В качестве параметров, характеризующих нагрузки, действующие на дорожную одежду, и повторяемость этих нагрузок, следует учитывать:

- воздействие неподвижного транспортного средства, причем пользоваться средним расчетным давлением колеса и расчетным диаметром круга, равновеликого следу колеса неподвижного транспортного средства;
- воздействие движущегося транспортного средства, пользуясь давлением, расчетным диаметром следа колеса движущегося транспортного средства, а также приведенной расчетной интенсивностью воздействия нагрузки.

Для дорог, по которым в наиболее неблагоприятный для работы одежды период года предусматривают систематическое движение двусосных автомобилей с наибольшей статической нагрузкой на ось 100 кН, трехосных – 80, автобусов – 110 кН, в качестве расчетной принимают нормированную нагрузку для транспортных средств группы А (табл. 7.15).

Т а б л и ц а 7.15. Расчетные нагрузки на ось автомобилей

Показатель	Транспортное средство	
	автомобиль	автобус
Номинальная статическая нагрузка на ось, кН	100/60	110/70
Нормированная нагрузка, передаваемая дорожной одежде колесом автомобиля, кН:	50/30	50/35
неподвижного $Q_{н.нор}$	65/39	72/46
движущегося $Q_{д.нор}$		
Среднее расчетное давление колеса на покрытие p , МПа	0,6/0,5	0,6/0,5
Расчетный диаметр следа колеса автомобиля, см:		
неподвижного $D_{н}$	33/28	34/30
движущегося $D_{д}$	37/32	39/34

Пр и м е ч а н и я: 1. Числитель – для автомобилей и автобусов группы А, знаменатель – группы Б.

2. Нормированные нагрузки, указанные для автобусов, принимают за расчетные, если число последних в составе грузового и автобусного движения составляет более 5 %.

3. Если в составе движения на проектируемой внутрихозяйственной дороге предусматривают автомобили или другие транспортные средства с нагрузкой на ось, превышающей нормированную более чем на 20 % (для группы А или Б), и число их превышает 5 %, то эту нагрузку принимают за расчетную.

4. При проектировании дорожных одежд для прохождения многоколесных специализированных транспортных средств, а также при определении возможности их единичных проездов по существующей дороге в качестве расчетной принимают наибольшую эквивалентную нагрузку $Q_n^{(э)}$ с параметрами p и D_n . $Q_n^{(э)}$ учитывают влияние на одежду колес данной оси и соседних осей, расположенных одна от другой на расстоянии менее 2,5 м. Методика и пример расчета дорожной одежды на воздействие движущегося многоколесного транспортного средства приведены в ВСН-46-83.

Для дорог IV и V категорий, городских улиц и дорог местного значения, промышленных, сельскохозяйственных и других, по которым предусматривают проезд главным образом двусосных автомобилей с наибольшей статической нагрузкой на ось 60 кН, трехосных – 50, автобусов – 70 кН, в качестве расчетной принимают нормированную нагрузку для транспортных средств группы Б.

Если же в наиболее неблагоприятный период года по дорогам IV и V категорий, а также по дорогам сельскохозяйственных и других предприятий предусматривают систематическое движение автомобилей группы А, то в качестве расчетной принимают нормированную нагрузку от колеса наиболее нагруженной оси автомобиля этой группы.

При расчете на прочность одежд автомобильных дорог и городских улиц учитывают перспективную интенсивность движения по ним автомобилей разных марок в двух направлениях, которую приводят к эквивалентной интенсивности воздействия расчетной нагрузки на одну полосу проезжей части.

Расчет на сопротивление упругому прогибу (по требуемому модулю упругости) ведут в следующей последовательности:

а) определяют значение коэффициента прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ по табл. 7.7–7.10;

б) по числу накопленных осей за расчетный срок службы на одну полосу с учетом типа дорожной одежды по формуле (7.2) назначают требуемый модуль упругости дорожной одежды $E_{\text{тр}}$, МПа, и сравнивают со значениями табл. 7.14, после этого вычисляют произведение $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} E_{\text{тр}} = E_{\text{общ}}$;

в) предварительно назначают толщину верхних слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее;

г) модуль упругости грунта активной зоны земляного полотна и материалов слоев назначают [8, прил. А и Б], после чего по номограмме [11, рис. 6.2] рис. 7.2, выполняя расчет сверху вниз, находят модуль упругости на поверхности основания;

д) если основание однослойное, то по модулям упругости на поверхности основания, материала слоя основания и грунта земляного полотна определяют толщину основания по той же номограмме (рис. 7.2);

е) если по конструктивным или технологическим соображениям, а также по условиям осушения или обеспечения необходимой морозоустойчивости и т. п. предусмотрено основание из нескольких слоев, то предварительно назначают толщину дополнительных слоев, а затем послойно снизу вверх находят по номограмме [11, рис. 6.2] модуль упругости на поверхности дополнительного слоя, после чего аналогично определяют толщину остальной части основания;

ж) допустимо вести расчет дорожной одежды снизу вверх с последовательным определением модулей упругости на поверхности конструктивных слоев дорожной одежды.

Общую толщину верхних слоев дорожной одежды (в том числе укрепленного основания) из материалов, содержащих органическое вяжущее, ориентировочно назначают в зависимости от требуемого модуля упругости по табл. 7.16.

Т а б л и ц а 7.16. Значения толщины слоев, содержащих органическое вяжущее

Требуемый модуль упругости $E_{тр}$, МПа	До 125 включ.	Св. 125 до 180 включ.	Св. 180 до 220 включ.	Св. 220 до 250 включ.	Св. 250
Толщина слоев, м	0,04–0,06	0,07–0,12	0,13–0,18	0,19–0,24	Св. 0,25

Минимальную толщину конструктивных слоев дорожных одежд принимают по табл. 7.17.

Толщина верхнего слоя покрытия из плотного асфальтобетона должна быть не менее чем в 1,5 раза больше максимального размера зерна – при содержании щебня в составе асфальтобетона до 50 % и в 2,5 раза больше максимального размера зерна – при содержании щебня в составе асфальтобетона 50 % и более.

Т а б л и ц а 7.17. Минимальная толщина конструктивных слоев дорожной одежды

Вид материала	Минимальная толщина слоя, м
Щебеночно-гравийные материалы, обработанные органическим вяжущим	0,08
Щебень, устроенный по способу пропитки	0,10
Укрепленные грунты и малопрочные материалы, асфальто-гранулят	0,12
Неукрепленные материалы, устроенные на прочном основании (на каменистом или укрепленном грунте)	0,15
Неукрепленные материалы, устроенные на песчаном основании	0,17
Неукрепленный песчаный грунт	0,50

Для других конструктивных слоев дорожной одежды толщина слоя должна превышать размер наибольших частиц каменных материалов более чем в 1,5 раза (за исключением слоев из материалов, которые применяются по способу пропитки).

Верхний слой покрытия толщиной 0,03 м и менее в расчет прочности конструкции дорожной одежды не включают.

3. Устанавливают расчетные характеристики грунта земляного полотна и материалов конструктивных слоев дорожной одежды.

Расчетное значение влажности грунта W_p , %, определяют по формуле

$$W_p = W_{таб}(1 + 0,1t), \quad (7.5)$$

где $W_{\text{таб}}$ – среднее многолетнее значение относительной (доли от границы текучести) влажности грунта в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна в зависимости от дорожно-климатического района, схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта (табл. 7.18);

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый по табл. 7.20 в зависимости от требуемого уровня надежности.

Расчетные схемы увлажнения верхней части земляного полотна приведены в [8].

Т а б л и ц а 7.18. Среднее значение влажности грунта $W_{\text{таб}}$

Дорожно-климатический район	Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна	Среднее значение влажности грунта $W_{\text{таб}}$ в долях от W_T			
		Супесь легкая	Песок пылеватый	Суглинок легкий	Супесь пылеватая и суглинок пылеватый
1	1	0,63	0,65	0,68	0,73
	2	0,66	0,68	0,71	0,76
	3	0,68	0,70	0,73	0,78
2	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,63	0,65	0,68	0,73
	3	0,65	0,67	0,70	0,75
3	1	0,65	0,67	0,70	0,75
	2	0,68	0,70	0,73	0,78
	3	0,70	0,72	0,75	0,80

4. Находят по номограмме (рис. 7.2) с учетом схем пользования ее модуль упругости на поверхности основания:

- (см. рис. 7.3, 7.4): a – при расчете снизу вверх; b – то же, сверху вниз; e – при определении толщины слоя: $a - n = E_{\text{общ}} / E_b$, откуда $E_{\text{общ}} = nE_b$ (зная отношения h / D и E_n / E_b , находим $E_{\text{общ}} = nE_b$); $b - n' = E'_{\text{общ}} / E_b$, откуда $E'_{\text{общ}} = n'E_b$ (зная отношения h / D и $E_{\text{общ}} / E_b$, находим $E'_{\text{общ}} = n'E_b$); $e - n'' = h_b / D$, откуда $h_b = n''D$, (зная отношения E_n / E_b и $E_{\text{общ}} / E_b$, находим $h_b = n''D$);

- если основание однослойное, то по модулям упругости на поверхности основания, материалу основания и грунта земляного полотна по той же номограмме определяют толщину основания;

- если по конструктивным или технологическим соображениям, а также по условиям осушения или обеспечения необходимой морозо-

устойчивости и т. п. предусмотрено основание из нескольких слоев, то предварительно находят толщину дополнительных слоев, а затем послойно снизу вверх по номограмме модуль упругости на поверхности дополнительного слоя (морозозащитного, теплоизоляционного, дренажного или другого), после чего аналогично определяют толщину остальной части основания;

- расчет можно вести снизу вверх с последовательным определением модулей упругости на поверхности конструктивных слоев.

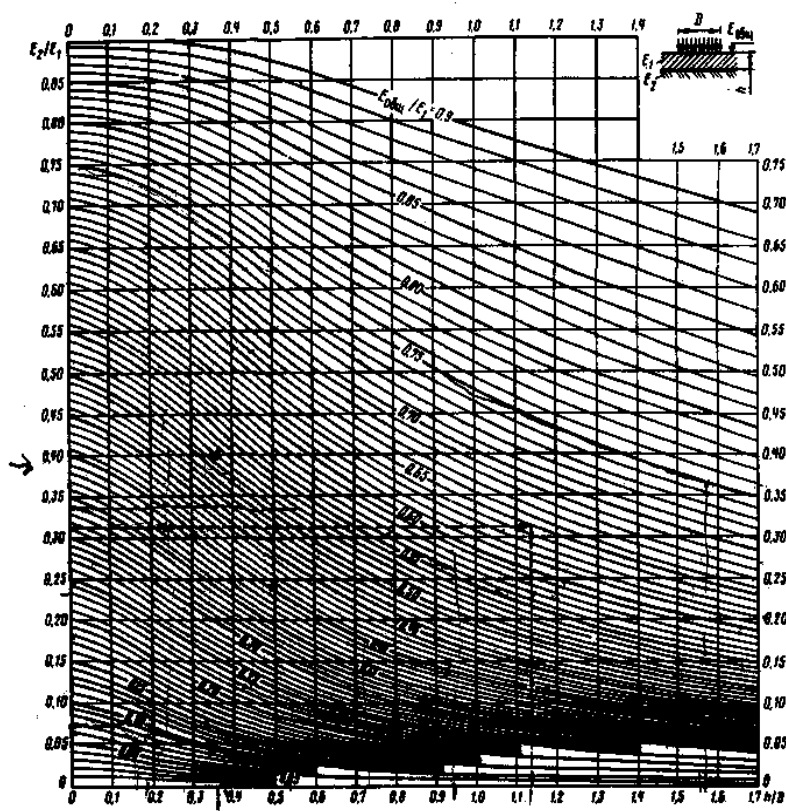


Рис. 7.2. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{\text{общ}}$ двухслойной системы

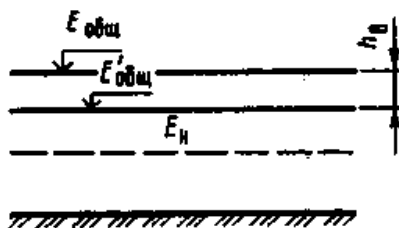


Рис. 7.3. Схема к расчету дорожной одежды по номограмме, где каждый слой последовательно рассматривают как верхний слой со своим E_0 , а всю нижележащую конструкцию соответственно для каждого слоя – как нижний слой E_n при двухслойном полупространстве

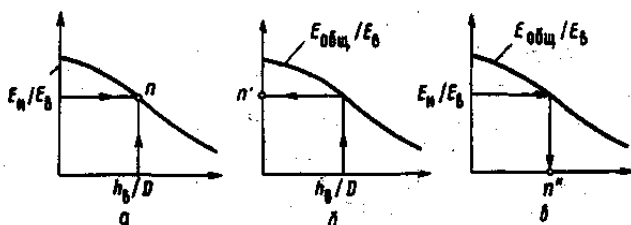


Рис. 7.4. Схемы для получения определяемых значений по номограмме

5. Расчет на сдвигоустойчивость грунтов земляного полотна и неукрепленных материалов конструктивных слоев дорожных одежд.

При расчете на прочность дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями необходимо учитывать особенности их поведения во время эксплуатации в зависимости от температуры окружающей среды.

При расчете грунта земляного полотна и слоев из неукрепленных материалов на сопротивление сдвигу модуль упругости асфальтобетонных слоев покрытия принимают при температуре 20 °С [8, прил. А, Б и Д]. При расчете асфальтобетонного покрытия на сопротивление усталостным разрушениям на растяжение при изгибе его характеристики принимают при температуре 0 °С [8, прил. Б]. При расчете устойчивости асфальтобетонных покрытий к пластическим деформациям расчетную температуру принимают 50 °С.

Дорожную одежду проектируют так, чтобы при воздействии транспортных нагрузок в грунте земляного полотна и в неукрепленных ма-

териалах дорожной одежды не возникали деформации сдвига, что достигается выполнением условия прочности:

$$K_{\text{пр}}^{\text{тп}} \leq T_{\text{пр}}/T_{\text{а}}, \quad (7.6)$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{тп}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды, принимаемый по табл. 7.7–7.10;

$T_{\text{пр}}$ – предельная величина активного напряжения сдвига в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции, определяемая по формуле (7.7);

$T_{\text{а}}$ – расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, не погашенного внутренним трением) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующего временного нагружения, определяемое по формуле (7.9).

Предельное активное напряжение сдвига $T_{\text{пр}}$, МПа, возникающее в грунте рабочего слоя (или в дополнительном слое основания) определяют по формуле

$$T_{\text{пр}} = CK_1K_2, \quad (7.7)$$

где C – сцепление в грунте земляного полотна (или в песчаном слое), МПа;

K_1 – коэффициент учета особенностей работы рассчитываемого слоя (грунта) на границе с вышележащим слоем дорожной одежды, принимаемый по табл. 7.19;

K_2 – коэффициент запаса на неоднородность условий работы дорожной одежды, определяемый по графику, представленному на рис. 7.5.

При расчете на длительное действие нагружения принимают $K_2 = 1,23$, а величину $N_{\text{сут}}$ определяют по формуле

$$N_{\text{сут}} = \sum N_{\text{р}} / (T_{\text{рдг}} \cdot T_{\text{сл}}), \quad (7.8)$$

где $\sum N_{\text{р}}$ – число накопленных осей за расчетный срок службы, шт.;

$T_{\text{рдг}}$ – количество расчетных дней в году принимают по прил. Г, сут;

$T_{\text{сл}}$ – расчетный срок службы, определяемый по табл. 7.11, лет.

Таблица 7.19. Значения коэффициента K_1

Материал вышележащего слоя	Коэффициент K_1
Укрепленный материал по табл. Б.5, прил. Б	$\frac{7,0}{5,5}$
Материал по табл. Б.6, прил. Б, армированный геосеткой	$\frac{6,5}{5,0}$
Материал по табл. Б.6, прил. Б без армирования, песок крупный	$\frac{6,0}{4,5}$
Песок средней крупности	$\frac{5,0}{4,0}$
Песок мелкий	$\frac{4,0}{3,0}$
Песок пылеватый, супеси легкие пылеватые	$\frac{3,0}{1,5}$

Примечание – В числителе приведены значения для случая расчета «дополнительный слой основания – несущий слой основания», в знаменателе – для случая расчета «грунт земляного полотна – основание дорожной одежды».

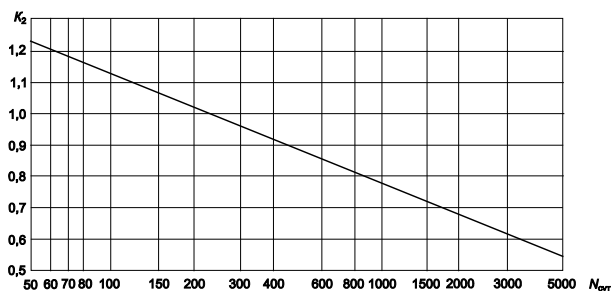


Рис. 7.5. Зависимость коэффициента K_2 от количества расчетных нагрузок за сутки $N_{сут}$

Расчетное активное напряжение сдвига T_a , МПа, возникающее в грунте или в неукрепленных материалах, определяют по формуле

$$T_a = \bar{\tau}_a p + \tau_a, \quad (7.9)$$

где $\bar{\tau}_a$ – активное напряжение сдвига от действия единичного нагружения, определяемое по номограммам, изображенным на рис. 7.6 и 7.7, МПа;

τ_b — активное напряжение сдвига от собственного веса дорожной одежды, определяемое по номограмме, изображенной на рис. 7.8, МПа.

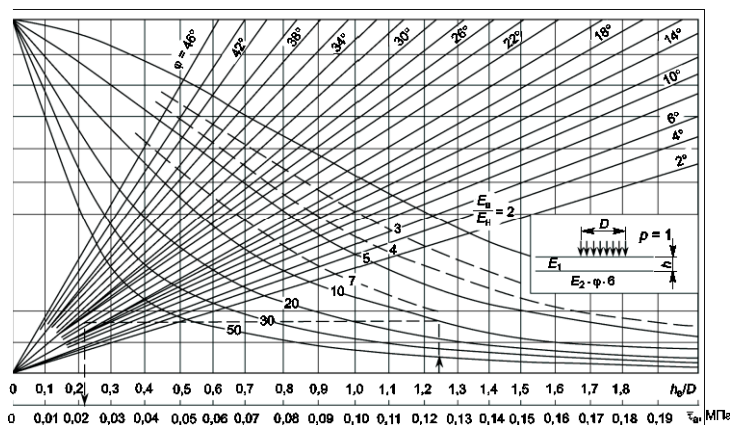


Рис. 7.6. Номограмма для определения активного напряжения сдвига τ_a от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_b / D = 0-2,0$)

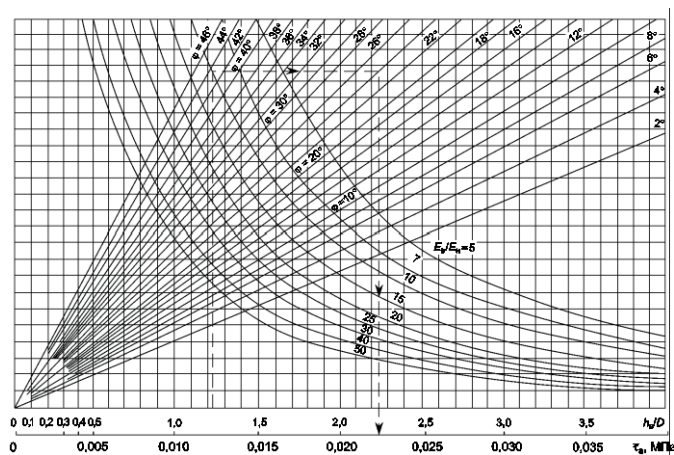


Рис. 7.7. Номограмма для определения активного напряжения сдвига τ_a от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_b / D = 2,0-4,0$)

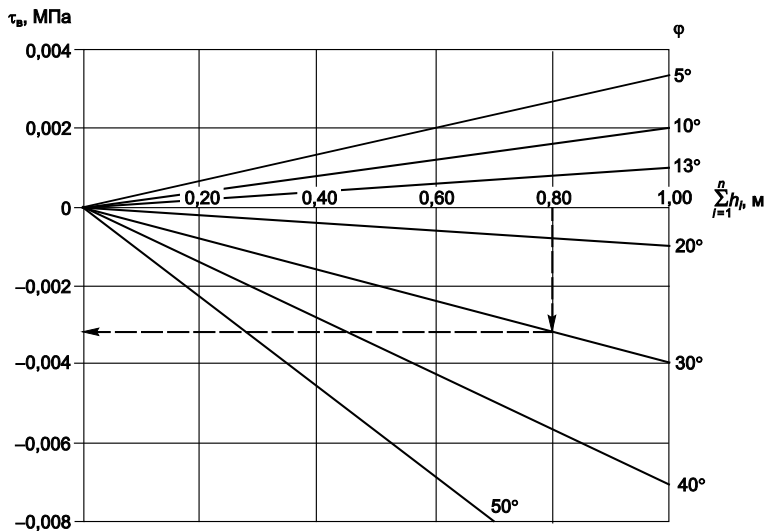


Рис. 7.8. Номограмма для определения активного напряжения сдвига от собственного веса дорожной одежды τ_b

При расчетах многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслойной расчетной модели.

При расчете сдвигоустойчивости грунта земляного полотна за нижний слой принимают грунт земляного полотна (с учетом его влажности), а за верхний – всю дорожную одежду толщиной h_b , равной сумме толщин слоев дорожной одежды.

Модуль упругости верхнего слоя дорожной одежды E_b , МПа, принимают как средневзвешенный модуль пакета слоев, рассчитанный по формуле

$$E_b = \sum_{i=1}^n E_i h_i / \sum_{i=1}^n h_i, \quad (7.10)$$

где n – количество слоев дорожной одежды, шт.;

E_i – модуль упругости i -го слоя, МПа;

h_i – толщина i -го слоя, м.

При пользовании номограммами, приведенными на рис. 7.6 и 7.7, для определения $\bar{\tau}_a$ величину φ принимают по прил. А.

При расчете сдвигоустойчивости неукрепленных материалов конструктивных слоев оснований дорожных одежд с помощью номограмм, изображенных на рис. 7.7 и рис. 7.8, каждому слою присваивают характеристики C_n и φ_n . Модуль упругости принимают равным общему модулю упругости на поверхности рассчитываемого слоя; толщину верхнего слоя модели принимают равной общей толщине слоев, которые лежат над песчаным слоем, а модуль упругости E_v рассчитывают как средневзвешенное значение для этих слоев по формуле (7.10).

При расчете несвязанных слоев дорожных одежд по условию сдвигоустойчивости значения модулей упругости материалов, которые содержат органическое вяжущее, определяют при температуре 20 °С.

При расчете на многократное воздействие транспортной нагрузки значение динамического модуля упругости асфальтобетонов принимают в соответствии с составом и маркой битума по прил. Б. При расчете на статическое действие нагрузки принимают модули упругости материалов, соответствующие длительности действия нагрузки не менее 600 с, по прил. Б.

Расчет дорожных одежд по критериям сдвига в грунте земляного полотна, а также в песчаных материалах промежуточных слоев дорожной одежды ведут в следующей последовательности:

а) по [8, прил. Б] назначают расчетные модули упругости слоев из асфальтобетона при температуре 20 °С.

Расчетные прочностные характеристики C и φ грунта земляного полотна и песка подстилающего слоя дорожной одежды (если такой есть) принимают с учетом расчетной влажности по прил. А. Другие расчетные характеристики грунта и материалов принимают те же, что и в расчете по упругому прогибу;

б) по рис. 7.5 или рис. 7.6 определяют активное напряжение сдвига $\bar{\tau}_a$ от одиночного кратковременного нагружения. Для этого приводят многослойную дорожную конструкцию к двухслойной расчетной модели по [8, п. 6.5.4 и 6.5.5];

в) по формуле (7.7) определяют предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$, возникающее в грунте земляного полотна или в песчаных слоях дорожной одежды;

г) по формуле (7.9) определяют расчетное активное напряжение сдвига T_a , возникающее в грунте земляного полотна;

д) по условию (7.6) проверяют выполнение условия прочности;

е) при необходимости, изменяя толщину конструктивных слоев, подбирают конструкцию, которая отвечает условию (7.6).

Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению на растяжение при изгибе.

В монолитных слоях дорожной одежды напряжения, возникающие при прогибе дорожной одежды под действием кратковременных повторных нагрузжений, не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин. Для этого должно выполняться условие

$$K_{\text{пр}}^{\text{тр}} \leq R_{\text{доп}}/\sigma_r, \quad (7.11)$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды с учетом заданного коэффициента надежности, принимаемый по табл. 7.7–7.10;

$R_{\text{доп}}$ – предельно допустимое напряжение изгиба материала слоя с учетом усталости, определяемое расчетом, МПа;

σ_r – полное растягивающее напряжение при изгибе, определяемое расчетом, МПа.

Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_r в монолитном слое вычисляют с помощью номограмм.

В практике проектирования дорожных одежд встречается два характерных случая:

а) монолитный слой или некоторая сумма смежных слоев из однотипных монолитных материалов находится в верхней части дорожной одежды – это асфальтобетоны и подобные им покрытия, асфальтобетонные основания, расположенные непосредственно под асфальтобетонным покрытием;

б) монолитный слой, расположенный в толщине дорожной одежды, – разного рода монолитные основания.

Однослойные монолитные покрытия рассчитывают на напряжение при изгибе с помощью номограммы (рис. 7.9).

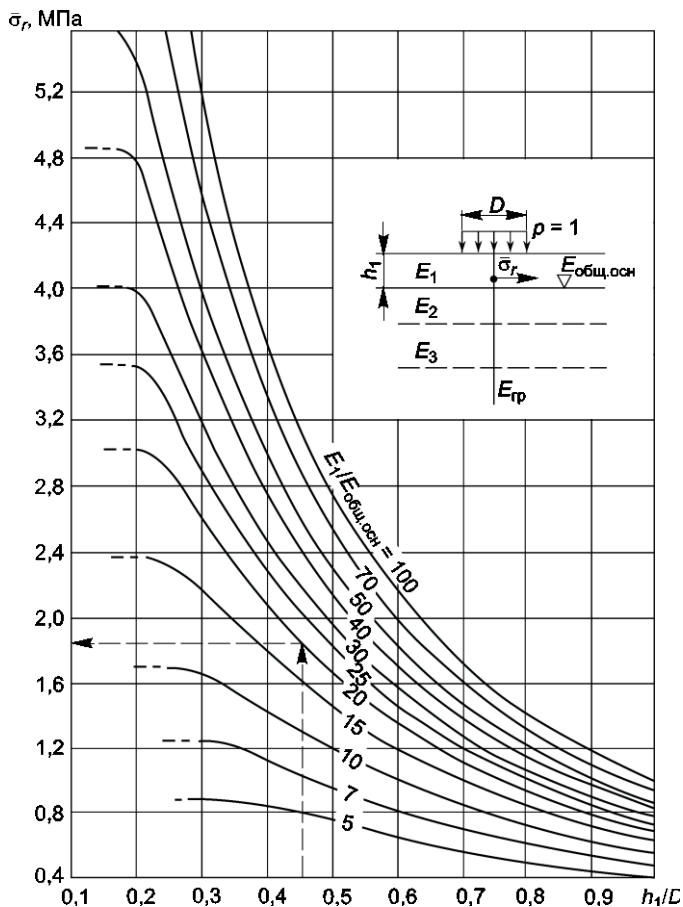


Рис. 7.9. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ при изгибе от одиночного нагружения в верхнем монолитном слое дорожной одежды

Номограмма связывает относительную толщину покрытия h_1/D (горизонтальная ось) и отношение модуля упругости материала покрытия к общему модулю на поверхности основания $E_1/E_{\text{общ.осн}}$ (кривые на номограмме) с максимальным напряжением на растяжение при изгибе $\bar{\sigma}_r$ в материале покрытия от местного нагружения, равного 1 МПа (вертикальная ось). Значение диаметра D принимают по

табл. В1, прил. В. Модуль упругости материала покрытия принимают в соответствии с прил. Б. Номограмма построена для наиболее неблагоприятного случая, когда сцепление покрытия с основанием недостаточно.

При расчете на изгиб нижнего слоя двухслойного покрытия и слоев асфальтобетонного основания, подстилающего асфальтобетонное покрытие, необходимо пакет асфальтобетонных слоев в целом принимать за один эквивалентный слой. В этом случае модуль упругости эквивалентного слоя толщиной, соответствующей общей толщине пакета, необходимо определять по формуле (7.12), а рассчитывать – на выполнение условия (7.13) в нижнем слое асфальтобетонного основания, если он обладает наименьшей прочностью на растяжение при изгибе. Расчетные характеристики принимают по прил. Б. Если минимальной прочностью среди асфальтобетонных слоев обладает один из вышележащих слоев, то в расчет принимаются средневзвешенные расчетные характеристики пакета слоев. Также средневзвешенные характеристики принимаются в расчет, если толщина плотных слоев асфальтобетона превышает более чем в 1,3 раза толщину слоев из пористого асфальтобетона и общая толщина слоев из плотного асфальтобетона – более 0,1 м.

Для монолитных слоев по [8, п. 6.6.2] рассчитывается только один нижний слой.

Промежуточные монолитные слои оснований дорожной одежды необходимо рассчитывать с использованием номограммы (рис. 7.10).

Для этого многослойную конструкцию следует привести к трехслойной, где средним будет рассчитываемый монолитный слой (см. слой h_2 на рис. 7.10). Номограмма связывает относительную толщину двух верхних слоев трехслойной системы $(h_1 + h_2) / D$ и растягивающие напряжения $\bar{\sigma}_r$ от растягивающего напряжения в нижней точке слоя, который рассчитывается под центром нагруженной площади (где эти напряжения достигают максимального значения) при разных соотношениях модулей упругости слоев E_1/E_2 (кривые на номограмме) и E_2/E_3 (лучи на номограмме). Полное значение напряжений σ_r вычисляется по формуле (7.15). Модули упругости промежуточного слоя принимают согласно прил. Б.

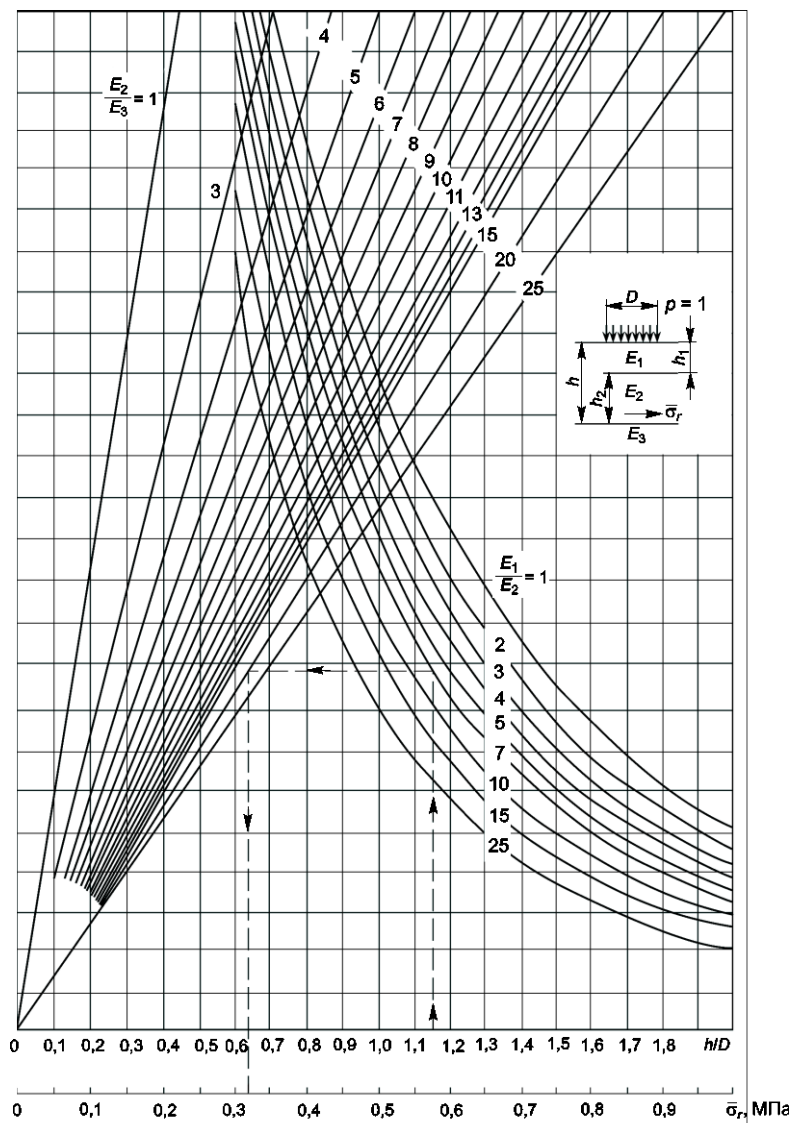


Рис. 7.10. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ в промежуточном монолитном слое дорожной одежды

Предельно допустимые растягивающие напряжения при изгибе асфальтобетона $R_{\text{доп}}$, Мпа, определяют по формуле

$$R_{\text{доп}} = R_{\text{н}} \cdot (1 - 0,1t) \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{кн}} \cdot K_{\text{т}}, \quad (7.12)$$

где $R_{\text{н}}$ – прочность асфальтобетона на растяжение при изгибе с учетом повторности действия напряжений, принимаемая согласно прил. Б, МПа;

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый по табл. 7.20;

Т а б л и ц а 7.20. Коэффициент нормированного отклонения t

$K_{\text{н}}$	0,85	0,90	0,95	0,98
t	1,06	1,32	1,71	2,19

$K_{\text{м}}$ – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона во времени от действия природно-климатических факторов, принимаемый по табл. 7.21;

$K_{\text{т}}$ – коэффициент учета снижения прочности асфальтобетона в конструкции в результате температурных воздействий, принимаемый по табл. 7.21;

Т а б л и ц а 7.21. Значения коэффициентов $K_{\text{м}}$ и $K_{\text{т}}$

Материал покрытия	$K_{\text{м}}$	$K_{\text{т}}$
Асфальтобетон на модифицированном вяжущем	1,00	1,00
Асфальтобетон плотный:		
марки I	1,00	0,90
марки II	0,95	0,85
марки III	0,85	0,80
Асфальтобетон пористый:		
марки I	0,85	0,90
марки II	0,80	0,80
Асфальтобетон высокопористый	0,70	0,70

$K_{\text{кн}}$ – коэффициент учета кратковременности и повторности нагружения на дорогу, определяемый по формуле

$$K_{\text{кн}} = \alpha \cdot \sum N_{\text{р}}^{-(1/m)}, \quad (7.13)$$

здесь α – коэффициент, учитывающий повторность нагружения в нерасчетный период года, принимают в соответствии с прил. Б;

m – показатель усталости материала, принимают в соответствии с [8, прил. Б];

$\sum N_p$ – число накопленных осей, приложенных к расчетной точке на поверхности дорожной конструкции за расчетный срок службы, шт.

Для прочих монолитных оснований $R_{\text{доп}}$, МПа, определяют по формуле

$$R_{\text{доп}} = R_{\text{и}}. \quad (7.14)$$

Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_r , МПа, определяют по формуле

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot K_6, \quad (7.15)$$

где $\bar{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, МПа;

K_6 – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия под колесом автомобиля со спаренными баллонами ($K_6 = 0,85$) и однобаллонными колесами ($K_6 = 1,0$).

Расчет покрытия и его эквивалентного монолитного слоя на изгиб осуществляют в следующей последовательности:

а) вычисляют h_1/D при однослойном покрытии или $\sum h_i/D$ (асфальтобетонное покрытие на асфальтобетонном основании) и по формуле (7.10) рассчитывают средний модуль упругости асфальтобетонных слоев;

б) общий модуль упругости $E_{\text{общ.осн}}$ на поверхности основания, подстилающего асфальтобетон, приводят к эквивалентному жесткому полупространству с модулем упругости $E_{\text{общ}}$, определяемому путем последовательного вычисления общих модулей упругости каждой пары смежных слоев по номограмме (см. рис. 7.2);

в) по отношениям $E_i/E_{\text{общ.осн}}$ основания и h_1/D с помощью номограммы (см. рис. 7.9) определяют растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ в рассматриваемом слое от разового нагружения. Полное растягивающее напряжение при изгибе σ_r определяют по формуле (7.15);

г) вычисляют допустимые растягивающие напряжения $R_{\text{доп}}$ по формуле (7.12). Далее вычисляют соотношение $R_{\text{доп}}/\sigma_r$, и если оно больше или равно $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$, то конструкцию считают соответствующей требованиям сопротивления усталостному разрушению на растяжение при изгибе.

В противном случае необходимо откорректировать толщину слоев и повторить расчет.

Промежуточные монолитные слои рассчитывают в следующем порядке:

а) по формуле (7.10) вычисляют средний модуль упругости конструктивных слоев, которые расположены выше рассчитываемого монолитного слоя (слой h_1 , см. рис. 7.10). Расчетный модуль упругости слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее принимают при температуре 0 °С (см. прил. Б). Слои, подстилающие монолитный слой, приводят к эквивалентному жесткому полупространству с модулем упругости E_3 , определяемым путем последовательного вычисления общих модулей упругости каждой пары смежных слоев по номограмме (см. рис. 7.2);

б) по номограмме (см. рис. 7.10) определяют растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ в расчетном слое от одиночного нагружения. Для этого из точки на верхней горизонтальной оси, которая соответствует отношению $\sum h_i/D$, проводят вертикаль до кривой с соответствующим отношением E_1/E_2 , а из точки пересечения проводят вертикаль до луча, который соответствует отношению E_2/E_3 , откуда опускают вертикаль на нижнюю горизонтальную ось, где находят соответствующее значение $\bar{\sigma}_r$. Расчетное значение σ_r определяют по формуле (7.15) при $K_6 = 1,0$. Далее вычисляют соотношение $R_{\text{доп}}/\sigma_r$, и если оно больше или равно $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$, то конструкцию считают соответствующей требованиям сопротивления усталостному разрушению на растяжение при изгибе.

В противном случае необходимо откорректировать толщину слоев основания и повторить расчет.

8. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

8.1. Факторы и зоны воздействия автомобильной дороги на окружающую среду

В процессе функционирования дороги автомобильный транспорт выделяет с отработанными газами токсичные вещества, создает высокие уровни шума, загрязняет почву и водоемы, способствует образованию пыли и других вредных веществ, оказывает неблагоприятное воздействие на природную среду и непосредственно на человека. Все элементы, воздействующие на организм, называют экологическими факторами (рис. 8.1).

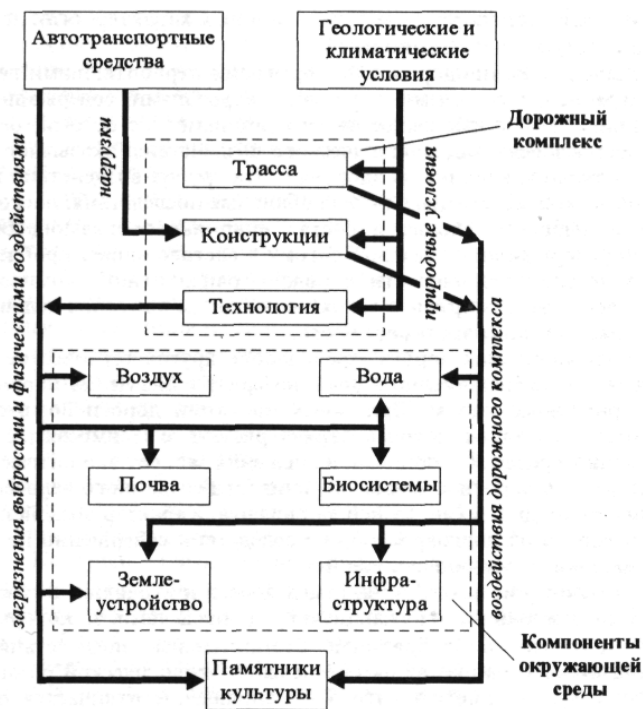


Рис. 8.1. Взаимосвязь воздействий автомобильно-дорожного комплекса и окружающей среды

Всю совокупность факторов, влияющих на экологическую обстановку, можно разделить на две группы: дорожные и транспортные. Дорожные факторы связаны со строительством автомобильных дорог. Одним из неблагоприятных последствий дорожного строительства является нарушение естественного водоотвода отсыпаемыми насыпями и водопропускными сооружениями. Надлежащее внимание должно быть обращено на сохранение естественных русел и пропуск водных потоков по ним, а не по искусственным каналам. В ряде случаев насыпи, мосты и другие сооружения плохо вписываются в окружающий ландшафт и нарушают его эстетическую ценность. Поэтому следует добиваться сочетания эстетических требований к дорожным сооружениям с максимальным сохранением природных ландшафтов.

Для анализа воздействия на окружающую среду целесообразно пользоваться определенной системой учета взаимосвязи объекта и среды. Основой такой системы может служить схема, в которой взаимодействия механических транспортных средств с окружающей средой увязаны в единый комплекс (рис. 8.2). Объектами воздействия механических транспортных средств являются практически все компоненты окружающей среды, но все-таки основным критерием опасности считают ущерб здоровью людей.

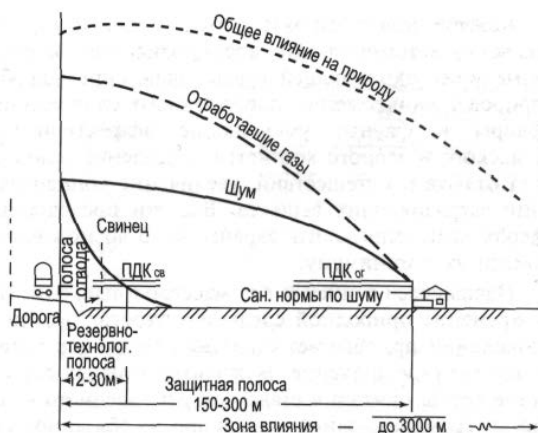


Рис. 8.2. Распространение воздействий от механических транспортных средств на придорожные территории

Варианты проектирования автомобильных трасс с точки зрения защиты окружающей среды должны рассматриваться в три этапа.

1. Анализ чувствительности окружающей среды, которая реализуется по степеням: средняя, умеренная, большая по реакции окружающей среды на строительство дороги. Она будет различна из-за степени освоенности почвы (сельское хозяйство), вида деревьев и площади лесов (лесное хозяйство), плотности застройки (застроенная местность), ущерба отдыху и туризму (рекреационная местность), нанесения ущерба свободным и охраняемым зонам (водное хозяйство, охрана заповедной природы). Результатом анализа является выделение мало-конфликтных зон.

2. Разработка вариантов прокладки внутрихозяйственной дороги (техническое проектирование с максимальным использованием мало-конфликтных зон).

3. Анализ влияния вариантов на окружающую среду предусматривает исследование вредного воздействия внутрихозяйственной дороги во времени и в пространстве.

8.2. Сосуществование дороги, флоры и фауны

Воздействие трасс автомобильных дорог на природную среду разносторонне и не ослабевает со временем. Ядовиты для растений и животных сернистый газ, фтористый водород, озон; вредными могут быть двуокись азота, хлор, пары соляной кислоты и другие газы, если они имеются в воздухе в достаточных концентрациях. Наиболее подвержены вредному воздействию загрязнений хвойные породы: сосна, ель, пихта, кедр, лиственница.

Сернистый газ (SO_2) в количестве более 2 мг/м вызывает побурение и гибель листьев. При слабом поражении (менее 0,5 мг/м³) и длительном действии сернистого газа листья обесцвечиваются. У сосны и лиственницы видимые повреждения начинаются с потемнения кончиков хвои, падения тургора и завядания потемневших участков. Через несколько дней потемневшие части хвои принимают бронзовую окраску. У ели хвоя повреждается на всю длину. Лиственные породы значительно устойчивее к воздействию сернистого газа, чем хвойные.

Оксиды азота или аэрозоли азотистой и азотной кислот в концентрации более 2 мг/м вызывают глубокие повреждения листьев. Отличительной особенностью их действия является появление буровато-черных участков, чаще всего расположенных к вершине и периферии листовой пластинки. Кончики игл хвойных пород при содержании этих веществ приобретают темно-красный цвет.

Фтор и его соединения в невысоких концентрациях (менее $0,01 \text{ мг/м}^3$) вызывают появление узких некротических серо-зеленых, а затем светло-желтых полос, распространяющихся по периферии листа от вершины к основанию. Листья начинают увядать и никнуть. При поражении фтором хвойных пород наблюдается краевой некроз в виде побеления, а затем потемнения кончиков игл. Древесные породы очень чувствительны к этилену. При его содержании на листьях появляются красноватые и коричневые пятна, затем листья опадают, что чаще всего приводит к гибели растений.

Оксид магния входит в состав фитотоксичной магнезитовой пыли, которая содержит также окиси кальция, кремнезем и сажу. При слабой и средней интенсивности запыления хвоя становится желтовато-зеленой, затем буреет и погибает. Тяжело переносят повреждения магнезитовой пылью и другие древесные породы.

Растения могут служить своеобразным индикатором загрязнения. Поврежденные растения выделяют больше газов (в частности CO_2), чем здоровые. По данным американских ученых, растение, испытывающее стресс из-за заболевания, загрязнения воздуха, нарушения нормального режима влагообеспечения, повреждения корней и т. д., выделяет этилен, содержание которого можно установить с помощью хроматографа.

Необходимо в максимально возможной степени стремиться к тому, чтобы соответствующие биотопы и ареалы не пересекались трассой дороги и находились в удалении от нее.

8.3. Земельные ресурсы и их охрана

При строительстве автомобильных дорог почва разрушается не только на месте сооружения дороги, но и в пределах полосы отвода как постоянного, так и временного. При строительстве и эксплуатации любых объектов, при добыче строительного сырья открытым способом выделяются следующие виды нарушения использования земель:

- изменение рельефа за счет вертикальной планировки, срезки холмов и возвышенностей, строительства карьеров, устройства новых возвышенностей-отвалов. Так, отвалы вдоль автомобильных дорог создают бугристо-грядовую или плоско-увалистую форму рельефа;

- уничтожение и разрушение почвы и растительности. Складирование снятой со стройплощадки почвы стало применяться недавно. Но и при хранении почва частично разрушается, выводится из биологического круговорота и снижает свое плодородие;

- загрязнение почвы мусором, нефтепродуктами, цементом, сточными водами, токсичными веществами.

Земля в нашей стране является всенародным достоянием и составляет единый Государственный земельный фонд. Сельскохозяйственные земли должны использоваться по прямому назначению, а для строительства промышленных и гражданских объектов дорог надо выбирать земли другого назначения: закустаренные, заболоченные и т. д.

Полоса отвода складывается из ширины земляного полотна, полосы безопасности и полосы для охраны дороги и ее сооружений от повреждений шириной 1–3 м. Дорожное строительство преобразует ландшафты из-за производства земляных работ и изменения гидрологического и гидрогеологического режимов местности. Около насыпей задерживается снег, поэтому происходит переувлажнение грунта в придорожной полосе. В I и II дорожно-климатических зонах притрассовые резервы превращаются в болота.

Охранно-профилактические меры предусматривают:

- ограничение выкорчевки деревьев на оползневых склонах под вспашку;
- запрещение террасирования оползневых склонов;
- контроль за заложением и эксплуатацией карьеров;
- сокращение количества грунтовых дорог;
- исключение сброса любых вод, в том числе из придорожных канав;
- охрану существующих и вновь создаваемых древесных насаждений на склонах.

8.4. Водные ресурсы и их охрана

До недавнего времени ливневой сток рассматривался как источник загрязнения, не представляющий серьезной опасности для водоемов и почв. Но исследования показали, что в них присутствуют значительные концентрации таких загрязняющих веществ, как углеводороды и ионы тяжелых металлов. Причинами загрязнения являются утечки бензина, масел от транспортных средств, накопление химических веществ на дорогах (аварии грузового транспорта, выщелачивание дождевыми водами органических и минеральных соединений).

Трассу автомобильных дорог рекомендуется прокладывать в обход водохранилищ, расположенных в крупных зонах отдыха, а также водохранилищ, вода из которых используется для питья. В пределах этих

зон запрещается устраивать площадки для технического обслуживания автомобилей. В обоих случаях устраивают изолированную систему водоотвода с бассейном, где отстаивается вода, поступающая с дороги.

8.5. Дорожное движение – источник загрязнения воздуха

Элементы загрязнения атмосферы – это продукты сгорания топлива в двигателях, выбрасываемые в атмосферу в виде газов (CO_2 , CO , HC , NO), а также пыли и копоти, образованных из пепла и несгоревшей части горючего и составляющих видимый глазу дым. Среди газообразных продуктов, отрицательно действующих на людей, – дым и отравляющие вещества.

Загрязнение от автомобильной дороги превышает фоновые в 1,5–2 раза. Интенсивность движения на некоторых магистралях достигает 100 тыс. авт/сут и более. При норме расхода бензина 10 л на 100 км дорог и интенсивности 25 тыс. авт/сут ежедневные выделения свинцовых соединений составляют 500–750 г/км. Часть свинца в воздухе и уличной пыли содержится в виде тетраметил- и тетраэтилсоединений, которые являются сильными ядами.

Основные вредные компоненты выхлопных газов двигателей – оксиды углерода и азота, углеводороды, альдегиды, сернистый газ. Кроме того, бензиновые двигатели выделяют вещества, в составе которых имеются свинец, хлор, бром, канцерогенные агенты, а дизельные – значительное количество сажи, копоти ультрамикроскопических размеров. Ежегодный выброс вредных веществ от автотранспорта составляет до 37 % общего объема вредных выбросов в атмосферу.

Среди мер по оздоровлению воздушного бассейна следует выделить перевод транспортных средств на природный газ. Расширение применения в народном хозяйстве сжатого природного и сжиженного нефтяного газов в качестве моторного топлива является важным направлением научно-технического прогресса в развитии транспортных средств. Кроме того, газ – наиболее экологически чистый вид топлива. Первый опыт эксплуатации газобаллонных автомобилей позволил сэкономить более 2000 тыс. т бензина.

К эффективным заменителям бензина, соответствующим природоохранным требованиям, относятся также спирты, синтетическое топливо и водород. Спиртовое моторное топливо представляет собой этиловый (метилвый) спирт, получаемый из растительного сырья, природного и генераторного газа и используемый в чистом виде или в

смеси с бензином, дизельным и другими нефтяными топливами. Перевод транспортных средств на работу на спиртовом моторном топливе вместо нефтяного позволяет уменьшить загрязнение воздушного бассейна отработавшими газами.

Для снижения загрязнения воздуха в городах могут быть рекомендованы три возможных способа:

- использование небольших автомобилей с низкой мощностью двигателей;
- применение автомобилей, работающих в пределах города, как электрические, а вне города – как бензиновые;
- совершенствование движения транспортных потоков.

8.6. Озеленение дорог

Защитные полосы вдоль автомобильных дорог предназначены для защиты от снежных заносов, оползней, обвалов, ветровой и водной эрозии прилегающих к дорогам земель, для снижения уровня шума, выполнения санитарно-гигиенических и эстетических функций, ограждения движущихся транспортных средств от неблагоприятных аэродинамических воздействий. Ширина защитных полос лесов вдоль автомобильных дорог должна составлять не менее 250 м с каждой стороны дороги. Ширину защитных полос исчисляют от границы полосы отвода земель, но не менее 15 м от оси дороги. Внешние границы защитных полос вдоль дорог должны быть ограждены водными объектами, складками рельефа и другими естественными рубежами, каналами, просеками и т. д.

Придорожные насаждения способствуют также сохранению устойчивости откосов, защите дороги от отработавших газов и света фар автомобилей.

Над нагретым асфальтобетоном создаются восходящие потоки воздуха, поднимающие с собой тонкую пыль и длительно удерживающие ее в воздухе. Над зелеными насаждениями, имеющими более прохладную поверхность, возникают нисходящие потоки воздуха из верхних слоев атмосферы, и пыль оседает. Пылезащитные свойства деревьев тем выше, чем больше у них поверхность и шероховатость листьев. Лучше всего задерживают пыль вязы (в 6 раз больше, чем тополя) и сирень. Листья этих деревьев покрыты мельчайшими ворсинками.

К растениям на разделительной полосе предъявляют особо жесткие требования: они должны выдерживать интенсивное воздействие пыли, противогололедных солей, отработавших газов, движение воздуха от

проходящих автомобилей. Такие растения должны иметь небольшую высоту, хорошо развитую крону и слабо развитый ствол.

8.7. Ландшафтное проектирование

Ландшафт – однородный участок поверхности суши, окаймленный естественными границами, в пределах которых природные комплексы (горные породы, рельеф, климат и др.) образуют взаимосвязанное и взаимообусловленное единство. Описывая экологический кризис в промышленно развитых капиталистических странах, зарубежные ученые считают одним из наиболее ярких его симптомов не только экологическую, но и эстетическую ценность природного ландшафта.

Трасса дороги должна гармонично сочетаться с формами рельефа. Ось дороги следует рассматривать как единую пространственную кривую, построение которой зависит от окружающего ландшафта, с которым план, продольный и поперечный профили дороги и ее внешний вид в целом должны быть тесно увязаны. При трассировании следует принимать во внимание территориальные характеристики геоморфологии, гидрологии, климата, культурного землепользования, фауны, флоры, эстетики, рекреационного использования, возможной археологической ценности, инженерно-геологические явления, наличие памятников старины, архитектурных ценностей, уникальных явлений природы.

8.8. Строительство и эксплуатация дорог на радиоактивно загрязненных территориях

Специфика работы дорожно-строительных подразделений в радиоактивно загрязненных районах включает ряд вопросов радиационно-экологической безопасности. В этом случае проведение работ связано с некоторыми трудностями обеспечения защиты рабочих и участников дорожного движения от ионизирующих излучений. Очень важным является умение правильно оборудовать рабочие места, организовать режим работы техники и обслуживающего персонала, рассчитать время пребывания на загрязненной территории и полученные дозы.

К очагам радиоактивного загрязнения относится территория, на поверхности которой мощность экспозиционной дозы излучения превышает 120 мкР/ч или удельная активность проб грунта и других материалов превышает 74 кБк/кг для β -активных веществ, для трансурановых элементов – 0,37 кБк/кг.

Поскольку строительство автомобильных дорог связано с большим объемом используемых материалов, то необходимо контролировать их радиоактивность.

При разработке карьеров местных строительных материалов, расположенных на территории, загрязненной радиоцезием $5,55 \cdot 10^5$ Бк/м² (15 Ки/км²) и выше, необходимо снимать и удалять верхний слой почвы на глубину не менее 0,20 м.

Порядок использования растительного грунта зависит от его радиоактивности: грунт с содержанием радиоцезия на поверхности с удельной активностью более $1,48 \cdot 10^6$ Бк/м² (40 Ки/км²) следует захоранивать в местах повышенного рельефа в траншеях глубиной 1–2 м с глиняным замком более 0,5 м или в валах с обсыпкой не менее 0,8 м чистого грунта на насыпной подушке из слабофильтрующих грунтов (расстояние до грунтовых вод не менее 1 м в обоих случаях).

Древесно-кустарниковую растительность со средней загрязненностью по коре до 740 Бк/кг можно утилизировать с использованием стандартных технологий. При средней загрязненности растительности по коре 740–8880 Бк/кг ее утилизацию следует проводить путем захоронения в обычных валах или траншеях с обеспечением расстояния до грунтовых вод не менее 1 м. При содержании радионуклидов в коре свыше 8800 Бк/кг захоронение растительности проводят аналогично захоронению грунта, загрязненного свыше $1,48 \cdot 10^5$ Бк/м². Расстояние до населенных пунктов от мест утилизации древесно-кустарниковой растительности должно быть не менее 1 км, при сжигании – не менее 3 км.

При проектировании дорожной одежды необходимо учитывать защитные свойства ее конструктивных слоев и тем самым уменьшить степень воздействия ионизирующих излучений на участников дорожного движения. Защитные свойства строительных материалов зависят от их плотности и характеризуются слоем половинного ослабления, при прохождении которого интенсивность γ -излучения уменьшается в 2 раза. Толщины слоев половинного ослабления могут быть приближенно найдены по формуле

$$d_{\text{пол}} = 13/\rho, \quad (8.1)$$

где ρ – плотность материала, г/см³.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабков, В. Ф. Проектирование автомобильных дорог: учебник / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – Изд. 2-е. – М.: Транспорт, 1987. – Ч. 1. – 367 с.
2. Бабков, В. Ф. Проектирование автомобильных дорог: учебник / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – Изд. 2-е. – М.: Транспорт, 1987. – Ч. 2. – 414 с.
3. Бойчук, В. С. Проектирование сельскохозяйственных дорог и площадок: учебник / В. С. Бойчук. – М.: Агропромиздат, 1996. – 207 с.
4. Дубяго, Д. С. Внутрихозяйственные дороги: учеб.-метод. комплекс / Д. С. Дубяго. – Горки: Белорус. гос. с.-х. акад., 2015.
5. Дубяго, Д. С. Внутрихозяйственные дороги: электронный учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-74 04 01 «Сельское строительство и обустройство территорий». Рег. св-во № 7671609478 от 01.08.2016 г. о включении в Государственный регистр информационных ресурсов (М-во связи и информатизации Респ. Беларусь; Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие «Институт прикладных программных систем» / Д. С. Дубяго. – Горки: Белорус. гос. с.-х. акад., 2016.
6. Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности: Закон Респуб. Беларусь от 2 дек. 1994 г. № 3434-XII. – URL: https://base.spinform.ru/show_doc.fwx?rgn=1932.
7. Славущий, А. К. Сельскохозяйственные дороги и площадки: учебник / А. К. Славущий, В. П. Носов. – 2-е изд. – М.: Агропромиздат, 1986. – 447 с.
8. Строительные нормы. Автомобильные дороги. СН 3.03.04-2020. – Введ. 26.11.2019. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2020. – 71 с.
9. Технический кодекс установившейся практики. Улицы населенных пунктов дорог. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-3.03-227-2010. – Введ. 17.12.2010. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 49 с.
10. Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги низших категорий. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-96-2008. – Введ. 01.11.2008. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 20 с.
11. Технический кодекс установившейся практики. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112-2008. – Введ. 19.12.2008 – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 84 с.
12. Янцевич, И. К. Проектирование автомобильных дорог: метод. указания по выполнению курсового проекта № 1 «Основы проектирования» / И. К. Янцевич, Е. В. Кононова. – Минск: Белорус. нац. техн. ун-т, 2009. – 98 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Расчетные характеристики грунтов и схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна

Расчетные значения модуля упругости E_y , угла внутреннего трения φ , внутреннего сцепления C пылевато-глинистых грунтов и пылеватых песков принимают по табл. А1 с учетом данных табл. А2.

Т а б л и ц а А1. Расчетные значения характеристик грунтов

Вид грунта	Число пластично- сти J_p , %	Содержание песча- ных зерен (2–0,5 мм), % по массе	Показатели	Расчетные значения характеристик грунта, в зависимости от влажности W_p , %								
				0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Песок												
Крупный (в том числе ПГС по ГОСТ 23735 с содержанием щебня (гравия) до 30 %)			E_y , МПа	130,0								
			φ	35°								
			C , МПа	0,004								
Средней круп- ности			E_y , МПа	120,0								
			φ	32°								
			C , МПа	0,004								
Мелкий			E_y , МПа	100,0								
			φ	31°								
			C , МПа	0,003								
Однородный			E_y , МПа	75,0								
			φ	31°								
			C , МПа	0,003								

Окончание табл. А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пылеватый			E_v , МПа	96,0	90,0	84,0	78,0	72,0	60,0	60,0	54,0	48,0
			φ	38°	38°	37°	37°	36°	35°	34°	33°	32°
			C , МПа	0,026	0,024	0,022	0,018	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009
Супесь												
Крупная легкая	1–7	Более 50	E_v , МПа	108,0	108,0	100,0	100,0	79,0	69,0	62,0	54,0	50,0
			φ	32°	30°	29°	28°	27°	26°	25°	23°	22°
			C , МПа	0,022	0,016	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005	–
Пылеватая	1–7	Более 50	E_v , МПа	108,0	108,0	100,0	100,0	79,0	69,0	62,0	54,0	50,0
			φ	32°	30°	29°	28°	27°	26°	25°	23°	22°
			C , МПа	0,022	0,020	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005	–
Суглинок												
Легкий непы- леватый	7–12	Более 40	E_v , МПа	108,0	100,0	77,0	64,0	52,0	42,0	34,0	27,0	23,0
			φ	27°	25°	23°	21°	19°	18°	16°	13°	11°
			C , МПа	0,035	0,026	0,024	0,018	0,014	0,011	0,009	0,006	0,004
Легкий пыле- ватый	7–12	Менее 40	E_v , МПа	108,0	100,0	77,0	64,0	52,0	42,0	34,0	27,0	23,0
			φ	28°	25°	24°	22°	20°	18°	16°	14°	11°
			C , МПа	0,040	0,030	0,030	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007	0,005
Тяжелый не пылеватый	12–17	Более 40	E_v , МПа	100,0	80,0	62,0	49,0	38,0	29,0	21,0	13,0	10,0
			φ	25°	22°	20°	18°	15°	13°	10°	7°	–
			C , МПа	0,050	0,035	0,030	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007
Тяжелый пыле- ватый	12–17	Менее 40	E_v , МПа	100,0	80,0	62,0	49,0	38,0	29,0	21,0	13,0	10,0
			φ	25°	22°	20°	18°	15°	13°	10°	7°	–
			C , МПа	0,050	0,035	0,030	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007
Глина												
Легкая непыле- ватая	17–27	Более 40	E_v , МПа	82,0	62,0	51,0	34,0	24,0	17,0	10,0	5,0	–
			φ	23°	20°	17°	15°	12°	8°	3°	–	–
			C , МПа	0,060	0,040	0,032	0,024	0,020	0,020	0,010	0,008	0,010
Легкая пылева- тая	17–27	Менее 40	E_v , МПа	82,0	62,0	51,0	34,0	24,0	17,0	10,0	5,0	–
			φ	23°	20°	17°	15°	12°	8°	3°	–	–
			C , МПа	0,060	0,040	0,032	0,024	0,020	0,020	0,010	0,008	0,010
Тяжелая	Св. 27	Не нормируется	E_v , МПа	70,0	48,0	34,0	24,0	16,0	10,0	5,0	4,0	–
			φ	22°	19°	16°	13°	10°	5°	–	–	–
			C , МПа	0,060	0,044	0,034	0,025	0,020	0,015	0,010	0,006	–

Т а б л и ц а А2. Среднее значение влажности грунта $W_{\text{таб}}$

Дорожно-климатический район	Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна	Среднее значение влажности грунта $W_{\text{таб}}$ в долях от W_T			
		Супесь легкая	Песок пылеватый	Суглинок легкий	Супесь пылеватая и суглинок пылеватый
1	1	0,63	0,65	0,68	0,73
	2	0,66	0,68	0,71	0,76
	3	0,68	0,70	0,73	0,78
2	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,63	0,65	0,68	0,73
	3	0,65	0,67	0,70	0,75
3	1	0,65	0,67	0,70	0,75
	2	0,68	0,70	0,73	0,78
	3	0,70	0,72	0,75	0,80

Расчетное значение влажности грунта W_p , %, определяют по формуле

$$W_p = W_{\text{таб}}(1 + 0,1t), \quad (\text{А1})$$

где $W_{\text{таб}}$ – среднее многолетнее значение относительной (доли от границы текучести) влажности грунта в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна в зависимости от дорожно-климатического района, схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта;

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый по табл. 7.20 в зависимости от требуемого уровня надежности.

Расчетные схемы увлажнения верхней части земляного полотна приведены в ТКП 45-3.03-19.

**Расчетные значения прочностных и деформационных характеристик
конструктивных слоев дорожных одежд**

Т а б л и ц а Б1. Характеристики асфальтобетонов и эмульсионно-минеральных смесей при расчете на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками

Вид материала	Расчетные значения модуля упругости E_y , МПа	m	α	Прочность на растяжение при изгибе R_n , МПа
Горячие асфальтобетоны				
Плотный, на битуме, модифицированном термореактивными полимерами	6100	7,0	3,0	14,0
Плотный, на резинобитумном вяжущем	5800	6,9	3,2	13,8
Плотный, на битуме, модифицированном полимерами типа СБС	5500	6,9	3,3	13,0
Щебеночно-мастичный, на битуме БНД/БН марки:				
60/90	5600	5,5	5,1	11,0
90/130	4800	5,0	5,3	10,5
Плотный, на битуме БНД/БН марки:				
60/90	4500	5,5	4,3	9,8
90/130	3600	5,0	4,8	9,5
130/200	2600	4,5	5,4	9,3
Пористый, на битуме БНД марки:				
60/90	2800	4,3	8,2	8,0
90/130	2200	4,0	8,6	7,8
130/200	1800	3,8	9,0	7,6
200/300	1400	3,7	9,6	7,1
Высокопористый, на битуме БНД марки:				
60/90	2100	4,0	9,3	5,8
90/130	1700	3,8	9,8	5,5
Холодные асфальтобетоны				
Тип Б _х	2600	3,0	8,0	4,9
Тип В _х	2200	2,5	9,8	4,6
Тип Г _х	1800	2,0	13,2	4,2
Тип Д _х	1500	2,0	13,2	3,9
Эмульсионно-минеральные смеси по [3]	2000	3,8	8,8	6,5

П р и м е ч а н и е. Характеристики плотных асфальтобетонов даны для типа А. Для типов В и Д значения E_y и R_n уменьшают в 1,15 раза. Для асфальтобетонов типов Б и Г значения E_y и R_n увеличивают в 1,15 и 1,20 раза соответственно.

Т а б л и ц а Б2. Значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов и эмульсионно-минеральных смесей при расчете конструкции по допускаемому упругому прогибу и по условию сдвигоустойчивости

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости E_y , МПа, при температуре покрытия, °С		
		10	20	50
Щебеночно-мастичный асфальтобетон	Вязкий БНД/БН: 60/90	3700	2100	530
	90/130	2700	1400	460
Плотный асфальтобетон	Модифицированный	4000	2350	660
	Вязкий БНД/БН: 60/90	3200	1800	460
	90/130	2400	1200	420
	130/200	1500	800	380
	200/300	1200	600	360
	Жидкий: БГ 70/130	1000	420	350
	СГ 130/200	1000	420	350
Пористый и высокопористый асфальтобетон	СГ 70/130	800	360	350
	Вязкий БНД/БН: 60/90	2000	1200	360
	90/130	1400	800	350
	130/200	1100	600	340
	200/300	950	450	330
Холодные асфальтобетоны:				
тип Б _х		1300	—	—
тип В _х		1100	—	—
тип Г _х		900	—	—
тип Д _х		750	—	—
Эмульсионно-минеральные смеси по [3]		1800	1000	340

П р и м е ч а н и я. 1. Модули упругости плотного асфальтобетона на модифицированном битуме даны для случая его модификации термозластопластичными полимерами типа СБС. В случае применения резинобитумных вяжущих значение E_y уменьшают в 1,05 раза. Для терморепривных полимеров значение E_y уменьшают в 1,20 раза.

2. Модули упругости плотных асфальтобетонов даны для типа А. Для асфальтобетонов типов В и Д значение E_y уменьшают в 1,10 раза. Для асфальтобетонов типов Б и Г значение E_y увеличивают в 1,10 и 1,15 раза соответственно.

3. При использовании плотного асфальтобетона в нижнем слое покрытия на глубине более 4 см от поверхности его модуль упругости E_y при 10 °С увеличивают в 1,15 раза.

4. Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей увеличивают в 1,10 раза, а для крупнозернистых смесей – в 1,20 раза.

Т а б л и ц а Б3. Значения модуля упругости асфальтобетона при расчете на длительную нагрузку

Вид асфальтобетона	Тип смеси	Расчетный модуль упругости при статическом действии нагрузки E_y , МПа, при расчетной температуре, °С	
		20	50
Плотные смеси	ЩМСц, А	480	300
	Б	400	250
	В	320	200
	Г	300	200
	Д	200	150
Пористые и высокопористые смеси	Крупнозернистая	360	250
	Мелкозернистая	290	200
	Песчаная	250	190
Холодные асфальтобетоны	Тип Б _х	180	–
	Тип В _х	170	–
	Тип Г _х	160	–
	Тип Д _х	150	–

Т а б л и ц а Б4. Характеристики асфальтобетона при расчете на сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев

Наименование материала	Угол внутреннего трения φ	Внутреннее сцепление C , МПа
Асфальтобетон щебеночно-мастичный	43°	0,28
Асфальтобетон крупнозернистый горячий пористый	39°	0,29
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа А	39°	0,27
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа Б	38°	0,31
Асфальтобетон крупнозернистый горячий плотный типа А	38°	0,29
Асфальтобетон мелкозернистый горячий пористый	38°	0,27
Асфальтобетон крупнозернистый горячий плотный типа Б	37°	0,33
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа В	36°	0,33
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа Г	34°	0,37
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа Д	32°	0,35
Вибролитой асфальт	32°	0,34

П р и м е ч а н и е. Характеристики приведены для битума БНД 90/130. При применении битума БНД 60/90 и БМА 100/130 показатели φ увеличивают в 1,05 раза, C – в 1,20 раза. При применении битума БМА 70/100 показатели φ увеличивают в 1,06 раза, C – в 1,40 раза.

Т а б л и ц а Б5. Расчетные характеристики слоев из материалов и грунтов, укрепленных вяжущими веществами

Материал слоя	Расчетные характеристики материалов	
	Модуль упругости E_y , МПа	Прочность на растяжение при изгибе $R_{из}$, МПа
Щебеночно-песчаные смеси из малоактивных металлургических шлаков по ГОСТ 3344 (С1 – С4/С5 – С6), щебеночно-песчаные смеси и крупнообломочные грунты (оптимального по СТБ 1698/неоптимального состава), обработанные: цементом марок:		
75	1000/900	0,70/0,60
60	900/800	0,60/0,50
40	700/600	0,50/0,40
комплексными вяжущими	950/700	0,40/0,30
вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	450/350	0,30/0,20
Щебень из мало прочных пород, доломитовый щебень, пески гравелистые, крупные, средние, обработанные: цементом марок:		
100	950	0,60
75	850	0,50
60	750	0,40
40	600	0,30
20	500	0,20
комплексными вяжущими	450	0,30
вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	280	0,20
Пески мелкие, супесь легкая, пылеватая, суглинок легкий, пески из отходов дробления горных пород, обработанные: цементом марок:		
100	850	0,50
75	750	0,40
60	550	0,30
40	400	0,20
20	250	0,15
комплексными вяжущими	400	0,30
вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	270	0,25
Суглинки тяжелые, пылеватые, глины песчанистые, пылеватые, обработанные: комплексными вяжущими	250	0,15
вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	150	0,10

Т а б л и ц а Б6. Расчетные характеристики слоев из неукрепленных материалов

Материал слоя	Расчетные характеристики материалов		
	Модуль упругости слоя E_y , МПа	Внутреннее сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения ϕ
1	2	3	4
Черный щебень марки 1000 и выше, крупностью до 40 мм, уложенный по способу заклинки	900	—	—
Фракционированный щебень марки 1000 и выше, устроенный по способу пропитки: вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	600	—	—
цементно-песчаной смесью марки М75 при глубине пропитки более 0,5 толщины слоя	500	—	—
Каменная мостовая, пакеляж: из колотого камня из булыжного камня	500	—	—
	400	—	—
Щебеночно-песчаные шлаковые смеси типов С1 – С6 из малоактивных металлургических шлаков по ГОСТ 3344	400	—	—
Фракционированный щебень марки 1000 и выше (из осадочных пород/из глубинных пород), крупностью до 70 мм, оптимального зернового состава по СТБ 1698, устроенный по способу заклинки: известняковой смесью, фосфогипсом	450	0,07	48°
	350	0,06	45°
асфальтогранулятом по СТБ 1705	440	0,06	45°
	330	0,05	44°
фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевом (природным песком)	400	0,05	43°
	300	0,04	42°
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси по ГОСТ 25607:			
типов С1 – С2	240	0,03	43°
типов С3 – С11	200	0,02	42°
Асфальтогранулят по СТБ 1705:			
типа А1	240	0,05	46°
типа А2	220	0,05	44°
Фракционированный доломитовый щебень марки 600 и выше оптимального зернового состава по СТБ 1698, устроенный по способу заклинки:			
асфальтогранулятом по СТБ 1705	240	0,03	46°
фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевом (природным песком)	200	0,03	44°

Окончание табл. Б6

1	2	3	4
Щебеночно-песчаные смеси оптимального зернового состава по СТБ 1698 крупностью до 40 мм, песчано-гравийные смеси по ГОСТ 23735 с содержанием щебня (гравия) более 30 %, минеральный бетон из гранитного отсева, из малопрочных известняков, доломитов малоперекристаллизованных, в том числе с остекленной поверхностью	180	0,02	41°

П р и м е ч а н и е. При армировании основания дорожной одежды синтетическими геосетками, поверхностная плотность которых – не менее 350 г/м²; предел прочности при растяжении (в продольном и поперечном направлениях) – не менее 30 кН/м; относительное удлинение волокон при разрыве (в продольном и поперечном направлениях) – не более 16 %, модуль упругости слоя основания E_y допускается увеличивать в соответствии с действующими ТНПА.

Расчетные транспортные нагрузки

Расчеты производятся в соответствии с [11]. При проектировании дорожных одежд в качестве расчетных принимают нагрузки, соответствующие предельным нагрузкам на ось расчетного двухосного автомобиля, которые представлены в табл. В1.

Т а б л и ц а В1. **Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля**

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на покрытие от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$, кН	Расчетные параметры нагрузки	
		p , МПа	D , м
A_1	50,0	0,60	0,37 0,33
A_2	57,5		0,39 0,37
A_3	65,0		0,41 0,39

П р и м е ч а н и я. 1. В числителе приведены значения для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного колеса.

2. Данные о нагрузках, передаваемых на дорожное покрытие серийно выпускаемыми автотранспортными средствами, принимают по специальным справочникам.

Суммарный коэффициент приведения нагрузки $S_{сум}$ определяют по формуле

$$S_{сум} = \sum_{i=1}^n S_n, \quad (B1)$$

где n – число осей у данного транспортного средства, для приведения которого к расчетной нагрузке определяется коэффициент $S_{сум}$;

S_n – коэффициент приведения номинальной динамической нагрузки от колеса каждой из n осей транспортного средства к расчетной динамической нагрузке.

Коэффициент приведения нагрузки S_n определяют по формуле

$$S_n = (Q_{дин}/Q_{расч})^P, \quad (B2)$$

где $Q_{дин}$ – номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие, кН;

$Q_{расч}$ – нормативная статическая нагрузка от колеса на покрытие, кН;

P – показатель степени, принимаемый равным:

4,4 – для дорожных одежд капитального типа;

3,0 – для дорожных одежд облегченного типа;

2,0 – для дорожных одежд переходного и низшего типов.

Номинальную динамическую нагрузку $Q_{дин}$, кН, определяют по паспортным данным на транспортное средство с учетом распределения статических нагрузок на каждую ось по формуле

$$Q_{дин} = K_{дин} \cdot Q_n, \quad (B3)$$

где $K_{дин}$ – коэффициент динамичности, $K_{дин} = 1,3$;

Q_n – паспортная статическая нагрузка на колесо данной оси, кН.

При определении расчетного значения номинальной статической нагрузки для многосеменных автомобилей фактическую номинальную нагрузку на колесо, определяемую по паспортным данным, следует умножать на коэффициент K_c , вычисляемый по формуле

$$K_c = a - b\sqrt{B_m - c}, \quad (B4)$$

где B_m – расстояние между крайними осями автотранспортного средства, м;
 a, b, c – параметры, определяемые в зависимости от капитальности дорожной одежды и числа осей тележки по табл. В2.

Т а б л и ц а В2. Значения параметров a, b, c

Тележки	a	b	c
Двухосные	1,7	0,43	0,5
	1,52	0,36	0,5
Трехосные	2,0	0,46	1,0
	1,60	0,28	1,0

П р и м е ч а н и е. Значения в числителе – для капитальных и облегченных типов дорожных одежд, в знаменателе – для переходных и низших.

Суммарный коэффициент приведения определяют в следующей последовательности:

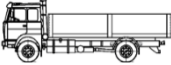
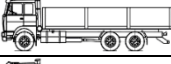
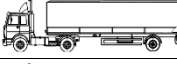
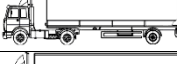
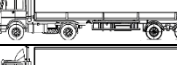
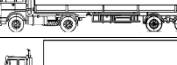
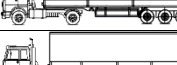
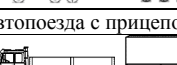
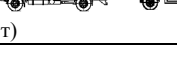
- назначают расчетную нагрузку и определяют ее параметры: $Q_{расч}$, p и D ;
- для каждой марки автомобилей в составе перспективного движения по паспортным данным устанавливают величину номинальной статической нагрузки на колесо для всех осей транспортного средства Q_n ;
- умножив полученные значения Q_n и расчетную нагрузку $Q_{расч}$ на коэффициент динамичности, находят величины номинальных динамических нагрузок $Q_{дин}$ от колеса для каждой оси и величину расчетной динамической нагрузки $Q_{драсч}$;
- по формуле (В2) вычисляют коэффициент приведения номинальной нагрузки от колеса каждой из осей S_n к расчетной;
- по формуле (В1) вычисляют суммарный коэффициент приведения нагрузки от рассматриваемого типа автомобиля к расчетной нагрузке.

Допускается принимать суммарный коэффициент приведения $S_{тсум}$ по данным табл. В3.

Т а б л и ц а В3. Значения суммарных коэффициентов приведения $S_{тсум}$ для различных транспортных средств

Вид транспортного средства	Коэффициенты приведения $S_{тсум}$ к расчетной нагрузке		
	$K_{пр}$ (A_1)	$K_{пр}$ (A_2)	$K_{пр}$ (A_3)
1	2	3	4
1. Легковой автомобиль	0,002	0,0015	0,0012
2. Микроавтобус	0,0037	0,0027	0,002

Продолжение табл. В3

1	2	3	4
3. Грузовые автомобили			
3.1. Легкие (грузоподъемность 2–5 т)	0,20	0,10	0,05
3.2. Средние (грузоподъемность 5–8 т)	0,60	0,30	0,27
3.3. Тяжелые грузовые автомобили			
3.3.1.  (задняя ось 10,0 т)	1,00	0,87	0,65
3.3.2.  (задняя ось 11,5 т)	1,35	1,00	0,87
3.3.3.  (задняя ось 13,0 т)	2,90	1,50	1,00
3.3.4.  (тележка 20,0 т)	3,60	1,60	1,10
3.3.5.  (тележка 26,0 т)	4,80	3,50	2,00
4. Автопоезда с полуприцепом			
4.1.  (задняя ось тягача 11,5 т)	2,50	1,50	0,90
4.2.  (задняя ось тягача 13,0 т)	4,20	2,50	1,70
4.3.  (задняя ось тягача 11,5 т)	3,00	1,90	1,10
4.4.  (задняя ось тягача 13,0 т)	6,20	3,50	2,20
4.5.  (задняя ось тягача 11,5 т)	7,00	4,10	2,50
4.6.  (тележка тягача 18,0 т)	3,00	1,90	1,10
4.7.  (тележка тягача 20,0 т)	5,50	3,50	2,20
4.8.  (тележка тягача 20,0 т)	7,00	4,00	2,80
5. Автопоезда с прицепом			
5.1.  (задняя ось автомобиля 11,5 т)	2,50	1,20	0,95

Окончание табл. В3

1		2	3	4
5.2.	 (задняя ось автомобиля 13,0 т)	4,00	2,20	1,30
5.3.	 (задняя ось автомобиля 11,5 т)	3,50	2,00	1,20
5.4.	 (задняя ось автомобиля 13,0 т)	6,40	4,00	2,80
5.5.	 (тележка автомобиля 20,0 т)	4,00	2,50	1,70
5.6.	 (тележка автомобиля 26,0 т)	8,10	5,00	3,50
6. Автобусы				
6.1.	 (задняя ось 11,5 т)	1,50	1,00	0,60
6.2.	 (средняя ось 11,5 т)	3,76	1,90	1,20
6.3.	 (средняя ось 11,5 т)	2,00	1,20	0,80

**Параметры для определения расчетного суммарного числа приложений
транспортной нагрузки за срок службы дорожной одежды**

Расчеты производятся в соответствии с [11]. Расчетное число расчетных дней в году $T_{рд}$ за проектный срок службы конструкции $T_{сл}$ устанавливаются по данным специальных исследований. Расчетным считается день, в течение которого сочетание состояния грунта земляного полотна по влажности и температуре асфальтобетонных слоев конструкции обеспечивают возможность накопления остаточной деформации в грунте земляного полотна или в неукрепленных слоях дорожной одежды и верхних слоях асфальтобетона. Значения $T_{рд}$ приведены в табл. Г1.

Т а б л и ц а Г1. Значение $T_{рд}$ в зависимости от расположения дороги

Дорожно-климатический район	$T_{рд}$ при расчете на прочность дорожной одежды, сут
1. Северный, влажный	125
2. Центральный	130
3. Южный, неустойчиво-влажный	135

Значение коэффициента суммирования K_c принимают по табл. Г2.

Т а б л и ц а Г2. Значение коэффициента суммирования

Показатель изменения интенсивности движения по годам q	Значение K_c при сроке службы дорожной одежды $T_{сл}$, лет			
	8	10	15	19
0,90	5,7	6,5	7,9	8,8
0,92	6,1	7,1	8,9	10,1
0,94	6,5	7,7	10,0	11,8
0,96	7,0	8,4	11,4	13,9
0,98	7,5	9,1	13,1	16,6
1,00	8,0	10,0	15,0	20,0
1,02	8,6	10,9	17,2	24,4
1,04	9,2	12,0	20,0	29,8
1,06	9,9	13,2	23,2	36,0
1,08	10,6	14,5	27,2	45,8
1,10	11,4	15,9	31,7	67,3

Расчет сдвигоустойчивости неукрепленных слоев дорожной одежды для дорог с движением группы расчетной нагрузки A_1

Расчет сдвигоустойчивости неукрепленных слоев дорожной одежды для дорог с движением группы расчетной нагрузки A_1 производится в соответствии с [11].

Расчет на сдвигоустойчивость выполняют путем приведения реальной конструкции к двухслойной модели.

К верхнему слою модели относят все слои из монолитных материалов. Толщину верхнего слоя модели H_1 принимают равной сумме толщин монолитных слоев $\sum h_i$. Значение модуля упругости верхнего слоя модели $E_в$ устанавливают как средневзвешенное для всех монолитных слоев по формуле (7.10).

Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже монолитных слоев, включая грунт рабочего слоя земляного полотна. Модуль упругости нижнего слоя модели $E_{нобщ}$ определяют путем приведения слоистой системы к эквивалентной по жесткости с помощью номограммы, представленной на рис. 7.2.

Прочность конструкции количественно оценивается величиной коэффициента прочности, определяемого по формуле

$$K_{пр}^{тр} = \frac{(\pi h_{экр})^2}{15Q_{расч}} \cdot \frac{(0,1\gamma z + C \operatorname{ctg} \varphi)}{K_{дин} (\operatorname{ctg} \varphi + (\varphi - \pi / 2))}, \quad (Д1)$$

где C – внутреннее сцепление в грунте или малосвязанном материале конструктивного слоя дорожной одежды, МПа;

φ – угол внутреннего трения грунта или материала дорожной одежды, рад;

γ – средняя плотность материала монолитных слоев дорожной одежды, кг/см³;

$Q_{расч}$ – расчетная нагрузка на колесо автомобиля, кН;

$K_{дин}$ – коэффициент динамичности, $K_{дин} = 1,3$;

Z – расстояние от верха покрытия до верха рассчитываемого на прочность грунта или слоя основания из несвязных материалов, м;

$h_{экр}$ – эквивалентная толщина слоев дорожной одежды, лежащих выше слоя, устойчивости которого учитывается при определении коэффициента прочности, м.

Эквивалентную толщину слоев дорожной одежды $h_{экр}$, м, вычисляют по формуле

$$h_{экр} = z - H_1 + H_1 (E_в / E_{нобщ})^{1/3}, \quad (Д2)$$

где H_1 – толщина верхнего слоя модели (толщина монолитных слоев), м.

Для грунтов земляного полотна расчетные значения E , φ , C принимают по прил. А, для неукрепленных материалов – по прил. Б.

Дорожно-климатическое районирование территории Республики Беларусь

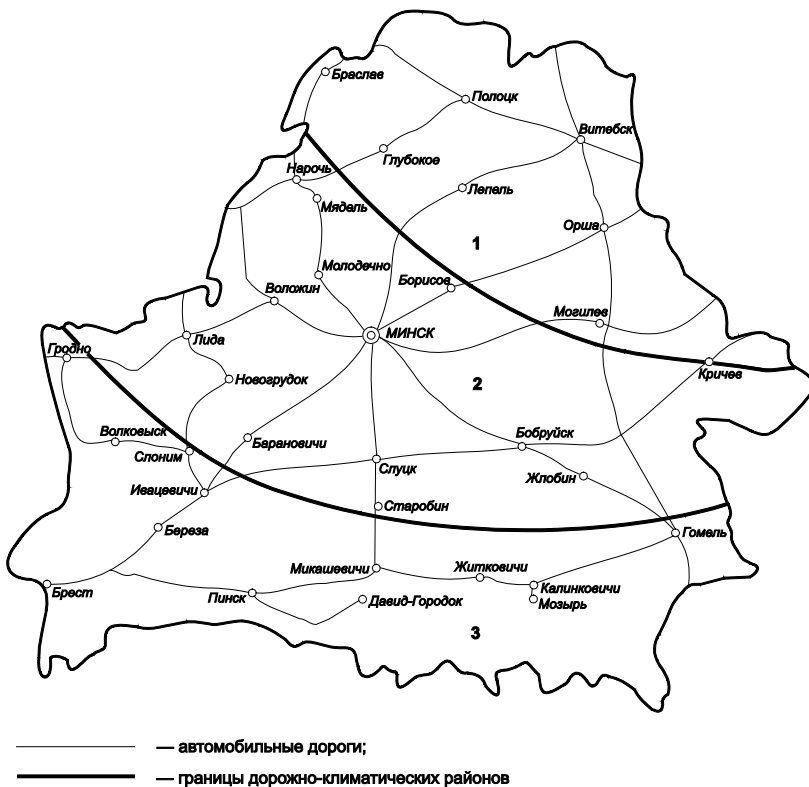


Рис. Е1. Расположение дорожно-климатических районов:
1 – северный, влажный;
2 – центральный, умеренно-влажный;
3 – южный, неустойчиво-влажный

Пример расчета нежестких дорожных одежд

Пример расчета нежесткой дорожной одежды в соответствии с [11].

Задание: запроектировать дорожную одежду во 2-м (центральном) дорожно-климатическом районе IV категории с заданным сроком службы 10 лет на действие группы нагрузок А₃. Расчетная интенсивность движения приведенных автомобилей на последний год службы составляет 3000 автомобилей в сутки на 1 полосу движения. Прирост интенсивности движения – 5 % в год. Грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая. Средняя высота насыпи – 1,5 м. Дорога проходит по I типу местности.

При проектировании необходимо использовать:

- верхний слой покрытия – из плотной асфальтобетонной смеси на модифицированном битуме;
- нижний слой покрытия – из плотной асфальтобетонной смеси типа А на битуме БНД 60/90;
- верхний слой основания – из пористого асфальтобетона на битуме БНД 60/90;
- второй слой основания – из черного щебня;
- третий слой основания – из щебня по способу заклинки (заклинка каменной мелочью);
- дополнительный слой основания – из среднезернистого песка.

При проектировании дорожной одежды специального назначения за нагружение от расчетного автомобиля принимают нагружение от конкретного транспортного средства, систематическая эксплуатация которого прогнозируется на данном объекте. Для этого принимают фактическое давление воздуха в шине p , МПа, фактическое значение колесной нагрузки на покрытие Q , кН, расчетный диаметр отпечатка колеса транспортного средства D , м, и фактическую интенсивность движения N_p , авт/сут, на проектируемом объекте.

Расчетный диаметр отпечатка колеса D , м, нестандартных автомобилей и тяжеловесных транспортных средств определяют по формуле

$$D = \sqrt{\frac{40Q}{\pi \cdot p}} \cdot 0,01, \quad (\text{Ж1})$$

где Q – фактическое значение колесной нагрузки на покрытие, кН;

p – фактическое давление воздуха в шине, МПа.

В зависимости от вида расчета дорожной одежды используют различные характеристики интенсивности воздействия на нее транспортной нагрузки:

N – перспективную (на конец срока службы) общую среднесуточную интенсивность движения;

N_p – приведенное к расчетной нагрузке среднесуточное (на конец срока службы) число проездов всех колес, расположенных по одному борту расчетного автомобиля, в пределах одной полосы проезжей части (приведенная интенсивность воздействия нагрузки);

ΣN_p – число накопленных осей, приложенных к расчетной точке на поверхности конструкции за расчетный срок службы.

Перспективную общую среднесуточную интенсивность движения устанавливают по данным анализа закономерностей изменения объема перевозок и интенсивности движения при проведении титульных экономических обследований.

Расчет производят в следующей последовательности.

1. Вычисляют число накопленных осей за срок службы по [8, п. 6.2.10]:

$$\sum N_p = 0,7 N_p \cdot \frac{K_c}{q^{(T_{\text{ср}}-1)}} \cdot T_{\text{рлг}} \cdot K_n, \quad (\text{Ж2})$$

где $T_{\text{ср}}$ – расчетный срок службы дорожной одежды, принимаемый по табл. Ж1;

Т а б л и ц а Ж1. Рекомендуемый расчетный срок службы дорожной одежды

Категория автомобильной дороги	Тип дорожной одежды	Коэффициент надежности K_n						
		0,98	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
		Срок службы $T_{\text{ср}}$, лет						
I	Капитальный	19	14	–	–	–	–	–
II	Капитальный	17	13	–	–	–	–	–
III	Капитальный	15	12	11	–	–	–	–
	Облегченный	–	11	10	–	–	–	–
IV	Капитальный	12	10	9	8	–	–	–
	Облегченный	–	–	8	7	6	–	–
V	Переходный	–	–	–	6	5	4	–
	Облегченный	–	–	–	–	6	5	4
	Переходный	–	–	–	–	5	4	3
VI	Низший	–	–	–	–	–	4	3
	Переходный	–	–	–	–	5	4	3
	Низший	–	–	–	–	–	3	2

q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам; в задании коэффициент суммирования $K_c = 12,5$ (см. таблицу [8, табл. Г2 прил. Г]). Значение коэффициента суммирования K_c приведены в табл. Ж2.

Т а б л и ц а Ж2. Значение коэффициента суммирования

Показатель изменения интенсивности движения по годам q	Значение K_c при сроке службы дорожной одежды $T_{\text{ср}}$, лет			
	8	10	15	19
0,90	5,7	6,5	7,9	8,8
0,92	6,1	7,1	8,9	10,1
0,94	6,5	7,7	10,0	11,8
0,96	7,0	8,4	11,4	13,9
0,98	7,5	9,1	13,1	16,6
1,00	8,0	10,0	15,0	20,0
1,02	8,6	10,9	17,2	24,4
1,04	9,2	12,0	20,0	29,8
1,06	9,9	13,2	23,2	36,0
1,08	10,6	14,5	27,2	45,8
1,10	11,4	15,9	31,7	67,3

Расчетная прочность дорожной одежды $T_{\text{рлг}} = 130$ сут (табл. Ж3).

Т а б л и ц а Ж3. Значение $T_{рлг}$ в зависимости от расположения дороги

Дорожно-климатический район	$T_{рлг}$ при расчете на прочность дорожной одежды, сут
1. Северный, влажный	125
2. Центральный	130
3. Южный, неустойчиво-влажный	135

Вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого $K_n = 1,49$ (табл. Ж4).

K_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, принимаемый по (табл. Ж4).

Т а б л и ц а Ж4. Значение коэффициента K_n , учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента K_n при категориях дорог				
	I	II	III	IV	V, VI
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	–
Облегченный	–	1,47	1,32	1,26	1,06
Переходный, низший	–	–	1,19	1,16	1,04

Тогда

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 3000 \cdot \frac{12,6}{1,05^9} \cdot 130 \cdot 1,31 = 1730929 \text{ шт.}$$

2. Определяют расчетную влажность и расчетные характеристики грунта земляного полотна по формуле:

$$W_p = W_{таб} (1 + 0,1t),$$

где $W_{таб} = 0,75$ (табл. Ж5).

Т а б л и ц а Ж5. Среднее значение влажности грунта $W_{таб}$

Дорожно-климатический район	Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна	Среднее значение влажности грунта $W_{таб}$, в долях от W_T			
		Супесь легкая	Песок пылеватый	Суглинок легкий	Супесь пылеватая и суглинок пылеватый
1	1	0,63	0,65	0,68	0,73
	2	0,66	0,68	0,71	0,76
	3	0,68	0,70	0,73	0,78
2	1	0,60	0,62	0,65	0,70
	2	0,63	0,65	0,68	0,73
	3	0,65	0,67	0,70	0,75
3	1	0,65	0,67	0,70	0,75
	2	0,68	0,70	0,73	0,78
	3	0,70	0,72	0,75	0,80

Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок A_1 и A_2 , представлены в табл. Ж6.

Т а б л и ц а Ж6. Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок A_1 и A_2

Дорожная одежда капитального типа		Значения коэффициентов для категории автомобильных дорог, предназначенных для движения групп нагрузок A_1 и A_2									
		I		II		III			IV		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85
Требуемый коэф. прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию	упругого прогиба	1,25	1,15	1,20	1,10	1,20	1,10	1,00	1,05	0,95	0,85
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90
	усталостного разрушения монолитных слоев на растяжение при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90

$T = 2,19$ (см. [8, табл. 7.20]), (табл. Ж7).

Т а б л и ц а Ж7. Коэффициент нормированного отклонения t

K_n	0,85	0,90	0,95	0,98
t	1,06	1,32	1,71	2,19

Тогда $W_p = 0,75 \cdot (1 + 0,1 \cdot 1,17) = 0,88 \%$.

По табл. А.1, прил. А принимаем: $E_y = 54$ МПа; $\varphi = 23^\circ$; $C = 0,005$ МПа.

3. Предварительно назначают конструкцию дорожной одежды, как указано в табл. Ж8.

Т а б л и ц а Ж8. Принятые параметры конструкции дорожной одежды

Номер слоя	Материал	h , м	E_{10} , МПа	E_{20} , МПа	E_0 , МПа	R_n , МПа	φ	C , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Асфальтобетон плотный на модифицированном битуме	0,05	5000	3800	5500	$R_n = 13$ $m = 6,9$ $\alpha = 3,3$	—	—
2	Асфальтобетон плотный крупнозернистый тип А на битуме БНД 60/90	0,06	3200	1800	4500	$R_n = 9,8$ $m = 5,5$ $\alpha = 4,3$	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Асфальтобетон пористый крупнозернистый на битуме БНД 60/90	0,08	2000	1200	2800	$R_n = 8,0$ $m = 4,3$ $\alpha = 8,2$	—	—
4	Черный щебень	0,20	900	900	900	—	—	—
5	Щебень по способу заклинки каменной мелочью	0,20	300	300	300	—	43°	0,05
6	Песок среднезернистый	0,40	120	120	120	—	32°	0,004
7	Грунт земляного полотна – супесь пылеватая	—	54	54	54	—	23°	0,005

П р и м е ч а н и е. Расчетные характеристики приняты по прил. А и Б.

По прил. В определяют для группы нагрузок A_3 расчетный диаметр и давление колеса на покрытие: $D = 0,41$ м; $p = 0,6$ МПа.

При проектировании дорожных одежд в качестве расчетных принимают нагрузки, соответствующие предельным нагрузкам на ось расчетного двухосного автомобиля, которые представлены в табл. В1, прил. В.

Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля представлены в табл. Ж9.

Т а б л и ц а Ж9. Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на покрытие от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$, кН	Расчетные параметры нагрузки	
		p , МПа	D , м
A_1	50,0	0,60	$\frac{0,37}{0,33}$
A_2	57,5		$\frac{0,39}{0,37}$
A_3	65,0		$\frac{0,41}{0,39}$

П р и м е ч а н и я. 1. В числителе приведены значения для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного колеса. 2. Данные о нагрузках, передаваемых на дорожное покрытие серийно выпускаемыми автотранспортными средствами, принимают по специальным справочникам.

4. Расчет по допускаемому упругому прогибу выполняют послойно, начиная с подстилающего грунта, по номограмме (см. рис. 7.2).

4.1. Дополнительный слой основания (слой 6):

$$\frac{E_2^{VI}}{E_1^{VI}} = \frac{54}{120} = 0,45; \quad \frac{h_{VI}}{D} = \frac{0,40}{0,41} = 0,97.$$

Тогда по номограмме (см. рис. 7.2):

$$\frac{E_{\text{общ}}^{VI}}{E_1^{VI}} = 0,72; \quad E_{\text{общ}}^{VI} = 120 \cdot 0,72 = 86 \text{ МПа.}$$

4.2. Третий слой основания из щебня по способу заклинки (слой 5):

$$\frac{E_2^V}{E_1^V} = \frac{86}{300} = 0,28; \quad \frac{h_V}{D} = \frac{0,20}{0,41} = 0,49.$$

Тогда

$$\frac{E_{\text{общ}}^V}{E_1^V} = 0,43; \quad E_{\text{общ}}^V = 129 \text{ МПа.}$$

4.3. Второй слой основания из черного щебня (слой 4):

$$\frac{E_2^{IV}}{E_1^{IV}} = \frac{129}{900} = 0,14; \quad \frac{h_{IV}}{D} = \frac{0,20}{0,41} = 0,49.$$

Тогда

$$\frac{E_{\text{общ}}^{IV}}{E_1^{IV}} = 0,28; \quad E_{\text{общ}}^{IV} = 252 \text{ МПа.}$$

4.4. Верхний слой основания из пористого асфальтобетона (слой 3):

$$\frac{E_2^{III}}{E_1^{III}} = \frac{252}{2000} = 0,13; \quad \frac{h_{III}}{D} = \frac{0,08}{0,41} = 0,2.$$

Тогда

$$\frac{E_{\text{общ}}^{III}}{E_1^{III}} = 0,17; \quad E_{\text{общ}}^{III} = 340 \text{ МПа.}$$

4.5. Нижний слой покрытия из плотного асфальтобетона (слой 2):

$$\frac{E_2^{II}}{E_1^{II}} = \frac{340}{3200} = 0,11; \quad \frac{h_{II}}{D} = \frac{0,06}{0,41} = 0,15.$$

Тогда

$$\frac{E_{\text{общ}}^{II}}{E_1^{II}} = 0,12; \quad E_{\text{общ}}^{II} = 420 \text{ МПа.}$$

4.6. Верхний слой покрытия из плотного асфальтобетона на модифицированном вяжущем (слой 1):

$$\frac{E_2^1}{E_1^1} = \frac{420}{5000} = 0,09; \quad \frac{h_1}{D} = \frac{0,05}{0,41} = 0,12.$$

Тогда

$$\frac{E_{\text{общ}}^1}{E_1^1} = 0,11; \quad E_{\text{общ}}^1 = 550 \text{ МПа}.$$

Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по критерию упругого прогиба при условии

$$K_{\text{пр}}^{\text{тр}} \leq E_{\text{общ}}/E_{\text{тр}}, \quad (\text{ЖЗ})$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого коэффициента надежности по [8, табл. 6.1–6.4];

$E_{\text{общ}}$ – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;

$E_{\text{тр}}$ – требуемый модуль упругости дорожной конструкции с учетом категории дороги, типа дорожной одежды и интенсивности воздействия группы нагрузок, МПа.

Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения группы нагрузок A_3 , представлены в табл. Ж10.

Т а б л и ц а Ж10. Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения группы нагрузок A_3

Дорожная одежда капитального типа		Значения коэффициентов для категории автомобильных дорог, предназначенных для движения группы нагрузок A_3						
		I		II		III, IV		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90
Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ по критерию	упругого прогиба	1,40	1,20	1,28	1,10	1,18	1,05	1,00
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,25	1,15	1,20	1,10	1,15	1,05	1,00
	усталостного разрушения монолитных слоев на растяжение при изгибе	1,20	1,15	1,10	1,03	1,05	1,00	0,95
	сдвигоустойчивости асфальтобетонных слоев дорожной одежды	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10
	устойчивости асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10

Определяют по [8, п. 6.4.2] величину минимально требуемого модуля упругости.

Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции $E_{тр}$, МПа, при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$, шт., вычисляют по формуле

$$E_{тр} = 98,65 \cdot [\lg(\Sigma N_p) - c], \quad (Ж4)$$

где ΣN_p – число накопленных осей за расчетный срок службы дорожной одежды, устанавливаемое в соответствии с [8, 6.2.10 (см. формулы (6.2) и (6.3))];

c – коэффициент, равный: для группы нагрузок A_1 – 3,55; для группы нагрузок A_2 – 3,23; для группы нагрузок A_3 – 3,05.

Независимо от результата расчета по формуле (Ж4), требуемый модуль упругости дорожной конструкции $E_{тр}$ должен быть не менее указанного в табл. Ж11.

Т а б л и ц а Ж11. Требуемый модуль упругости дорожной одежды $E_{тр}$

Категория авто- мобильной дороги	Требуемый модуль упругости дорожной одежды $E_{тр}$, МПа				
	капитального типа при группе нагрузок			Облегченно- го типа	переходного и низшего типов
	A_1	A_2	A_3		
I	230	270	310	—	—
II	220	250	280	—	—
III	200	230	260	180	—
IV	180	200	220	150	100
V	—	—	—	110	90
VI	—	—	—	—	70

Значение требуемого модуля упругости дорожной конструкции $E_{тр}$, МПа, при $\Sigma N_p < 4 \cdot 10^4$, шт., определяют по табл. Ж11.

Общий расчетный модуль упругости дорожной конструкции $E_{общ}$, МПа, определяют по номограмме для определения общего модуля упругости двухслойной системы $E_{общ}$, МПа, изображенной на рис. 7.2.

$$E_{тр} = 98,65 \cdot [\lg(\Sigma N_p) - c] = 98,65 \cdot [\lg(1730929) - 3,05] = 315 \text{ МПа.}$$

Определяют соблюдение условия при требуемом коэффициенте прочности $K_{пр}^{тр} = 1,2$:

$$K_{пр}^{тр} \leq E_{общ}/E_{тр},$$

$$550 > 315 \cdot 1,2 = 378 \text{ МПа.}$$

Условие выполнено.

5. Выполняют расчет на сдвигустойчивость грунта земляного полотна.

Расчет выполняют в соответствии с [8, п. 6.5].

5.1. Определяют расчетное активное сопротивление сдвига T_a по формуле (7.9):

$$T_a = \bar{\tau}_a p + \tau_v,$$

где $\tau_b = -0,0015$ МПа – по номограмме (см. рис. 7.6);

$$p = 0,6 \text{ МПа};$$

$\bar{\tau}_a$ – определяют по номограмме (см. рис. 7.8), так как общая толщина дорожной одежды – 0,99 м (99 см). Расчетная температура – 20 °С.
Приводят пакет вышележащих слоев к средневзвешенному:

$$E_b = \frac{3800 \cdot 0,05 + 1800 \cdot 0,06 + 1200 \cdot 0,08 + 900 \cdot 0,20 + 300 \cdot 0,20 + 120 \cdot 0,40}{0,99} = 690 \text{ МПа}.$$

Далее

$$\frac{E_b}{E_n} = \frac{690}{54} = 12,8; \quad \frac{h}{D} = \frac{0,99}{0,41} = 2,4; \quad \bar{\tau}_a = 0,006 \text{ МПа}.$$

Тогда

$$T_a = 0,006 \cdot 0,6 - 0,0015 = 0,0021 \text{ МПа}.$$

5.2. Определяют предельную величину активного сдвига по формуле (7.7) [8, 6.5.2]:

$$T_{np} = CK_1K_2,$$

где $C = 0,005$ МПа;

$K_1 = 1,5$ – для супеси пылеватой;

K_2 – определяют по рис. 7.5 в зависимости от среднесуточной интенсивности движения приведенных автомобилей за расчетный срок службы, определяемой по формуле

$$K_2 = 0,62.$$

Тогда

$$T_{np} = 0,005 \cdot 1,5 \cdot 0,62 = 0,005 \text{ МПа}.$$

Для обеспечения сдвигоустойчивости должно выполняться условие

$$T_a K_{np}^{TP} < T_{np},$$

т. е.

$$0,0021 \cdot 1,15 = 0,0024 < 0,005.$$

Условие выполнено.

6. Выполняют расчет на сдвигоустойчивость дополнительного слоя основания из среднезернистого песка.

6.1. Определяют активное напряжение сдвига:

$$\tau_b = -0,0031 \text{ МПа};$$

$$p = 0,6 \text{ МПа};$$

$\bar{\tau}_a$ – определяют по номограмме (см. рис. 7.6, 7.7), так как $h = 0,59$ м (59 см) < 0,82 м (82 см).

Приводят пакет вышележащих слоев к средневзвешенному:

$$E_a = \frac{3800 \cdot 0,05 + 1800 \cdot 0,06 + 1200 \cdot 0,08 + 900 \cdot 0,20 + 300 \cdot 0,20}{0,59} = 1142 \text{ МПа.}$$

Далее

$$\frac{E_a}{E_u} = \frac{1142}{86} = 13,2; \quad \frac{h}{D} = \frac{0,59}{0,41} = 1,43; \quad \tau_a = 0,015 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$T_a = 0,015 \cdot 0,6 - 0,0031 = 0,0059 \text{ МПа.}$$

6.2. Определяют предельную величину активного сдвига при $C = 0,004$ МПа; $K_1 = 6,5$; $K_2 = 0,62$.

Тогда

$$T_{np} = 0,004 \cdot 6,5 \cdot 0,62 = 0,016 \text{ МПа.}$$

Определяют выполнение условия:

$$T_a K_{np}^{TP} = 0,0074 < T_{np} = 0,016.$$

Условие выполнено.

7. Выполняют расчет на сдвигоустойчивость нижнего слоя основания из щебня, расклинованного каменной мелочью.

7.1. Определяют активное напряжение сдвига:

$$\tau_a = -0,0019 \text{ МПа;}$$

$$p = 0,6 \text{ МПа;}$$

$\bar{\tau}_a$ – определяют по номограмме (см. рис. 7.6, 7.7), так как $h = 0,19$ м (19 см) < 0,82 м (82 см).

Приводят пакет вышележащих слоев к средневзвешенному:

$$E_a = \frac{3800 \cdot 0,05 + 1800 \cdot 0,06 + 1200 \cdot 0,08}{0,19} = 2074 \text{ МПа.}$$

Далее

$$\frac{E_a}{E_u} = \frac{2074}{129} = 16,1; \quad \frac{h}{D} = \frac{0,19}{0,41} = 0,46; \quad \bar{\tau}_a = 0,035 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$T_a = 0,035 \cdot 0,6 - 0,0019 = 0,019 \text{ МПа.}$$

Определяют предельную величину активного сдвига при $C = 0,05$ МПа; $K_1 = 7,0$; $K_2 = 0,62$.

Тогда

$$T_{\text{пр}} = 0,05 \cdot 7,0 \cdot 0,62 = 0,22 \text{ МПа.}$$

Определяют выполнение условия:

$$T_a K_{\text{пр}}^{\text{тп}} = 0,024 < T_{\text{пр}} = 0,22.$$

Условие выполнено.

8. Выполняют расчет конструкции монолитных слоев на сопротивление усталостному разрушению на растяжение при изгибе.

8.1. Определяют растягивающее напряжение при изгибе σ_r по формуле

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r \cdot p \cdot K_6,$$

где $p = 0,6 \text{ МПа}$;

$$K_6 = 1,0.$$

Для определения $\bar{\sigma}_r$ используют номограмму (см. рис. 7.9). Для этого приводят пакеты асфальтобетонных слоев к средневзвешенному при условии толщины монолитных слоев 0,19 м (19 см). Расчетная температура – 0 °С.

$$E_v = \frac{5500 \cdot 0,05 + 4500 \cdot 0,06 + 2800 \cdot 0,08}{0,19} = 4050 \text{ МПа};$$

$$\frac{E_v}{E_{\text{осн}}} = \frac{4050}{252} = 16,1; \quad \frac{h}{D} = \frac{0,19}{0,41} = 0,46; \quad \bar{\sigma}_r = 1,35 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$\sigma_r = 1,35 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,81 \text{ МПа.}$$

8.2. Определяют предельно допустимое растягивающее напряжение при изгибе:

$$R_{\text{дон}} = R_{\text{и}} \cdot (1 - 0,1t) \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{кн}} \cdot K_{\text{т}},$$

где $K_{\text{м}} = 0,75$; $K_{\text{т}} = 0,8$; $K_{\text{кн}} = 5,8 \cdot 1730929^{-\frac{1}{4,3}} = 0,205$.

Тогда

$$R_{\text{дон}} = 8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 0,205 = 0,814 \text{ МПа.}$$

Определяют выполнение условия (6.12):

$$0,814/0,81 = 1,01 < K_{\text{пр}}^{\text{тп}} = 1,20.$$

Условие выполнено.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ	4
1.1. Развитие дорожного строительства	4
1.2. Состояние и перспективы дорожного строительства.....	9
2. ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ДОРОГИ	13
2.1. Определение интенсивности движения по проектируемой дороге.....	13
2.2. Установление технической категории автомобильной дороги	18
2.3. Горизонтальные кривые	26
2.4. Расчет ширины проезжей части и дорожного полотна	28
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ	32
3.1. Общие требования к проектированию дороги.....	32
3.2. Проектирование продольного профиля дороги.....	34
3.2.1. План трассы автомобильной дороги.....	34
3.2.2. Продолжение вариантов плана трасс.....	34
3.2.3. Выбор оптимального варианта трассы	35
3.2.4. Проектирование плана трассы закругления малого радиуса	36
3.2.5. Проецирование поперечного профиля закругления	39
3.2.6. Пикетаж и составление ведомости прямых и кривых. План трассы.....	41
3.2.7. Продольный профиль поверхности земли.....	42
3.2.8. Продолженный профиль.....	43
3.2.9. Нанесение исходной информации	45
3.2.10. Нанесение проектной линии.....	49
3.2.11. Назначение контрольных и руководящих отметок.....	49
3.2.12. Пересечение водотоков.....	50
3.2.13. Руководящие рабочие отметки.....	54
3.2.14. Нанесение проектной линии.....	55
3.2.15. Системы водоотвода	59
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ.....	67
4.1. Тип поперечного профиля дороги (насыпь, выемка) и конструирование земляного полотна	67
4.2. Насыпи и выемки	69
4.3. Поперечные профили земляного полотна.....	72
4.4. Типовые поперечные профили насыпей	72
4.5. Типовые поперечные профили выемок	73
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ.....	75
5.1. Определение параметров земляного полотна	75
5.2. Определение объемов насыпей.....	76
5.3. Определение объемов выемок	77
6. КОНСТРУКЦИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА.....	79
6.1. Элементы земляного полотна и общие требования к земляному полотну	79
6.2. Грунты для земляного полотна и требования к ним	81
6.3. Конструкция земляного полотна	86
6.4. Основные типы деформаций земляного полотна	87
7. ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА.....	89
7.1. Общие положения.....	89

7.1.1. Параметры дорожных одежд.....	89
7.1.2. Нежесткие дорожные одежды.....	92
7.1.3. Дополнительные слои дорожных одежд	94
7.1.4. Материалы для дорожных одежд.....	95
7.2. Дорожная одежда для внутрихозяйственной автомобильной дороги.....	98
8. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	125
8.1. Факторы и зоны воздействия автомобильной дороги на окружающую среду..	125
8.2. Сосуществование дороги, флоры и фауны.....	127
8.3. Земельные ресурсы и их охрана.....	128
8.4. Водные ресурсы и их охрана.....	129
8.5. Дорожное движение – источник загрязнения воздуха	130
8.6. Озеленение дорог	131
8.7. Ландшафтное проектирование.....	132
8.8. Строительство и эксплуатация дорог на радиоактивно загрязненных территориях.....	132
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	134
ПРИЛОЖЕНИЯ	135
Приложение А	135
Приложение Б	138
Приложение В	144
Приложение Г	148
Приложение Д	149
Приложение Е	150
Приложение Ж	151

У ч е б н о е и з д а н и е

Дубяго Дмитрий Святославович
Курчевский Василий Федорович

ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ДОРОГИ

Учебно-методическое пособие

Редактор *С. Н. Кириленко*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 24.07.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 7,28.
Тираж 40 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.