ОДН 218.046-01

Отраслевые дорожные нормы

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
МИНИСТЕРСТВА ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКВА 2001

gost.e-ecolog.ru

УДК 625.855:625.72 (083.75)

Проектирование нежестких дорожных одежд. ОДН 218.046-01

Документ содержит указания по конструированию и расчету нежестких дорожных одежд автомобильных дорог общей сети. ОДН применимы для проектирования вновь сооружаемых дорожных одежд, новых участков реконструируемых дорог, разработки альбомов типовых конструкций, а также могут использоваться при оценке прочности и при проектировании усиления дорожных одежд существующих дорог.

Предназначены для работников системы дорожного хозяйства.

Общее редактирование выполнено д-ром техн. наук. В.Д.Казарновским и канд. технич. наук В.М.Юмашевым. Список участников разработки ОДН приведен в Приложении 9.

ОДН 218.046-01

Отраслевые дорожные нормы

Проектирование нежестких дорожных одежд

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
МИНИСТЕРСТВА ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Москва 2001

1. **Разработаны** ФГУП «Союздорнии» с участием С.-Петербургского филиала «Союздорнии», Омского филиала «Союздорнии», МАДИ (ТУ), ГП «Росдорнии».
Внесены Управлением инноваций и технического нормирования в дорожном хозяйстве.
2. **Утверждены и введены в действие** Распоряжением Государственной службы дорожного хозяйства (Росавтодора) Министерства транспорта Российской Федерации от 20.12.00 № ОС-35-Р.
3. **Взамен** «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83».

Информавтодор, 2001 г.
Настоящие нормы не могут быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распространены в качестве официального издания без разрешения Росавтодора.

ОТРАСЛЕВЫЕ ДОРОЖНЫЕ НОРМЫ. ОДН 218.046-01

Проектирование нежестких дорожных одежд

Дата введения 2001.01-01

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Документ содержит нормы и указания по конструированию и расчету нежестких одежд автомобильных дорог общей сети. Им следует пользоваться при:

а) проектировании одежд на вновь сооружаемых дорогах, на новых участках реконструируемых дорог; б) разработке каталогов и альбомов типовых решений по конструкциям дорожных одежд на дорогах общей сети.

1.2. К нежестким дорожным одеждам относят одежды со слоями, устроенными из разного вида асфальтобетонов (дегтебетонов), из материалов и грунтов, укрепленных битумом, цементом, известью, комплексными и другими вяжущими, а также из слабосвязных зернистых материалов (щебня, шлака, гравия и др.).

1.3. Различают следующие элементы дорожной одежды:

Покрытие – верхняя часть дорожной одежды, воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов.

По поверхности покрытия могут быть устроены слои поверхностных обработок различного назначения (слои для повышения шероховатости, защитные слои и т.п.).

Основание – часть конструкции дорожной одежды, расположенная под покрытием и обеспечивающая совместно с покрытием перераспределение напряжений в конструкции и снижение их величины в грунте рабочего слоя земляного полотна (подстилающем грунте), а также морозоустойчивость и осушение конструкции.

Следует различать несущую часть основания (несущее основание) и дополнительные слои основания. Несущая часть основания должна обеспечивать прочность дорожной одежды и быть морозоустойчивой.

Дополнительные слои основания – слои между несущим основанием и подстилающим грунтом, предусматриваемые при наличии неблагоприятных погодно-климатических и грунтово-гидрологических условий. Эти слои совместно с покрытием и основанием должны обеспечивать необходимые морозоустойчивость и дренирование конструкции и создавать условия для снижения толщины вышележащих слоев из дорогостоящих материалов. В соответствии с основной функцией, которую выполняет дополнительный слой, его называют морозозащитным, теплоизолирующим, дренирующим. К дополнительным слоям и прослойкам относят также гидро- и пароизолирующие, капилляропрерывающие, противозаиливающие и др. Дополнительные слои устраивают из песка и других местных материалов в

естественном состоянии или укрепленных органическими, минеральными или комплексными вяжущими, из местных грунтов, обработанных вяжущими, из укрепленных смесей с добавками пористых заполнителей и т.д., а также из различного рода специальных индустриально выпускаемых материалов (геотекстиль, пенопласт, полимерная пленка и т.п.).

При применении дополнительных слоев в проекте необходимо учитывать технологические проблемы, связанные с движением по ним построечного транспорта.

Классификация дорожных одежд и покрытий приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Типы дорожных одежд	Виды покрытий, материал и способы его укладки
Капитальные	Усовершенствованные покрытия: из горячих асфальтобетонных смесей
Облегченные	а) из горячих асфальтобетонных смесей б) из холодных асфальтобетонных смесей в) из органоминеральных смесей с жидкими органическими вяжущими, с жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными; с вязкими, в том числе эмульгированными органическими вяжущими; с эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными; из каменных материалов и грунтов, обработанных битумом по способу смешения на дороге или методами пропитки; из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими методом пропитки; черного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки; из пористой и высокопористой асфальтобетонной смеси с поверхностной обработкой; из прочного щебня с двойной поверхностной обработкой
Переходные	Покрытия переходные из щебня прочных пород, устроенные по способу заклинки без применения вяжущих материалов; из грунтов и малопрочных каменных материалов, укрепленных вяжущими; булыжного и колотого камня (мостовые)
Низшие	из щебеночно-гравийно-песчаных смесей; малопрочных каменных материалов и шлаков; грунтов, укрепленных или улучшенных различными местными материалами; древесных материалов и др.

Рабочий слой земляного полотна (подстилающий грунт) – верхняя часть полотна в пределах от низа дорожной одежды до 2/3 глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия.

1.4. Капитальную и облегченную дорожную одежду с усовершенствованным покрытием проектируют с таким расчетом, чтобы за межремонтный срок не возникло разрушений и недопустимых с точки зрения предусмотренных действующими нормативными документами требований к ровности покрытия остаточных деформаций, а также, чтобы воздействие природных факторов не приводило к недопустимым изменениям в ее элементах.

Облегченную дорожную одежду с усовершенствованным покрытием, рассчитывают на менее продолжительный межремонтный срок службы, чем для капитальных одежд. Это позволяет применять менее долговечные и дорогостоящие материалы и облегчить конструкцию.

При проектировании дорожных одежд переходного типа, выравнивание которых не сопряжено со значительными затратами (щебеночные, гравийные и подобные им покрытия), допускают возможность более значительного накопления остаточных деформаций под действием движения.

Во всех случаях для оценки напряженного состояния конструкции используют решения теории упругости.

1.5. В районах с влажным и холодным климатом на участках с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями должны быть предусмотрены меры по осушению и обеспечению морозоустойчивости дорожной одежды и земляного полотна.

1.6. Запроектированная дорожная одежда должна быть не только прочной и надежной в эксплуатации, но экономичной и возможно менее материалоемкой, особенно по расходу дефицитных материалов и энергии, а также должна соответствовать экологическим требованиям. Экономичность конструкции определяют по результатам сопоставления вариантов с оценкой сравнительной экономической эффективности капитальных вложений по действующим нормативным документам. Выбор конструкции дорожной одежды и тип покрытия обосновывают технико-экономическим анализом вариантов.

1.7. При проектировании дорожных одежд для конкретных объектов и разработке типовых (унифицированных) решений по конструкциям дорожной одежды наряду с положениями настоящих ОДН следует учитывать данные регионального научно-практического опыта (в том числе в части применения местных материалов, уточнения расчетных значений характеристик и т.д.), отраженного в действующих региональных технических условиях, нормах, правилах производства работ и других технических документах, утвержденных в установленном порядке.

При разработке региональных типовых конструкций дорожной одежды следует также учитывать специализацию дорожно-строительных организаций, обеспеченность региона дорожно-строительными материалами, предусматривать максимальную механизацию и индустриализацию

строительных процессов, стремиться к снижению трудоемкости и затрат ручного труда.

1.8. Расчетный (проектный) срок службы проектируемой дорожной одежды и требуемый уровень проектной надежности необходимо назначать на основе норм, принимаемых административными органами по согласованию с региональными дорожными организациями.

1.9. Настоящие ОДН не распространяются на проектирование дорожных одежд в зоне вечной мерзлоты, где дополнительно должны быть учтены характер вечномерзлых грунтов, их температурный и водный режим, а также влияние толщины деятельного слоя и вечномерзлого грунта (жесткого основания) на прочность дорожной одежды.

Учет указанных факторов осуществляется на основе специальных региональных нормативно-технических документов.

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Задачи и принципы конструирования

2.1. Проектирование дорожной одежды представляет собой единый процесс конструирования и расчета дорожной конструкции (системы дорожная одежда + рабочий слой земляного полотна) на прочность, морозоустойчивость и осушение с технико-экономическим обоснованием вариантов с целью выбора наиболее экономичного в данных условиях.

2.2. Процедура конструирования дорожной одежды включает:

- выбор вида покрытия;
- назначение числа конструктивных слоев с выбором материалов для устройства слоев, размещение слоев в конструкции и назначение их ориентировочных толщин;
- предварительную оценку необходимости назначения дополнительных морозозащитных мер с учетом дорожно-климатической зоны, типа грунта рабочего слоя земляного полотна и схемы увлажнения рабочего слоя на различных участках;
- предварительную оценку необходимости назначения мер по осушению конструкции, а также по повышению трещиностойкости конструкции;
- оценку целесообразности укрепления или улучшения верхней части рабочего слоя земляного полотна;
- предварительный отбор конкурентоспособных вариантов с учетом местных природных и проектных условий работы.

2.3. При конструировании дорожной одежды необходимо руководствоваться следующими принципами:

а) тип дорожной одежды и вид покрытия, конструкция одежды в целом должны удовлетворять транспортно-эксплуатационным требованиям, предъявляемым к дороге соответствующей категории и ожидаемым в перспективе составу и интенсивности движения с учетом изменения

интенсивности движения в течение заданных межремонтных сроков и предполагаемых условий ремонта и содержания;

б) конструкция одежды может быть принята типовой или разработана индивидуально для каждого участка или ряда участков дороги, характеризующихся сходными природными условиями (грунт рабочего слоя земляного полотна, условия его увлажнения, климат, обеспеченность местными дорожно-строительными материалами и др.) с одинаковыми расчетными нагрузками. При выборе конструкции одежды для данных условий предпочтение следует отдавать проверенной на практике в данных условиях типовой конструкции;

в) в районах, недостаточно обеспеченных стандартными каменными материалами, допускается применять местные каменные материалы, побочные продукты промышленности и грунты, свойства которых могут быть улучшены обработкой их вяжущими (цемент, битум, известь, активные золы уноса и др.). Одновременно надо стремиться к созданию конструкции, по возможности наименее материалоемкой;

г) конструкция должна быть технологичной и обеспечивать возможность максимальной механизации и индустриализации дорожно-строительных процессов. Для достижения этой цели число слоев и видов материалов в конструкции должны быть минимальным;

д) при конструировании необходимо учитывать реальные условия проведения строительных работ (летняя или зимняя технология и др.).

2.4. При назначении типов покрытия для разных вариантов конструкций дорожных одежд следует руководствоваться положениями действующих стандартов и норм на дорожно-строительные материалы и изделия и нормами проектирования автомобильных дорог.

2.5. При выборе материалов для устройства слоев дорожной одежды необходимо учитывать следующие положения.

Покрытие и верхние слои основания должны соответствовать проектным воздействующим нагрузкам и быть водо-, морозо- и термоустойчивыми.

Для верхнего слоя асфальтобетонного покрытия выбирают материал в соответствии с действующим ГОСТом «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» и СНиП «Автомобильные дороги».

В районах с климатом, близким к морскому, при количестве осадков 500 мм/год следует применять высокоплотный асфальтобетон либо плотный асфальтобетон, имеющий показатель пористости (водонасыщения), соответствующий нижнему допустимому пределу. В районах с сухим климатом (среднегодовое количество осадков менее 400 мм/год) назначают плотный асфальтобетон с показателем пористости (водонасыщения) по верхнему допускаемому пределу.

При перспективной интенсивности движения в физических единицах до 3000 авт/сут и при стадийном строительстве допускается устройство покрытия

из пористого асфальтобетона с устройством поверхностной обработки или из высокопористого асфальтобетона с устройством двойной поверхностной обработки.

Конструкция дорожной одежды в местах остановок общественного транспорта, на регулируемых пересечениях и в других местах изменения скорости или движения на пониженных скоростях должна обеспечить повышенную сдвигоустойчивость при высоких летних температурах. Для обеспечения этого требования в покрытии предусматривают применение асфальтобетонных смесей типа А и Б, высокоплотных смесей, а в основании – крупнозернистых асфальтобетонных смесей либо каменных материалов, укрепленных цементом.

Основные задачи при конструировании пакета асфальтобетонных слоев – это оптимизировать толщину верхнего слоя из плотного или высокоплотного асфальтобетона и сократить число слоев.

Асфальтобетонное покрытие должно быть, как правило, однослойным. Минимальную конструктивную толщину покрытия назначают по нормам действующего СНиП, а толщину слоя асфальтобетонного основания определяют расчетами на прочность.

При проектировании дорожных одежд переходного типа предусматривают один из вариантов без устройства асфальтобетонного основания; в этом случае требуемую толщину покрытия назначают по расчету на прочность.

При стадийном строительстве или возможном перспективном повышении капитальности дорожной одежды при специальном технико-экономическом обосновании допускается применение холодного асфальтобетона.

При выборе материала для верхнего слоя основания надо учитывать капитальность (тип) дорожной одежды, вид покрытия, а также деформационные и теплофизические свойства материалов и грунтов, укрепленных органическими и неорганическими вяжущими.

Асфальтобетонную часть несущего основания следует предусматривать, как правило, однослойной. Двухслойное асфальтобетонное основание допустимо применять лишь при необходимости использования в нижнем слое основания асфальтобетона с пониженной сдвигоустойчивостью (высокопористый, песчаный). В этом случае общая толщина асфальтобетонных слоев повышенной сдвигоустойчивости (покрытие с основанием из крупнозернистого асфальтобетона) не должна быть менее 12 см.

При выборе вида материала для устройства основания из минеральных материалов следует ориентироваться на имеющийся в регионе опыт строительства и эксплуатации дорог. Материалы должны удовлетворять требованиям действующих СНиП или местным технологическим условиям, утвержденным в установленном порядке.

В районах, недостаточно обеспеченных стандартными каменными материалами, целесообразно широко применять местные каменные материалы (в том числе малопрочные и некондиционные) и грунты, укрепленные неорганическим вяжущим (цемент, известь, активные золы уноса и др.).

Основание из зернистых материалов должно быть, как правило, двухслойным: несущий слой из жестких и сдвигоустойчивых материалов (щебень, гравий, щебеночно- или гравийно-песчаные смеси, материалы и грунты, укрепленные неорганическим вяжущим) и дополнительный слой, выполняющий морозозащитные и дренирующие функции.

2.6. Если в дополнительном слое основания применяют однородный песок со степенью неоднородности (по ГОСТ 25100) менее 3, поверх него предусматривают укладку защитного (технологического) слоя из щебеночно-(гравийно-)песчаных смесей, отсевов дробления изверженных пород, гравелистых или крупных песков оптимального состава, а также из цементопеска. При степени неоднородности песка от 2 до 3 толщина защитного слоя принимается равной 10 см, при степени неоднородности менее 2 устанавливают защитный слой толщиной 15-20 см. В расчетах прочности дорожной одежды толщину защитного слоя включают в толщину дополнительного слоя основания. При устройстве защитного слоя можно применять геотекстиль.

2.7. В случае использования в основании местных малопрочных каменных материалов (щебень с маркой по прочности не ниже 200; гравий и щебень из гравия по дробимости не ниже Др 24; песчано-гравийные смеси; гравелистые пески и другие сдвигоустойчивые материалы с модулем упругости менее 250 МПа) предусматривают несущий слой основания из прочного щебня либо из укрепленных неорганическими вяжущими материалов с минимальной конструктивной толщиной, предусматриваемой СНиП. При этом толщину нижнего слоя основания из малопрочного материала обосновывают расчетом.

2.8. Расположение неукрепленных зернистых материалов между слоями из материалов или грунтов, обработанных вяжущими, как правило, не допускается.

Дополнительные слои основания должны совместно с верхними слоями и покрытием обеспечивать необходимую прочность конструкции, морозоустойчивость, а также дренирующую способность. Нижние слои основания, особенно из зернистых материалов, должны сопротивляться сдвиговым напряжениям.

На магистральных дорогах с тяжелым и скоростным движением основания следует устраивать преимущественно из укрепленных материалов.

2.9. Толщину слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на верхний слой основания из материалов, укрепленных цементом, для ограничения появления «отраженных» трещин на покрытии нужно принимать, как правило, не менее толщины слоев, укрепленных цементом. При этом минимальная толщина слоев с органическими вяжущими должна соответствовать данным табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Тип дорожной одежды	Капитальные	Облегченные
Наименьшая толщина слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее, см …	18	12

В случае применения материалов, укрепленных комплексными вяжущими, а также медленно твердеющими гидравлическими вяжущими, толщина слоя может быть снижена на 20%, а в условиях жарких и сухих районов IV–V дорожно-климатических зон – на 30%.

Для повышения трещиностойкости покрытия могут быть предусмотрены специальные трещинопрерывающие прослойки, в том числе на основе геосеток и геотекстиля, использование модифицированных вяжущих в материале покрытия и другие специальные решения.

2.10. Толщину отдельного слоя предварительно назначают в диапазоне от минимальной конструктивной толщины, регламентируемой действующими СНиП, до практически принятых значений (например, в типовых проектах) для данного региона.

Общую толщину дорожной одежды и толщины отдельных конструктивных слоев окончательно назначают по расчету на прочность, морозоустойчивость и осушение в соответствии с разделами 3,4 и 5 настоящей инструкции.

Необходимо предусматривать в конструкции одежды возможно меньшее число слоев из разных материалов (2–4 без учета дополнительных слоев).

2.11. Для существенного уменьшения притока поверхностных вод в основание дорожной одежды и снижения расчетной влажности грунта земляного полотна необходимо предусматривать такие мероприятия, как укрепление обочин, обеспечение надлежащего их поперечного уклона и водонепроницаемости, устройство бордюров и лотков, а также обеспечение безопасного расстояния от бровки земляного полотна до уреза длительно застаивающейся поверхностной воды, повышенное уплотнение (до K_y=1,03 ÷ 1,05) верхней части рабочего слоя в III-V дорожно-климатических зонах и др. (см. Приложение 2).

2.12. В районах и на участках с неблагоприятными погодно-климатическими и грунтово-гидрологическими условиями для ограничения миграции влаги из нижних слоев земляного полотна в верхние следует предусматривать мероприятия по искусственному регулированию водно-теплового режима, проектируемые в соответствии с действующими СНиП и специальными документами в их развитие.

2.13. Для обеспечения возможности назначения однотипной конструкции дорожной одежды на участках большой длины следует предусматривать укрепление верхней части земляного полотна на различную глубину.

2.14. В целях обеспечения благоприятных условий работы прикромочных частей дорожной одежды основание должно быть на 0,6 м шире проезжей части и укрепительной полосы, а дополнительный нижний слой из песка или другого зернистого материала на 1 м шире основания, или его устраивают на всю ширину земляного полотна. Кроме того, при дорожных одеждах капитального типа может быть предусмотрена установка бортовых камней, плит или устройство монолитного бортика.

Укрепление обочин дорог проектируют в соответствии с указаниями СНиП «Автомобильные дороги. Нормы проектирования» и рекомендациями специальных документов.

Конструирование покрытий и оснований капитальных дорожных одежд

2.15. Вид, марку и тип асфальтобетона для покрытия назначают в соответствии с положениями действующих СНиП «Автомобильные дороги» и ГОСТа «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон».

2.16. Несущий слой основания капитальных дорожных одежд следует устраивать из прочных материалов (из пористого асфальтобетона, дегтебетона, шебеночных смесей, обработанных битумной эмульсией, фракционированного шебня, обработанного вязким битумом по способу пропитки, а также из фракционированного щебня, уложенного по принципу расклинки мелким щебнем или гранулированным активным шлаком, укрепленного по методу пропитки цементнопесчаной смесью, и т.п.). На дорогах, предназначенных для движения автомобилей грузоподъемностью 8 и более тонн, при устройстве покрытий толщиной 3–5 см верхняя часть несущего основания должна быть предусмотрена из асфальтобетона.

Для устройства нижней части несущего основания в зависимости от расчетных условий движения могут применяться монолитные (укрепленные грунты и каменные материалы), а также зернистые материалы, отвечающие требованиям действующих СНиП и ГОСТов.

В конструкциях дорожных одежд для дорог с тяжелым и интенсивным движением на контакте слоев из крупнозернистых или гравийных материалов с песчаными слоями основания или с грунтом земляного полотна следует предусматривать устройство разделяющих прослоек из геотекстиля в целях предотвращения взаимопроникновения материалов смежных слоев и снижения в связи с этим долговечности конструкции.

Конструирование покрытий и оснований облегченных и переходных дорожных одежд

2.17. Дорожные одежды облегченного типа с усовершенствованными покрытиями (асфальтобетонные, дегтебетонные, из черного щебня, из щебня, обработанного вяжущими по способу пропитки, из крупнообломочных материалов, из песчаных или супесчаных грунтов, обработанных в установке битумной эмульсией совместно с цементом) целесообразно применять на дорогах III, IV категорий, а также при стадийном строительстве дорожных одежд на дорогах II категории.

2.18. Предварительно толщину покрытия из асфальтобетона облегченных дорожных одежд следует назначать равной 4-6 см, а при использовании других материалов, указанных в п. 2.17 – равной 6-8 см. Окончательно толщину покрытия устанавливают расчетом.

2.19. Несущие основания для облегченных дорожных одежд с усовершенствованным покрытием предусматривают из монолитных или зернистых материалов. При этом на дорогах III и IV категорий целесообразно устраивать основание дорожной одежды из гравийного пористого асфальтобетона; гравийно-песчаных смесей, обработанных эмульсией, дегтями и другими органическими вяжущими; различных материалов и грунтов и побочных продуктов промышленности, обработанных неорганическими или комплексными вяжущими, щебеночных и щебеночно-гравийных смесей.

2.20. Дорожные одежды с покрытиями переходного типа (щебеночные и гравийные из прочных пород, из малопрочных каменных материалов и грунтов, укрепленных органическими, неорганическими или комплексными вяжущими, мостовые из булыжного и колотого камня) можно предусматривать на дорогах IV и V категорий, а также при стадийном строительстве дорожной одежды на дорогах III категории.

При проектировании дорожных одежд с покрытием переходного типа надо стремиться, чтобы одежда состояла из одного-двух слоев.

Для покрытий, устраиваемых по способу заклинки, применяют фракционированный щебень естественных горных пород, щебень из горнорудных отходов и щебень из малоактивных металлургических шлаков, отвечающие действующим ГОСТам на «Щебень из естественного камня для строительных работ» и «Щебень шлаковый доменный и сталеплавильный для дорожного строительства».

2.21. При конструировании одежд переходного типа как первоочередной конструкции стадийного строительства для устройства слоев одежды на первой стадии необходимо применять материалы, которые отвечают требованиям, предъявляемым к материалам для устройства слоев основания под усовершенствованные покрытия. Допускается для сокращения первоначальных затрат при соответствующем технико-экономическом обосновании применять

упрощенные конструкции, движение по которым в неблагоприятный период года должно быть ограничено по нагрузке на ось транспортных средств, по скорости и по интенсивности.

Конструирование дополнительных слоев основания

2.22. Морозозащитные слои устраивают из стабильных зернистых материалов, таких как песок, песчано-гравийная смесь, гравий, щебень, шлаки и др., а также из грунтов, укрепленных вяжущими, или гидрофобизированных грунтов, или из других непучинистых материалов. Показателем пригодности материала по морозоустойчивости является степень пучинистости материала, определяемая в лабораторных условиях согласно действующему ГОСТу. Допускается принимать значения степени пучинистости по табл. 4.1. и 4.2.

2.23. В случае устройства морозозащитного слоя из зернистых материалов с коэффициентом фильтрации не менее 1-2 м/сут он может также выполнять функцию дренирующего слоя, что требуется подтвердить соответствующим расчетом. В этом случае морозозащитный слой нужно устраивать на всю ширину земляного полотна с выходом на откосы насыпи или с укладкой трубчатых дрен или других водоотводящих устройств.

Толщина морозозащитного слоя устанавливается расчетом в соответствии с положениями разделом 4 настоящих ОДН. Ширина морозозащитного слоя должна превышать ширину вышележащего слоя не менее, чем на 0,5 м с каждой стороны.

2.24. В местах примыкания разных конструкций дорожной одежды необходимо предусматривать переходную зону, в пределах которой конструкция дорожной одежды должна изменяться таким образом, чтобы на концах этой зоны пучение грунтов было бы равно значениям зимнего поднятия на сопрягаемых участках. Длину переходной зоны устанавливают расчетом в соответствии с разделом 4.

2.25. На пучиноопасных участках, где технически невозможны или экономически нецелесообразны традиционные мероприятия по обеспечению морозоустойчивости конструкции, следует предусматривать теплоизоляционные слои из специальных материалов для частичного или полного предотвращения промерзания земляного полотна. Для устройства теплоизоляционных слоев в особо неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях («мокрые» выемки, земляное полотно в нулевых отметках, низкие насыпи, где глубина промерзания больше расстояния от поверхности покрытия до уровня грунтовых вод или длительно застаивающихся поверхностных вод) следует рассматривать вариант применения пенопластов. Выбор необходимой марки пенопласта следует производить в соответствии с разделом 4.

В качестве теплоизолятора могут быть использованы также легкие бетоны, теплоизоляционные композиции из укрепленных вяжущими местных материалов (грунтов) или отходов промышленности и пористых заполнителей

(керамзит, перлит, аглопорит, гранулы полистирола, измельченные отходы пенопласта) и др.

Расстояние от поверхности покрытия до теплоизолирующего слоя из пенопласта должно быть не менее 0,5 м (для исключения повышенной опасности гололедообразования). Теплоизолирующий слой должен быть шире проезжей части на 0,5-1,5 м с каждой стороны в зависимости от глубины промерзания земляного полотна, а при расчете на недопущение промерзания грунтов под дорожной одеждой – на 1,0-2,0 м. Первый над плитами пенопласта слой песка должен быть не менее 0,2 м в уплотненном состоянии.

Толщину и расположение теплоизоляционного слоя в конструкции определяют теплотехническим расчетом. Деформационные и прочностные характеристики материала слоя, а также его толщину следует учитывать при расчете дорожной конструкции на прочность.

Указанную выше минимальную глубину расположения теплоизолятора от поверхности покрытия уточняют по данным регионального опыта эксплуатации конструкций с теплоизолирующими слоями.

Оптимальную конструкцию и тип теплоизоляционных материалов нужно выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов, равноценных по морозоустойчивости.

2.26. Дренирующие слои устраивают на участках с земляным полотном из недренирующих грунтов во всех случаях при 3-ей схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна; при 1-ой и 2-ой схемах увлажнения в районах с большим количеством осадков (II–III ДКЗ), а также на участках, в основании проезжей части которых возможно скопление воды, проникающей с поверхности (участки с затяжными продольными уклонами, при сравнительно легко водопроницаемых грунтах обочин, на вогнутых переломах продольного профиля, у прилегающих к проезжей части зеленых насаждений и газонов и др.).

Дренирующие слои следует устраивать из песка, гравийных материалов, отсортированного шлака и других фильтрующих материалов. В конструкциях, где дренирующий слой оказывается выше глубины промерзания, материалы слоя должны быть морозостойкими и достаточно прочными. Требуемый коэффициент фильтрации материала дренирующего слоя определяют расчетом, с учетом геометрических параметров проезжей части и других условий. Независимо от результатов расчета он должен быть не менее 1 м/сут и 2 м/сут соответственно на участках дорог, проходящих в насыпи и в низкой насыпи или выемке.

При выборе материала для дренирующего слоя учитывают прочностные свойства, влияющие на прочность дорожной одежды.

В большинстве случаев, особенно на пучиноопасных участках, рационально устройство верхней части земляного полотна из дренирующего материала без специальных водоотводящих устройств. При количестве подлежащей отводу воды более 0,007 м/сут на 1 $м^2$ проезжей части, а также в выемках и в местах с нулевыми отметками рассматривают вариант устройства

продольных трубчатых дрен (из различных материалов, а также плоских геосинтетических дрен и др.) у краев проезжей части с поперечными выпусками, а также применение продольного дренажа из крупнопористого материала.

Дренажную конструкцию следует выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов.

2.27. На участках с затяжными уклонами, где продольный уклон больше поперечного, для перехвата и отвода воды, перемещающейся в дренирующем слое вдоль дороги, предусматривают устройство мелких прорезей в грунтовом основании с укладкой в них перфорированных труб, трубофильтров или щебеня с противозаиливающей изоляцией.

2.28. Для уменьшения влагонакопления в верхней части земляного полотна могут быть предусмотрены водонепроницаемые прослойки (из различных материалов), на всю ширину земляного полотна. При ширине земляного полотна более 15м и водонепроницаемом покрытии допускается устройство замкнутых прослоек («обойм») на ширину проезжей части. Глубина заложения прослойки от поверхности покрытия зависит от дорожно-климатической зоны и должна быть более 90 см во II дорожно-климатической зоне, 80 см - в III, 70 см - в IV и 65 см - в V зоне.

2.29. Капилляропрерывающие прослойки толщиной 10-15 см из крупного песка или гравия предусматривают на всю ширину земляного полотна. Для предохранения прослойки из зернистых материалов от быстрого загрязнения, под и над ней необходимо предусматривать прослойки, играющие роль фильтров.

2.30. В южных районах существенное уменьшение объема мигрирующей, преимущественно парообразной влаги, может быть достигнуто устройством слоев пароизоляции из полимерных рулонных материалов, грунта, обработанного органическим вяжущим веществом, или из слоя тщательно уплотненного грунта в «обойме».

2.31. Если крупнообломочный материал (типа щебеня, гравия, шлака) укладывается непосредственно на грунт земляного полотна, предусматривают прослойку, препятствующую взаимопроникаию материалов смежных слоев. В качестве материалов прослойки можно применять мелкий щебень, высевки (0-10 мм), гравийно-песчаные смеси, крупные и средней крупности пески, непылеватые шлаки, непучинистые золошлаки, синтетические текстильные материалы и др. Защитной прослойкой может служить слой из грунта, укрепленного вяжущими, толщиной 5-8 см. Толщину прослойки из зернистого материала нужно принимать от 5 до 20 см в зависимости от степени увлажнения грунта земляного полотна. Прослойку из геотекстильных материалов следует предусматривать также при укладке крупнопористых материалов на песчаный слой на дорогах I-III категорий.

Особенности конструирования дорожных одежд со слоями из малопрочных материалов и побочных продуктов промышленности

2.32. Возможность применения в дорожных одеждах слабых известняков, опоки, гравийных материалов, дресвы, ракушечника искусственных каменных материалов и др. без обработки вяжущими определяется соответствием их свойств требованиям действующего ГОСТа. Если свойства не отвечают требованиям стандарта, материалы необходимо обработать. На участках с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями не допускается применять в основании (даже для нижних слоев) необработанные материалы, не отвечающие по зерновому составу требованиям действующего ГОСТа, а также материалы, у которых число пластичности частиц менее 0,16 мм превышает 7.

2.33. Дорожные одежды с покрытием из обработанных вяжущим или необработанных малопрочных материалов на песчаном, гравийном и щебеночном основании, или на основании из укрепленного грунта допускается применять в IV и V климатических зонах при интенсивности движения не более 100 авт/сут с нагрузкой на ось не более 70 кН. При большей интенсивности движения всегда следует предусматривать обработку малопрочных материалов органическими и неорганическими вяжущими.

Для устройства оснований под усовершенствованные покрытия или покрытий на дорогах IV-V категорий можно использовать тощий цементобетон на основе слабого известнякового щебня, ракушечника, речных песчаников и др., а также гравийные материалы, укрепленные неорганическим вяжущим.

2.34. Шлаковый щебень из высокоактивных и активных шлаков можно использовать для устройства покрытий на дорогах IV-V категорий и для оснований (из улучшенных и неулучшенных шлаков) дорог II-IV категорий. Щебень неустойчивой структуры из активных шлаков можно использовать только для устройства оснований, а щебень из малоактивных шлаков неустойчивой структуры – после приобретения ими устойчивой структуры.

Для повышения монолитности и прочности слоев из кислых малоактивных шлаков с модулем основности менее 1 следует предусматривать добавку к шлаковому щебню мелких частиц из активных шлаков и 2-3% гашеной извести или молотого гранулированного шлака в количестве 20-25% от массы щебня. Для устройства слоев дорожных одежд, которые должны обладать улучшенными прочностными и деформационными качествами, следует применять шлаковый щебень, обработанный органическими и минеральными вяжущими.

Кислые металлургические шлаки целесообразно обрабатывать каменноугольными дегтями (с учетом требований ГОСТа на дегти), которые обладают более высокими адгезионными свойствами, чем нефтяные битумы. Их можно обрабатывать также битумной эмульсией с известью, активной золой уноса и т.д.

Мероприятия по повышению прочности и стабильности рабочего слоя земляного полотна

2.35. Для повышения прочности и стабильности рабочего слоя земляного полотна необходимо предусматривать различные мероприятия: устройство его из непучинистых, малопучинистых и слабонабухающих грунтов; защиту грунта от увлажнения поверхностными и подземными водами и т. п.

В III-V дорожно-климатических зонах на участках с 1-ой схемой увлажнения допускается предусматривать уплотнение верхней части рабочего слоя (толщиной 30-50 см) до коэффициента уплотнения 1,0-1,05. Слой грунта повышенной плотности следует рассматривать как самостоятельный конструктивный слой. Расчетные деформационные и прочностные характеристики грунта в этом слое принимают в соответствии со справочным приложением 2.

При устройстве слоя повышенной плотности из связного (набухающего) грунта, предусматривают меры по защите его от увлажнения.

2.36. При расчетной относительной влажности грунта более 0,7 в числе возможных мероприятий по повышению стабильности рабочего слоя следует рассматривать укрепление его верхней части небольшим количеством вяжущих (например, 3-4% цемента, 10-15% зол уноса или гранулированными шлаками, известью и т. п.).

Учет региональных особенностей

2.37. При проектировании дорожных одежд в различных конкретных регионах наряду с учетом общих нормативных положений и настоящих норм следует руководствоваться указаниями специальных региональных нормативно-технических документов, утвержденных в установленном порядке. При отсутствии таких документов следует руководствоваться настоящими нормами.

2.38. Расчетные температуры, деформационные и прочностные характеристики грунтов и дорожно-строительных материалов при отсутствии региональных норм, следует назначать в соответствии с рекомендациями справочных Приложений 2 и 3.

2.39. В районах распространения вечномерзлых грунтов дорожную одежду конструируют с учетом принципов регулирования мерзлотного состояния на основе теплотехнических расчетов, выполняемых по специальным нормативно-техническим документам.

При проектировании дорог в районах орошаемых земель необходимо учитывать неблагоприятное влияние на работу дорожной конструкции повышенного уровня подземных вод во время поливов сельскохозяйственных угодий, местного повышения подземных вод вблизи сооружений оросительной сети, затопления резервов и водоотводных кюветов в результате полива земель.

При конструировании дорожных одежд на дорогах в песчаных пустынях следует предусматривать укрепление поверхности песка под дорожной одеждой. Оно может быть в виде слоя из связного грунта толщиной 15 см или из оптимальной смеси песка и суглинка, или же из песка, обработанного битумной эмульсией, с использованием геотекстиля и т.п.

Защитные слои из укрепленных или неукрепленных материалов на земляном полотне из барханных песков следует рассматривать как конструктивные элементы дорожной одежды.

Принципы назначения конструкций дорожных одежд при проектировании, реконструкции существующих дорог

2.40. На участках реконструируемых дорог, где устраивают новую дорожную одежду, проектирование дорожной одежды выполняют в соответствии с настоящими ОДН. На реконструируемых участках, где сохраняют или используют старую дорожную одежду, проектирование ведут в соответствии с положениями специальных нормативных документов на основе детальных данных по конструкции существующей дорожной одежды, состоянию ее конструктивных слоев и оценке способности этих слоев выполнять свои функции. Для получения исходных данных существующая дорожная одежда и рабочий слой земляного полотна должны быть детально обследованы с выполнением буровых и других работ и испытаний, позволяющих получить необходимую информацию. Количественные оценки прочности и морозоустойчивости конструкции осуществляют по методам, изложенным в настоящих ОДН.

При разработке проектного решения должны быть рассмотрены вопросы:

- целесообразности использования существующей дорожной одежды или отдельных ее конструктивных слоев без предварительного разрушения;
- целесообразности использования материалов конструктивных слоев после их переработки;
- необходимости усиления существующей конструкции;
- необходимости повышения морозоустойчивости существующей конструкции;
- необходимости улучшения дренирования существующей конструкции;
- необходимости изменения конструкции укрепления обочин;
- необходимости уширения дорожной одежды и способ уширения.

3. РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ПРОЧНОСТЬ

Основные положения

3.1. Под прочностью дорожной одежды понимают способность сопротивляться процессу развития остаточных деформаций и разрушений под воздействием касательных и нормальных напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте от расчетной нагрузки (кратковременной, многократной или длительно действующей однократной), приложенной к поверхности покрытия.

3.2. Методика оценки прочности конструкции включает как оценку прочности конструкции в целом (с использованием эмпирической зависимости допускаемого упругого прогиба от числа приложений нагрузки), так и оценку прочности с учетом напряжений, возникающих в отдельных конструктивных слоях и устанавливаемых с использованием решений теории упругости.

3.3. Дорожную одежду следует проектировать с требуемым уровнем надежности, под которой понимают вероятность безотказной работы в течение межремонтного периода. Отказ конструкции по прочности физически может

характеризоваться образованием продольной и поперечной неровности поверхности дорожной одежды, связанной с прочностью конструкции (поперечные неровности, колея, усталостные трещины), с последующим развитием других видов деформаций и разрушений (частые трещины, сетка трещин, выбоины, просадки, проломы и т.д.). Номенклатура дефектов и методика количественной оценки их определяется специальными нормами, используемыми при эксплуатации дорог.

В качестве количественного показателя отказа дорожной одежды как элемента инженерного сооружения линейного характера используют предельный коэффициент разрушения $К_р^{пр}$, представляющий собой отношение суммарной протяженности (или суммарной площади) участков дороги, требующих ремонта из-за недостаточной прочности дорожной одежды, к общей протяженности (или общей площади) дороги между корреспондирующими пунктами. Значения $К_р^{пр}$ на последний год службы в зависимости от капитальности дорожной одежды и категории дороги следует принимать в соответствии с табл. 3.1.

3.4. Прочность конструкции количественно оценивается величиной коэффициента прочности. При оценке прочности конструкции в целом по допускаемому упругому прогибу коэффициент прочности в общем виде определяют по формуле:

$$К_{пр}=l_{доп}/l = Е_{об}^{тр}/ Е_{об} \qquad (3.1\text{-а})$$

При оценке прочности конструкции по слоям по допускаемым напряжениям коэффициент прочности определяют по формуле:

$$К_{пр} = \sigma_{доп}/\sigma_{расч}, \qquad (3.1\text{-б})$$

где $l_{доп}$ – допустимый общий прогиб конструкции под расчетной нагрузкой;

l – расчетный общий прогиб конструкции под расчетной нагрузкой;

$\sigma_{расч}$ – расчетные действующие напряжения (нормальные или касательные) от расчетной нагрузки;

$\sigma_{доп}$ – допустимые напряжения (нормальные или касательные) от расчетной нагрузки;

$Е_{об}^{тр}$ – требуемый общий модуль упругости конструкции, определяемый при расчетной нагрузке;

$Е_{об}$ – расчетный общий модуль упругости конструкции, определяемый при расчетной нагрузке.

3.5. Коэффициент прочности вновь проектируемой конструкции должен быть таким, чтобы в заданный межремонтный период не наступил отказ по прочности с вероятностью более заданной, т.е. чтобы была обеспечена заданная (требуемая) надежность.

Таблица 3.1

Требуемые минимальные коэффициенты прочности при заданных уровнях надежности для расчета дорожных одежд по различным критериям прочности

Тип дорожной одежды		Капитальный										
Категория дороги		I		II		III			IV			
Предельный коэффициент разрушения $К_р^{пр}$		0,05				0,10						
Заданная надежность $К_н$		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80
Требуемый коэффициент прочности $К_{пр}^{тр}$ по критерию:	упругого прогиба	1,50	1,30	1,38	1,20	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87

Продолж. табл. 3.1.

Тип дорожной одежды		Облегченный										
Категория дороги		III			IV				V			
Предельный коэффициент разрушения $К_р^{пр}$		0,15										
Заданная надежность $К_н$		0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70
Требуемый коэффициент прочности $К_{пр}^{тр}$ по критерию:	упругого прогиба	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80

Продолж. табл.3.1.

Тип дорожной одежды		Переходный							
Категория дороги		IV					V		
Предельный коэффициент разрушения $К_р^{пр}$		0,40							
Заданная надежность $К_н$		0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70
Требуемый коэффициент прочности $К_{пр}^{тр}$ по критерию:	упругого прогиба	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90
	сдвига и растяжения при изгибе*	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80

* Дорожные одежды переходного типа для дорог V категории по критерию растяжения при изгибе не рассчитывают.

3.6. Для обеспечения заданной надежности (обеспеченности по прочности) коэффициент прочности проектируемой конструкции по каждому из расчетных критериев не должен быть ниже минимального требуемого значения, определяемого по табл. 3.1.

3.7. В задачу расчета входит определение толщин слоев одежды в вариантах, намеченных при конструировании, или выбор материалов с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданных толщинах слоев.

3.8. Отказ дорожной одежды (в формах, указанных в п. 3.3), связанный с недостаточной ее прочностью может возникнуть в результате:

- накопления до истечения заданного срока службы конструкции под воздействием касательных напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте от транспортной нагрузки, недопустимых остаточных деформаций с потерей ровности поверхности покрытия и соответствующим снижением скорости движения;
- усталостных разрушений монолитных слоев конструкции под воздействием растягивающих напряжений от многократного приложения транспортной нагрузки с последующей интенсивной потерей дорожной одеждой транспортно-эксплуатационных свойств до истечения заданного срока службы.

В соответствии с этим расчет на прочность в слоях выполняют по допускаемым напряжениям на сдвиг в слоях с пониженной сопротивляемостью сдвигу и на растяжение при изгибе в монолитных слоях.

Расчет прочности конструкции в целом, без рассмотрения механизма нарушения прочности, ведут по допустимому упругому прогибу (или требуемому общему модулю упругости).

3.9. Дорожные одежды на перегонах дорог рассчитывают на кратковременное многократное действие подвижных нагрузок. Принимаемые значения параметров прочностных и деформативных характеристик материалов и грунта в этом случае должны соответствовать указанному характеру приложения нагрузки.

Одежды на остановках, перекрестках дорог, на подходах к пересечениям с железнодорожными путями и т. п. должны быть дополнительно проверены на однократное нагружение при продолжительности нагружения не менее 10 мин.

Одежды на стоянках автомобилей и обочинах дорог следует рассчитывать на продолжительное нагружение (более 10 мин). Расчет ведется на единичное нагружение. В этом случае используются статические значения расчетных параметров и коэффициенты на повторность не вводятся. Расчет ведут по критериям сдвига в грунте, слабосвязанных материалах, а также в слоях, обработанных органическим вяжущим.

3.10. При расчете конструкций со слоями из битумоминеральных материалов учитывают влияние на их свойства температуры. При расчете слоев асфальтобетонного покрытия на растяжение при изгибе его характеристики должны соответствовать низким весенним температурам (см. Приложение 3 табл. П. 3.1). При расчете слоев из слабосвязных материалов, а также грунта на сопротивление сдвигу модуль упругости асфальтобетонного покрытия должен соответствовать весенним повышенным температурам (см. п. 3.31 и Приложение 3, табл. П.3.2).

3.11. Требуемый уровень проектной надежности в каждом конкретном случае должен быть указан при выдаче задания на проектирование.

Для основных случаев проектирования значения требуемого коэффициента прочности для различных критериев расчета допускается принимать в зависимости от заданного уровня надежности, типа дорожной одежды и категории дороги по табл.3.1.

3.12. Расчетные значения прочностных характеристик (сдвиговые характеристики и прочность на растяжение при изгибе) конструктивных слоев определяют через нормативные значения этих характеристик, используя зависимость:

$$M_p = \bar{M}_p(1 - \nu_t \cdot t), \qquad (3.2)$$

где M_p – расчетное значение прочностной характеристики;

$\bar{M}_p$ – нормативное значение этой характеристики (Приложение 3);

t – коэффициент нормированного отклонения $\bar{M}_p$ при допустимом уровне надежности (Приложение 4) ;

ν_t – коэффициент вариации характеристики (Приложение 4).

В качестве расчетных значений деформационных характеристик (модулей упругости) конструктивных слоев допускается принимать их нормативные значения (Приложение 3).

За расчетные значения прочностных (сдвиговых) и деформационных (модули упругости) характеристик грунта рабочего слоя допускается принимать их нормативные значения (см. Приложение 2), отвечающие расчетному значению относительной влажности грунта, устанавливаемому по методике, изложенной в Приложении 2.

Общая процедура и критерии расчета на прочность

3.13. Последовательность расчета:

3.13.1 Расчет дорожной одежды по критерию упругого прогиба на основе зависимости требуемого общего модуля упругости конструкции от суммарного числа приложений нагрузки.

В результате этого расчета назначаются толщины конструктивных слоев и их модули упругости таким образом, чтобы общий модуль упругости дорожной одежды был не менее требуемого с учетом соответствующего коэффициента прочности (табл. 3.1).

3.13.2 Расчет дорожной одежды, отвечающей критерию упругого прогиба, с учетом механизма нарушения прочности в ее отдельных конструктивных слоях по двум независимым критериям:

– критерию соответствия сдвигоустойчивости материалов конструктивных слоев и грунта возникающим в них касательным напряжениям, отражающему условие ограничения накопления сдвиговых остаточных деформаций (формоизменения) под воздействием многократных кратковременных нагрузок;

– по критерию соответствия сопротивления материалов монолитных конструктивных слоев возникающим в них растягивающим напряжениям от подвижной многократной нагрузки, отражающему сопротивление этих слоев усталостным процессам, обусловливающим развитие микротрещин в монолитных слоях, потерю их сплошности и снижение распределяющей способности.

Коэффициенты прочности по этим критериям должны быть не менее значений, указанных в табл.3.1.

При недостаточной величине коэффициента прочности по любому критерию конструкцию уточняют.

3.14. Дорожные одежды переходного и низшего типов рассчитывают по упругому прогибу и по сдвигоустойчивости.

Конструкции, предназначенные для движения особо тяжелых транспортных средств (со статической нагрузкой на ось 120 кН и более), по упругому прогибу не рассчитывают.

Расчет напряжений и деформаций

3.15. Напряжения в конструктивных слоях и в подстилающем грунте от воздействия транспортной нагрузки вычисляют по формулам теории упругости для слоистой среды, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой через гибкий круглый штамп, с учетом условий на контакте слоев.

При этом используют приближенные методы, основанные на упрощенных расчетных схемах и построенных на их основе номограммах.

Упрощенная расчетная схема выбирается в зависимости от рассматриваемого расчетного критерия.

При выполнении расчетов реальные многослойные дорожные конструкции приводят к одно- или двухслойным моделям с помощью методов, изложенных в п.п. 3.27, 3.32 и 3.39.

3.16. Главные напряжения от собственного веса конструкции определяют, исходя из гидростатической схемы, по формуле:

$$\sigma_{св} = \gamma_{ср} \cdot z_{оп}, \qquad (3.3)$$

где $\gamma_{ср}$ – средневзвешенный удельный вес конструкции, расположенной над расчетной точкой;

$z_{оп}$ – расстояние от поверхности покрытия до расчетной точки.

3.17. Для использования при оценке характеристик напряженно-деформированного состояния конструкции дорожной одежды номограмм настоящих ОДН многослойные конструкции приводят к одно- и двухслойным расчетным схемам.

Расчетные параметры подвижной нагрузки

3.18. В качестве расчетной схемы нагружения конструкции колесом автомобиля принимается гибкий круговой штамп диаметром D, передающий равномерно распределенную нагрузку величиной p.

Величины расчетного удельного давления колеса покрытия p и расчетного диаметра D приведенного к кругу отпечатка расчетного колеса на поверхности покрытия назначают с учетом параметров расчетных типов автомобилей.

В качестве расчетного типа используют наиболее тяжелый автомобиль из систематически обращающихся по дороге, доля которых составляет не менее 10% (с учетом перспективы изменения состава движения к концу межремонтного срока).

Приведение различных типов автомобилей к расчетному типу и приведение расчетного типа к расчетной схеме нагружения осуществляется в соответствии с указаниями Приложения 1.

Величину p принимают равной давлению воздуха в шинах. Диаметр расчетного отпечатка шины D определяют из зависимости:

$$D = \sqrt{\frac{40 \cdot Q_{расч}}{\pi \cdot p}}, \text{ см}, \qquad (3.4)$$

где $Q_{расч}$ – расчетная величина нагрузки, передаваемой колесом на поверхность покрытия, кН;

p — давление , МПа.

(Значения D и p для расчетной нагрузки типа А см. Приложение 1).

3.19. Учет характера действующей нагрузки (кратковременное многократное нагружение, статическое нагружение) осуществляется через принятие соответствующих расчетных значений расчетных характеристик конструктивных слоев, а также через введение коэффициента динамичности при назначении величины нагрузки.

3.20. В зависимости от вида расчета конструкции используют различные характеристики, отражающие интенсивность воздействия на нее подвижной 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);

$\sum N_p$ – суммарное расчетное число приложения приведенной расчетной нагрузки к расчетной точке на поверхности конструкции за срок службы.

3.21. Перспективную общую среднесуточную интенсивность устанавливают по данным анализа закономерностей изменения объема перевозок и интенсивности движения при проведении титульных экономических обследований.

3.22. Величина N_p приведенной интенсивности на последний год срока службы определяют по формуле:

$$N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^{n} N_m S_{m\,сум}, \text{ ед/сут}, \qquad (3.5)$$

где $f_{пол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним, определяемый по табл. 3.2.

n – общее число различных марок транспортных средств в составе транспортного потока;

N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m-й марки;

$S_{m\,сум}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m-й марки к расчетной нагрузке $Q_{расч}$, определяемый в соответствии с Приложением 1.

3.23. Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы определяют по формуле:

$$\sum N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^{n} (N_{1m} K_c T_{рдг} 0,7) S_{m\,сум} k_n, \qquad (3.6)$$

или по формуле:

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} k_n, \qquad (3.7)$$

где n – число марок автомобилей;

N_{1m} – суточная интенсивность движения автомобилей m-й марки в первый год службы (в обоих направлениях), авт/сут;

N_p – приведенная интенсивность на последний год срока службы, авт/сут;

$T_{рдг}$ – расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции (определяемое в соответствии с приложением 6);

k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого (табл.3.3).

K_c – коэффициент суммирования (см. Приложение 6, табл. П.6.5) определяют по формуле:

$$K_c = \frac{q^{Tсл} - 1}{q - 1}, \qquad (3.8)$$

где $T_{сл}$ – расчетный срок службы (см. Приложение 6, табл. П.6.4);

q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам.

Таблица.3.2

Число полос движения	Значение коэффициента $f_{пол}$ для полосы с номером от обочины		
	1	2	3
1	1,00	–	–
2	0,55	–	–
3	0,50	0,50	–
4	0,35	0,20	–
6	0,30	0,20	0,05

Примечания: *1. Порядковый номер полосы считается справа по ходу движения в одном направлении.*

2. Для расчета обочин принимают $f_{пол} = 0,01$.

3. На многополосных дорогах допускается проектировать одежду переменной толщины по ширине проезжей части, рассчитав дорожную одежду в пределах различных полос в соответствии со значениями N_p, найденными по формуле (3.5).

4. На перекрестках и подходах к ним (в местах перестройки потока автомобилей для выполнения левых поворотов и др.) при расчете одежды в пределах всех полос движения следует принимать $f_{пол} = 0,50$, если общее число полос проезжей части проектируемой дороги более трех.

Таблица 3.3

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента k_n при различных категориях дорог				
	I	II	III	IV	V
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	–
Облегченный	–	1,47	1,32	1,26	1,06
Переходный	–	–	1,19	1,16	1,04

Расчет конструкции в целом по допускаемому упругому прогибу

3.24. Конструкция дорожной одежды в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии:

$$E_{об} \geq E_{min} K_{пр}^{mp}, \qquad (3.9)$$

где $E_{об}$ – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;

E_{min} – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;

$K_{пр}^{mp}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности (см. п.3.6 и табл.3.1).

3.25. Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции вычисляют по эмпирической формуле:

$$E_{min} = 98{,}65\ [lg(\Sigma N_p) - c],\ (МПа), \qquad (3.10)$$

где ΣN_p – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды, устанавливаемое в соответствии с п.3.23 (формулы 3.6 и 3.7);

с – эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось 100 кН – 3,55; 110 кН – 3,25; 130 кН – 3,05.

Примечания: 1. Формулой следует пользоваться при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$.

2. Для дорог в V дорожно-климатической зоне требуемые модули, определенные по формуле (3.10), следует уменьшить на 15%.

3.26. Независимо от результата, полученного по формуле (3.10), требуемый модуль упругости должен быть не менее указанного в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Категория дороги	Суммарное минимальное рассчетное число приложений расчетной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости одежды, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	750000	230	–	–
II	500000	220	210	–
III	375000	200	200	–
IV	110000	–	150	100
V	40000	–	100	50

3.27. Общий расчетный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы рис.3.1, построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды.

Приведение многослойной конструкции к эквивалентной однослойной ведут послойно, начиная с подстилающего грунта.

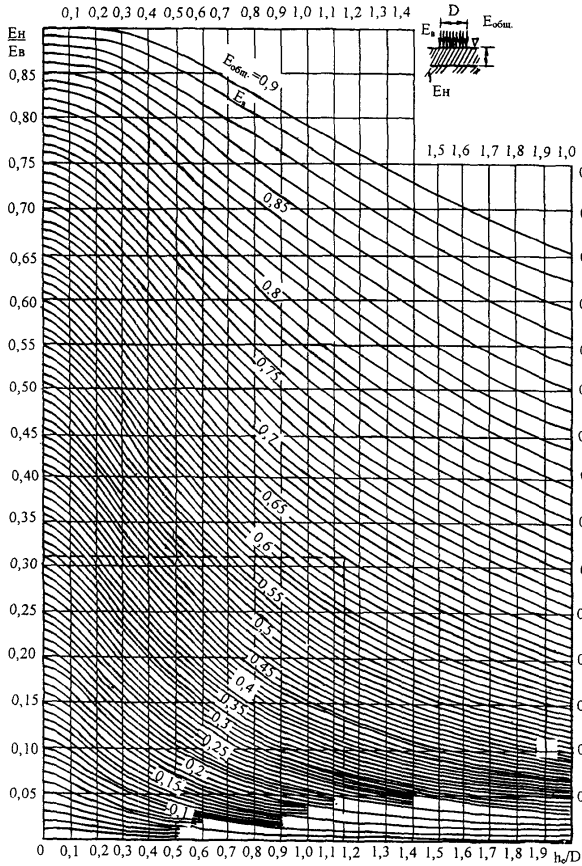


Рис. 3.1. Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы $E_{общ}$

3.28. Расчетные значения модулей упругости грунтов и материалов допускается принимать в соответствии с указаниями Приложений 2 и 3.

Значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, необходимо принимать во всех климатических зонах при температуре +10°С по Приложению 3, табл. П.3.2.

3.29. Расчет по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю деформации) ведут в следующей последовательности:

1. Определяют требуемый минимальный общий модуль конструкции по формуле 3.10.
2. Назначают модули и предварительно толщины слоев конструкции (кроме толщины основания).
3. Выполняя расчет конструкции сверху вниз, определяют с помощью номограммы рис. 3.1. требуемые модули на поверхности каждого конструктивного слоя.
4. Выполняя расчет конструкции снизу вверх, определяют толщину основания (при заданном его модуле), обеспечивающую необходимый модуль на поверхности основания, полученный при расчете сверху.

Расчет по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев

3.30. Дорожную одежду проектируют из расчета, чтобы под действием кратковременных или длительных нагрузок в подстилающем грунте или малосвязных (песчаных) слоях за весь срок службы не накапливались недопустимые остаточные деформации формоизменения. Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в малосвязных (песчаных) слоях обеспечено условие:

$$T \le \frac{T_{np}}{K_{np}^{mp}}, \qquad (3.11)$$

где K_{np}^{mp} – требуемое минимальное значение коэффициента прочности, определяемое с учетом заданного уровня надежности (см. табл. 3.1);

T – расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, непогашенная внутренним трением) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующей временной нагрузки (п.3.34);

T_{np} – предельная величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг (п.3.35).

3.31. При практических расчетах многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслойной расчетной модели.

При расчете дорожной конструкции *на прочность по сдвигоустойчивости грунта земляного полотна* в качестве нижнего

принимают грунт (с его характеристиками), а в качестве верхнего – всю дорожную одежду. Толщину верхнего слоя $h_в$ принимают равной сумме толщин слоев одежды ($\sum_{i=1}^{n} h_i$).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле:

$$E_в = \sum_{i=1}^{n} E_i h_i : \sum_{i=1}^{n} h_i , \qquad (3.12)$$

где n – число слоев дорожной одежды;

E_i – модуль упругости i-го слоя;

h_i – толщина i-го слоя.

3.32. При расчете по условию сдвигоустойчивости *в песчаном слое* основания с помощью номограммы рис.3.2 нижнему слою двухслойной модели условно присваивают обычные характеристики песчаного слоя ($c_п$, $\varphi_п$), а модуль упругости принимают равным общему модулю на поверхности песчаного слоя, определяемому по п. 3.27; толщину верхнего слоя модели принимают равной общей толщине слоев, лежащих над песчаным, а модуль упругости $E_в$ вычисляют как средневзвешенное значение для этих слоев по формуле 3.12.

3.33. При расчете дорожных одежд по условию сдвигоустойчивости значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают соответствующими температурам, указанным в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Дорожно-климатические зоны	I-II	III	IV	V
Расчетная температура, °С	+20	+30	+40	+50

3.34. Действующие в грунте или в песчаном слое активные напряжения сдвига (T) вычисляют по формуле:

$$T = \bar{\tau}_н p, \qquad (3.13)$$

где $\tau_н$ – удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки, определяемое с помощью номограмм (рис.3.2 и 3.3);

p – расчетное давление от колеса на покрытие;

Примечание: *При пользовании номограммой для определения* $\bar{\tau}_н$ *величину* φ *принимают для случая воздействия динамической нагрузки (с учетом числа приложений), (см. Приложение 2, табл.П.2.6 и П.2.8).*

3.35. Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя (или в песчаном материале промежуточного слоя) определяют по формуле:

$$T_{пр} = c_N k_д + 0,1 \gamma_{ср} z_{оп} tg \varphi_{ст} \qquad (3.14)$$

где c_N – сцепление в грунте земляного полотна (или в промежуточном песчаном слое), МПа, принимаемое с учетом повторности нагрузки (Приложение 2, табл.П.2.6 или П.2.8);

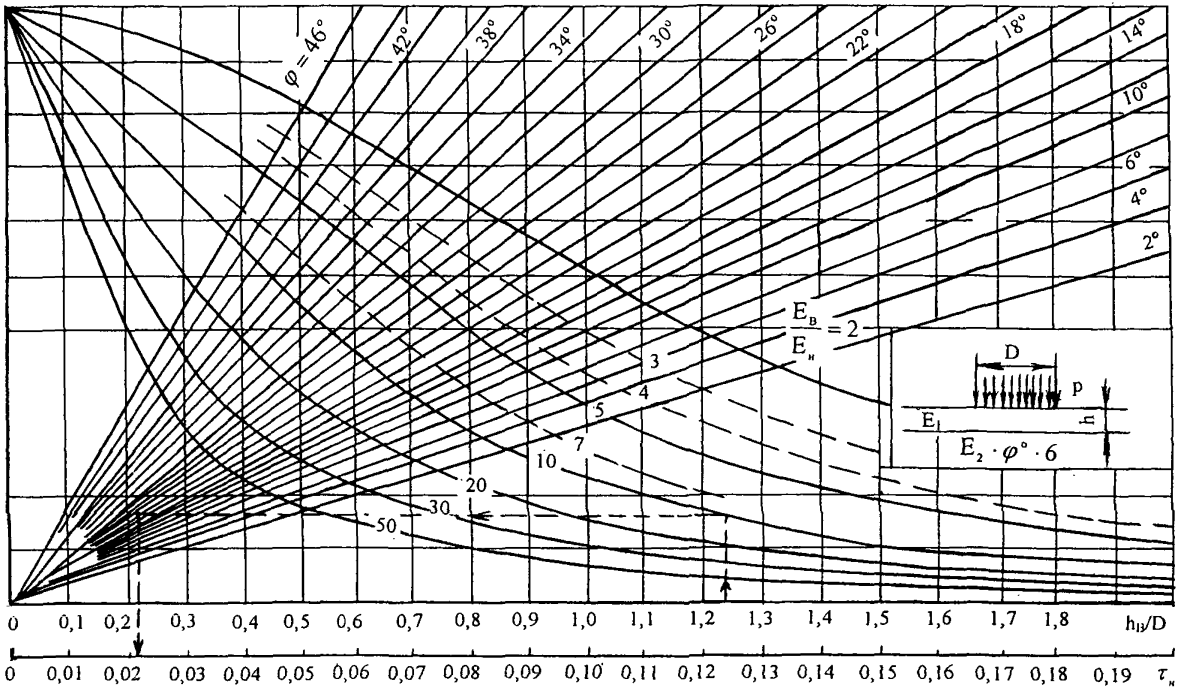


Рис.3.2. Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при $h_в/D=0\div2,0$)

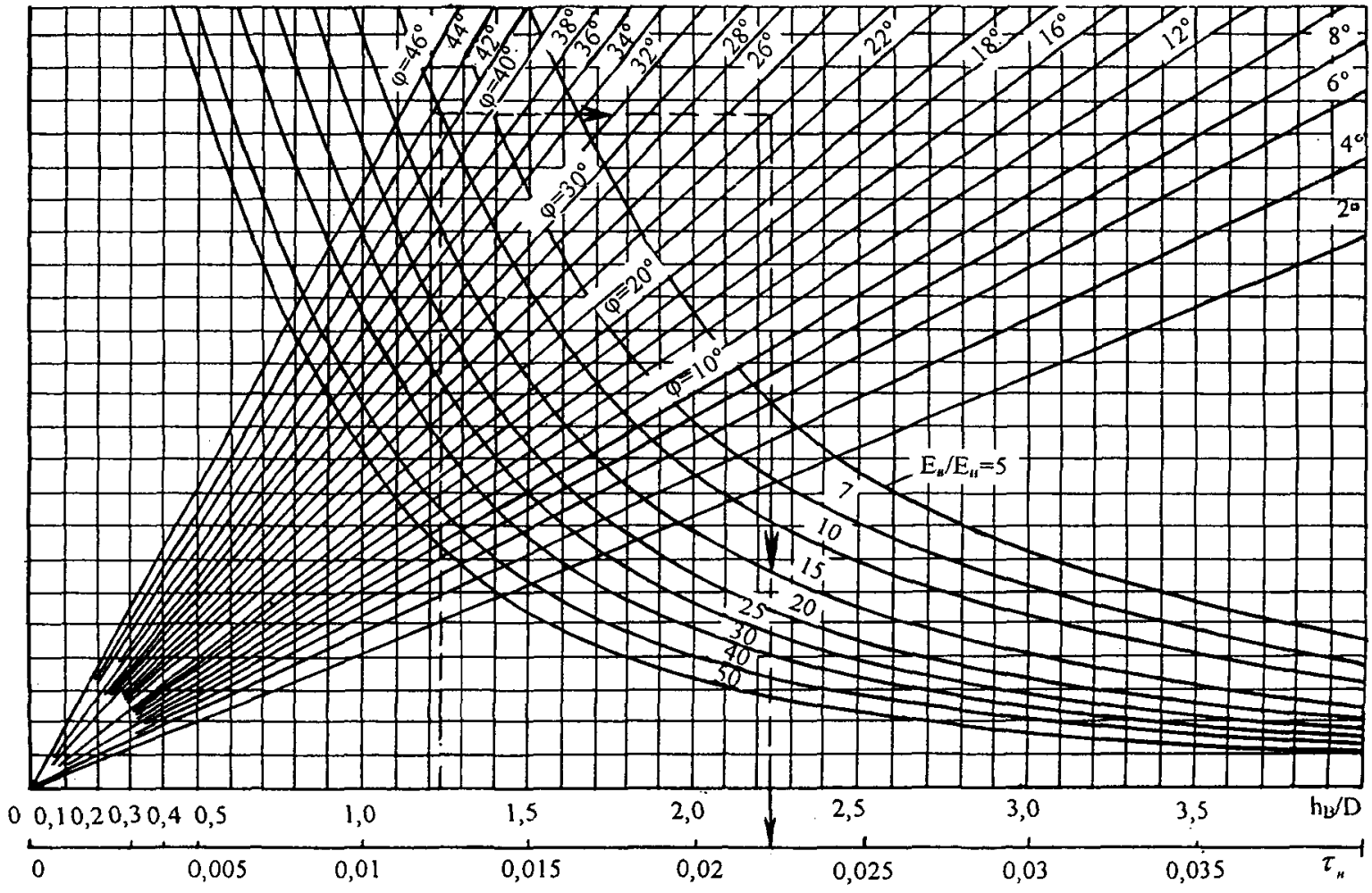


Рис. 3.3. Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при $h_в/D = 0 \div 4,0$)

$k_д$ – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания.
При устройстве нижнего слоя из укрепленных материалов, а также при укладке на границе «основание-песчаный слой» разделяющей геотекстильной прослойки, следует принимать значения $k_д$ равным:
- 4,5 – при использовании в песчаном слое крупного песка;
- 4,0 – при использовании в песчаном слое песка средней крупности;
- 3,0 – при использовании в песчаном слое мелкого песка;
- 1,0 – во всех остальных случаях.

$z_{оп}$ – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, см;

$\gamma_{ср}$ – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см^3;

$\varphi_{ст}$ – расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки.

3.36. Во всех случаях в качестве расчетных значений угла внутреннего трения грунта и малосвязных слоев используют его значения, отвечающие расчетному суммарному числу воздействия нагрузки за межремонтный срок $\sum N_р$. Эту величину устанавливают по формуле (3.6).

Входящую в формулу (3.6) величину расчетных дней в году, соответствующих расчетному состоянию прочности и деформируемости конструкции $T_{рдг}$ определяют по специальным региональным справочным данным. Для условий Российских регионов следует использовать данные справочного Приложения 6 (рис.П.6.1 и табл. П.6.1).

3.37. Расчет дорожной одежды по сопротивлению сдвигу в грунте земляного полотна, а также в песчаных материалах промежуточных слоев дорожных одежд ведут в следующей последовательности:

а) по табл. П.3.2 назначают расчетные модули упругости для слоев из асфальтобетона, соответствующие максимально возможным температурам в ранний весенний (расчетный) период (в соответствии с указаниями п.3.33); назначают по таблицам П.2.6-П.2.8 Приложения 2 (с учетом расчетной влажности и общего числа воздействия нагрузки) расчетные прочностные характеристики φ и c грунта земляного полотна и песка промежуточного слоя одежды (если таковой имеется) с учетом требований п.3.36. Остальные расчетные характеристики грунта и материалов остаются теми же, что и в расчете по упругому прогибу;

б) по рис.3.2 или рис.3.3 определяют активные напряжения сдвига $\bar{\tau}_н$ от единичной временной нагрузки. Для этого приводят многослойную конструкцию к двухслойным моделям (п.3.31, п.3.32);

в) по формуле 3.13 вычисляют расчетное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в песчаном слое одежды;

г) по формуле 3.14 вычисляют предельное напряжение сдвига;

д) по формуле 3.11 проверяют выполнение условия прочности (с учетом требуемой надежности);

е) при необходимости, изменяя толщины конструктивных слоев, подбирают конструкцию, удовлетворяющую условию п.3.30.

Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе

3.38. В монолитных слоях дорожной одежды (из асфальтобетона, дегтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими и др.), возникающие при прогибе одежды напряжения под действием повторных кратковременных нагрузок, не должны в течение заданного срока службы приводить к образованию трещин от усталостного разрушения. Для этого должно быть обеспечено условие:

$$\sigma_r < \frac{R_N}{K_{np}^{mp}}, \qquad (3.15)$$

где K_{np}^{mp} – требуемый коэффициент прочности с учетом заданного уровня надежности (табл. 3.1);

R_N – прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений;

σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом.

3.39. Наибольшее растягивающее напряжение σ_r при изгибе в монолитном слое определяют с помощью номограммы (рис. 3.4), приводя реальную конструкцию к двухслойной модели.

К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый. Толщину верхнего слоя модели $h_в$ принимают равной сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев ($\sum h_i$).

Значение модуля упругости верхнего слоя модели устанавливают как средневзвешенное для всего пакета асфальтобетонных слоев по формуле 3.12.

Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, включая грунт рабочего слоя земляного полотна.

Модуль упругости нижнего слоя модели определяют путем приведения слоистой системы к эквивалентной по жесткости с помощью номограммы рис.3.1.

3.40. При использовании номограммы рис.3.4 расчетное растягивающее напряжение определяют по формуле:

$$\sigma_r = \overline{\sigma_r} \cdot p \cdot \kappa_в, \qquad (3.16)$$

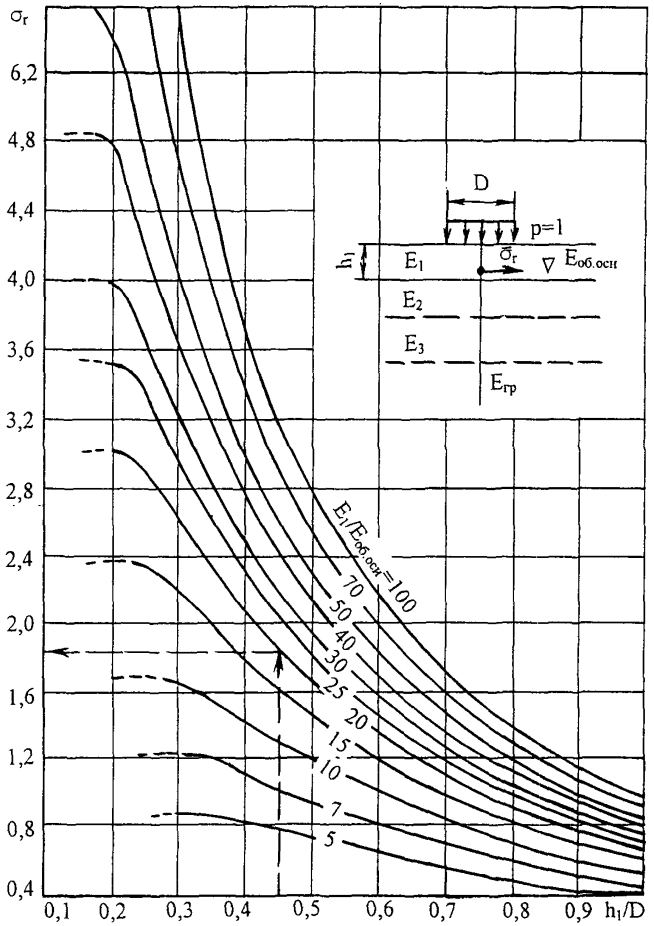


Рис. 3.4. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ при изгибе в верхнем монолитном слое двухслойной системы

где $\overline{\sigma_r}$ – растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетных диаметрах площадки, передающей нагрузку, определяемое по номограмме рис. 3.4;

$\kappa_в$ – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном. Принимают равным 0,85 (при расчете на однобаллонное колесо $\kappa_в$=1,00).

p – расчетное давление, принимаемое по табл.П.1.1 Приложения 1. Порядок использования показан на рис. 3.4 стрелками.

3.41. Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе определяют по формуле:

$$R_N = R_o k_1 k_2 (1 - v_R \cdot t), \qquad (3.17)$$

где R_O – нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе при расчетной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки, принимаемое по табличным данным (Приложение 3, табл. П.3.1);

k_1 – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки;

k_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодно-климатических факторов (табл.3.6);

v_R – коэффициент вариации прочности на растяжение (Приложение 4);

t – коэффициент нормативного отклонения (Приложение 4).

Таблица 3.6

	Материал расчетного слоя	k_2
	Асфальтобетон	
1	Высокоплотный	1,0
2	Плотный	
	I марки	0,95
	II марки	0,90
	III марки	0,80
3	Пористый и высокопористый	0,80
4	Органоминеральные смеси	0,80

3.42. Коэффициент k_1, отражающий влияние на прочность усталостных процессов, вычисляют по выражению:

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}, \qquad (3.18)$$

где $\sum N_p$ – расчетное суммарное число приложений расчетной нагрузки за срок службы монолитного покрытия, определяемое по формуле (3.6) или (3.7) с учетом числа расчетных суток за срок службы (см. Приложение 6);

m – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя (Приложение 3, табл. П.3.1);

α – коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчетной (низкой) температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности, определяемый по табл. П.3.1

3.43. Расчеты на усталостную прочность выполняют в следующем порядке:

a) приводят конструкцию к двухслойной модели и определяют отношения $\frac{h_в}{D}$, $\frac{E_в}{E_{пр}}$;

b) по полученным параметрам по номограмме рис.3.4 находят значение $\bar{\sigma}_r$ и по формуле 3.16 вычисляют расчетное растягивающее напряжение;

c) вычисляют предельное растягивающее напряжение по формуле (3.18). В пакете асфальтобетонных слоев за предельное растягивающее напряжение R_N принимают значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета;

d) проверяют условие (3.15) и при необходимости корректируют конструкцию.

4. ПРОВЕРКА ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ

4.1. В районах сезонного промерзания грунтов земляного полотна при неблагоприятных грунтовых и гидрологических условиях, наряду с требуемой прочностью и устойчивостью должна быть обеспечена достаточная морозоустойчивость дорожных одежд.

С этой целью применяют различные специальные мероприятия:

– использование непучинистых или слабопучинистых грунтов (табл. 4.1, табл. 4.2.) для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания;

– осушение рабочего слоя земляного полотна (см. раздел 5), в том числе устройство дренажа для увеличения расстояния от низа дорожной одежды до уровня подземных вод; устройство гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек для перехода от 2-ой или 3-й схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна к 1-й схеме;

– устройство морозозащитного слоя из непучинистых минеральных материалов, в т.ч. укрепленных малыми дозами минеральных или органических вяжущих;

– устройство теплоизолирующих слоев, снижающих глубину или полностью исключающих промерзание грунта под дорожной одеждой;

– устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (типа тощего бетона или других зернистых материалов, обработанных минеральным или органическим вяжущим).

4.2. Конструкцию считают морозоустойчивой, если соблюдено условие

$$l_{пуч} \le l_{доп}, \qquad (4.1)$$

где $l_{пуч}$ – расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;
$l_{доп}$ – допускаемое для данной конструкции пучение грунта (табл. 4.3).

4.3. Расчет на морозоустойчивость необходимо выполнять для характерных участков или групп характерных участков дороги, сходных по грунтово-гидрологическим условиям, имеющим одну и ту же конструкцию дорожной одежды и схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна.

4.4. При предварительной проверке на морозоустойчивость величину возможного морозного пучения следует определять по формуле:

$$l_{пуч} = l_{пуч.ср} K_{УГВ} K_{пл} K_{гр} K_{нагр} K_{вл}, \qquad (4.2)$$

где $l_{пуч.\,ср}$ – величина морозного пучения при осредненных условиях, определяемая по рис. 4.4 в зависимости от толщины дорожной одежды (включая дополнительные слои основания), группы грунта по степени пучинистости (табл.4.1) и глубины промерзания ($z_{пр}$);

Таблица 4.1

Классификация грунтов по степени пучинистости при замерзании (СНиП 2.05.02-85, прил.2 табл. 6)

Группы грунтов по пучинистости	Степень пучинистости	Относительное морозное пучение
I	Непучинистый	1 и менее
II	Слабопучинистый	Свыше 1 до 4
III	Пучинистый	Свыше 4 до 7
IV	Сильнопучинистый	Свыше 7 до 10
V	Чрезмернопучинистый	Свыше 10

Таблица 4.2.

Группы грунтов по степени пучинистости(СНиП 2.05.02-85, прил 2 табл. 7)

Грунт	Группа
Песок гравелистый, крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 до 2%	I
Песок гравелистый, крупный и средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %, мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %, супесь легкая крупная	II
Супесь легкая; суглинок легкий и тяжелый, глины	III
Песок пылеватый; супесь пылеватая; суглинок тяжелый пылеватый	IV
Супесь тяжелая пылеватая; суглинок легкий пылеватый	V

Таблица 4.3

Тип дорожных одежд	Вид покрытия	Допустимая величина морозного пучения, ($l_{доп}$), см
Капитальные	асфальтобетонное	4
Облегченные	асфальтобетонное	6
Переходные	переходное	10

Примечание. *В восточных районах II–III дорожно-климатических зон значения $l_{доп}$ следует увеличивать на 20-40% (большие значения для облегченных и переходных дорожных одежд).*

$К_{УГВ}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчетной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод ($H_у$) (рис.4.1); при отсутствии влияния грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод следует принимать: для супеси тяжелой и пылеватой и суглинка $К_{УГВ}$ = 0,53; для песка и супеси легкой и крупной $К_{УГВ}$ = 0,43;

$К_{пл}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя (табл. 4.4);

$К_{гр}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки (табл. 4.5);

$К_{нагр}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое и зависящий от глубины промерзания (рис.4.2);

$К_{вл}$ – коэффициент, зависящий от расчетной влажности грунта (табл.4.6).

4.5. Если данные натурных наблюдений отсутствуют, глубину промерзания дорожной конструкции допускается определять по формуле:

$$z_{пр} = z_{пр(ср)} \cdot 1{,}38, \qquad (4.3)$$

где $z_{пр(ср)}$ – средняя глубина промерзания для данного района, устанавливаемая при помощи карт изолиний (рис.4.4).

4.6. При глубине промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$ до 2 м $l_{пуч.\ ср}$ устанавливают по графикам рис. 4.3. При $z_{пр}$ от 2,0 до 3,0 м $l_{пуч.\ ср}$ вычисляют по формуле:

$$l_{пуч.\ ср} = l_{пуч.\ ср2,0} \cdot [a + b \cdot (z_{пр} - c)], \qquad (4.4)$$

где $l_{пуч.\ ср2,0}$ – величина морозного пучения при $z_{пр}$ = 2,0 м;
a = 1,0; b = 0,16; c = 2,0 при $2{,}0 < z_{пр} < 2{,}5$;
a = 1,08; b = 0,08; c = 2,5 при $2{,}5 < z_{пр} < 3{,}0$.

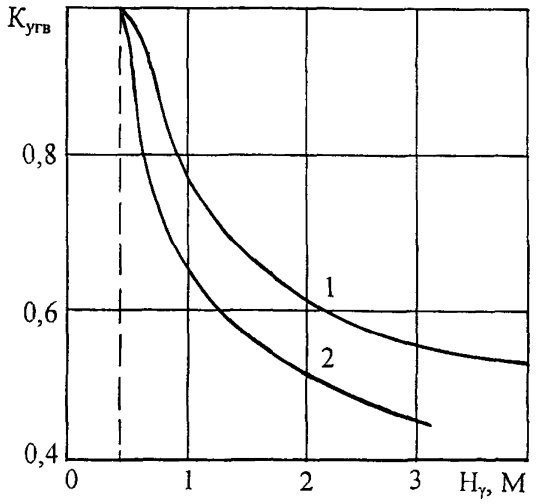


Рис.4.1. Зависимость коэффициента $K_{угв}$ от расстояния от низа дорожной одежды до расчетного УГВ или УПВ:
1 – супесь тяжелая и тяжелая пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь легкая и легкая крупная

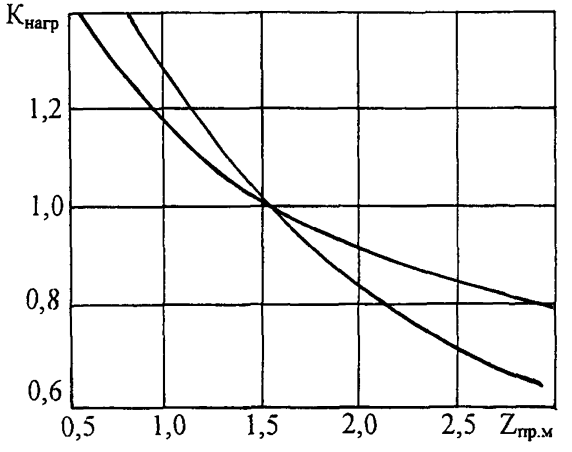


Рис.4.2. Зависимость коэффициента $K_{нагр}$ от глубины промерзания $z_{пр}$ от поверхности покрытия:
1 – супесь тяжелая и пылеватая; суглинок; 2 – песок; супесь легкая, крупная

4.7. Если при расчетном сроке службы до 10 лет полученная величина возможного пучения будет превышать требуемую (табл. 4.3), а при сроке службы более 10 лет будет превышать 80 % от требуемой, необходимо рассмотреть вариант устройства морозозащитного слоя. В этом случае предварительно определяют ориентировочно требуемую толщину морозоустойчивой конструкции дорожной одежды, используя графики рис. 4.3. Для этого, зная допустимую величину морозного пучения $l_{доп}$, рассчитывают среднюю величину морозного пучения $l_{пуч.ср.}$ по формуле:

$$l_{пуч.ср.} = l_{доп} / K_{УГВ} K_{пл} K_{гр} K_{нагр} K_{вл}. \qquad (4.5.)$$

Затем по графику рис. 4.3. в соответствии с группой грунта по степени пучинистости определяют $h_{од}$.

Таблица 4.4

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	$K_{пл}$	
	песок пылеватый, супесь легкая и пылеватая, суглинки, глины	пески кроме пылеватых, супесь легкая крупная
1,03 - 1,00	0,8	1,0
1,01 - 0,98	1,0	1,0
0,97 - 0.95	1,2	1,1
0,94 - 0,90	1,3	1,2
менее 0,90	1,5	1,3

Таблица 4.5

Грунт	$K_{гр}$
пески	1,0
супеси	1,1
суглинки	1,3
глины	1,5

Таблица 4.6

Относительная влажность W/W_T	0,6	0,7	0,8	0,9
$K_{вл}$	1,0	1,1	1,2	1,3

4.8. Уточненный расчет толщины морозозащитного слоя ($h_{мз}$) выполняют по термическому сопротивлению конструкций. Для этого необходимо иметь следующие исходные данные:

– географическое местоположение рассматриваемого участка дороги;

– конструкцию дорожной одежды (наименование и толщина слоев), необходимая по условиям прочности и дренирования;

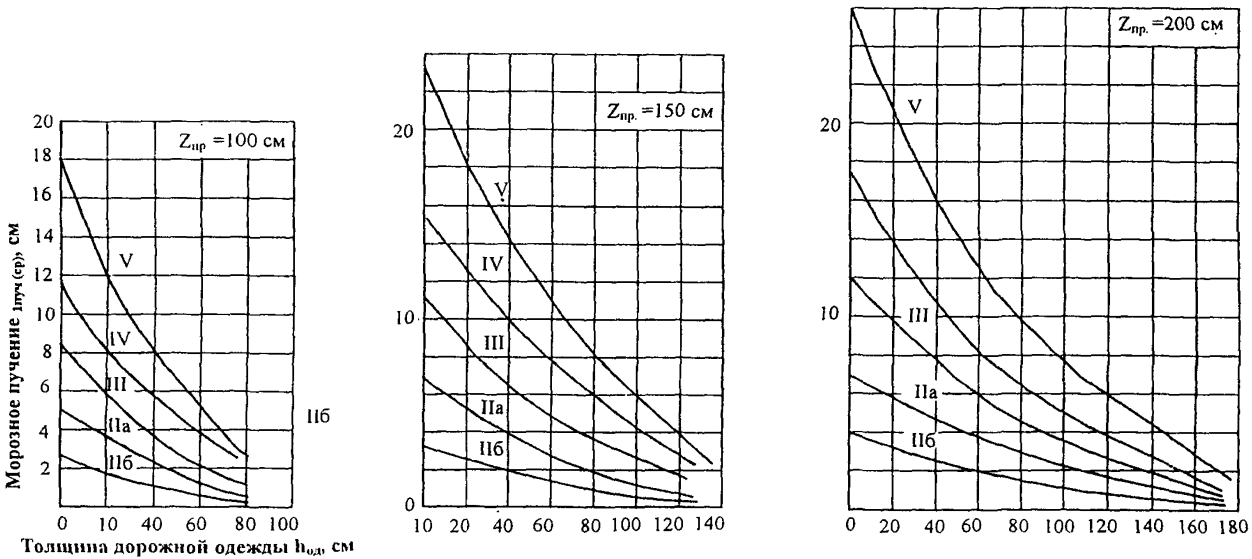


Рис.4.3. Графики для определения осредненной величины морозного пучения $l_{пуч.ср.}$

Примечания: 1. Кривую (II – V) выбирают в соответствии с табл. 4.2;
2. Кривую IIа выбирают при 2-й и 3-й схеме увлажнения рабочего слоя, кривую IIб – при 1-й схеме увлажнения

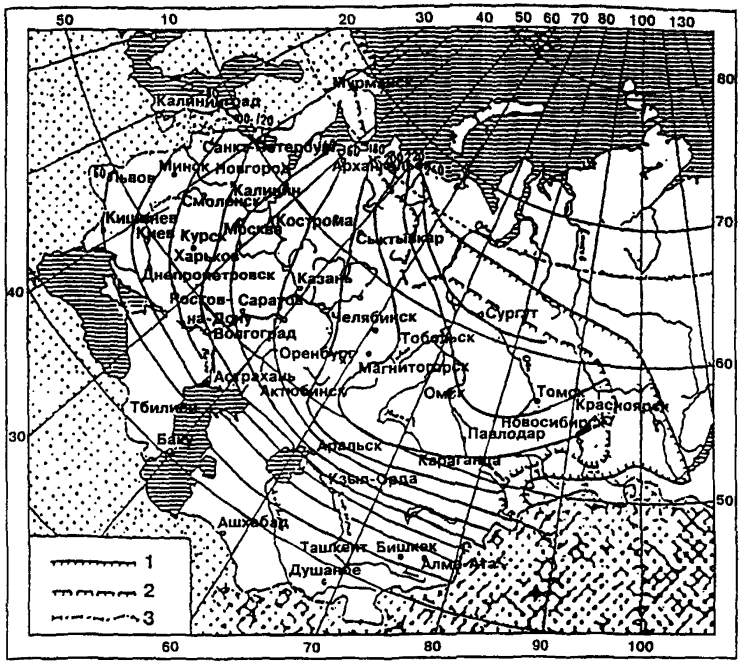


Рис. 4.4. Карта изолиний глубины промерзания $z_{пр(ср)}$ грунтов на территории СНГ:
1 – граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов;
2 – то же, островного; 3 – границы стран СНГ

– схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна (1, 2 или 3) и расчетную глубину залегания подземных вод от поверхности покрытия;

– наименование грунтов земляного полотна;

– расчетный срок службы дорожной одежды.

4.9. Толщину морозозащитного слоя $h_{мз}$ определяют по формуле:

$$h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)})\,\lambda_{мз}, \qquad (4.6)$$

где $R_{од(о)}$ – термическое сопротивление рассматриваемой конструкции дорожной одежды, [м²К/Вт];

$R_{од(тр)}$ – требуемое в данных условиях термическое сопротивление дорожной одежды, [м²К/Вт];

$\lambda_{мз}$ – коэффициент теплопроводности морозозащитного слоя, равный среднеарифметическому значению коэффициентов теплопроводности материала слоя в талом и мерзлом состояниях, Вт/(мК).

При отсутствии фактически замеренных значений в расчет допускается включать табличные значения $\lambda_{мз}$ (табл.П.5.1).

$R_{од(тр)}$ определяют в зависимости от номера изолинии на карте (рис.4.5), соответствующей географическому положению рассматриваемого участка дороги. При расположении участка между изолиниями определяют два значения $R_{од(тр)}$ и вычисляют два значения $h_{мз}$, соответствующих этим изолиниям. Искомую толщину морозозащитного слоя определяют методом интерполяции в зависимости от расстояния от рассматриваемого участка дороги до соседних изолиний.

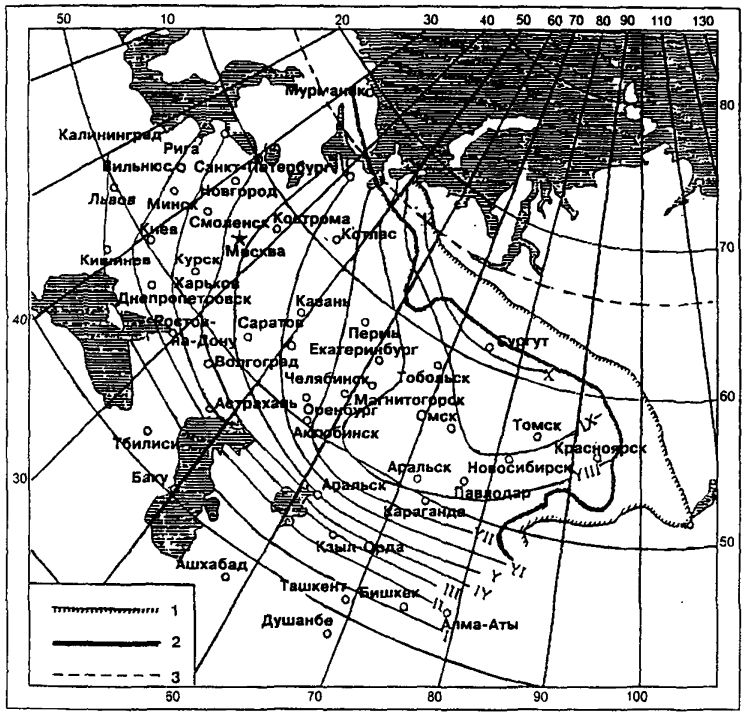


Рис. 4.5. Карта с изолиниями для определения требуемых значений термического сопротивления дорожной одежды:
I-X - номера изолиний; 1 - граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов; 2 - то же, островного; 3 - Северный полярный круг

4.10. Термическое сопротивление дорожной одежды $R_{од(о)}$ вычисляют по формуле:

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{i=n_{од}} h_{од(i)} / \lambda_{од(i)}, \ [м^2К/Вт], \qquad (4.7)$$

где $n_{од}$ – число конструктивных слоев дорожной одежды без морозозащитного слоя;

$h_{од(i)}$ – толщина i-го слоя, м;

$\lambda_{од(i)}$ – коэффициент теплопроводности отдельных слоев в мерзлом состоянии, Вт/(мК).

4.11. Величину требуемого термического сопротивления $R_{од(тр)}$ вычисляют по формуле:

$$R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta, \quad [м^2 К/Вт], \qquad (4.8)$$

где $R_{пр}$ – приведенное термическое сопротивление, определяемое при помощи номограммы (см п.4.12);

$K_{од}$ – коэффициент, учитывающий срок службы дорожной одежды, между капитальными ремонтами (табл. 4.7);

$K_{увл}$ – коэффициент, учитывающий схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна, принимаемый при 2-й и 3-й схемах увлажнения равным единице, а при 1-ой схеме увлажнения – по табл. 4.8;

δ – понижающий коэффициент, принимаемый для II_1, II_3 и II_5 дорожно-климатических подзон равным 1,0; для II_2, II_4 и II_6 подзон равным 0,95; для III-ей дорожно-климатической зоны равным 0,90; для IV дорожно-климатической зоны равным 0,85 (схему дорожно-климатических зон см. Приложение 2).

4.12. $R_{пр}$ определяют с помощью номограммы (рис. 4.6) методом итерации через отношение $l_{доп}/(C_{пуч}C_р)$ (горизонтальная ось номограммы). Значения $l_{доп}$, $C_{пуч}$, и $C_р$ определяют соответственно по табл. 4.3, 4.9, и 4.10.

При назначении величины $C_р$ по табл. 4.10 подбирают допустимую глубину промерзания $h_{пр(доп)}$ таким образом, чтобы получаемому значению отношения $l_{доп}/(C_{пуч}C_р)$ соответствовала величина $h_{пр(доп)}$ на вертикальной оси номограммы, равная принятой при определении $C_р$. Подбор нужно начинать со значения $h_{пр(доп)}$, соответствующего наименьшей допустимой глубине промерзания.

Расстояние H_γ от низа дорожной одежды до уровня подземных вод, необходимое для использования номограммы, определяют, приняв за исходную, полученную в соответствии с п. 4.6 ориентировочную толщину морозозащитного слоя $h_{мз}$ и вычислив при заданном $h_{мз}$ общую толщину дорожной одежды $h_{од}$.

При глубине залегания подземных вод на участке дороги, отличающейся от указанных на номограмме, нужно определить два значения $R_{пр}$. Одно – при значении H_γ на номограмме более, а другое – при значении H_γ на номограмме менее данного. Искомое значение $R_{пр}$ устанавливают методом интерполяции между соответствующими величинами.

4.13. После завершения расчета толщины морозозащитного слоя по формуле (4.6) сравнивают полученное значение $h_{мз}$ с предварительно назначенной величиной $h_{мз}$. Разница не должна быть более 5 см. В противном случае расчет необходимо повторить.

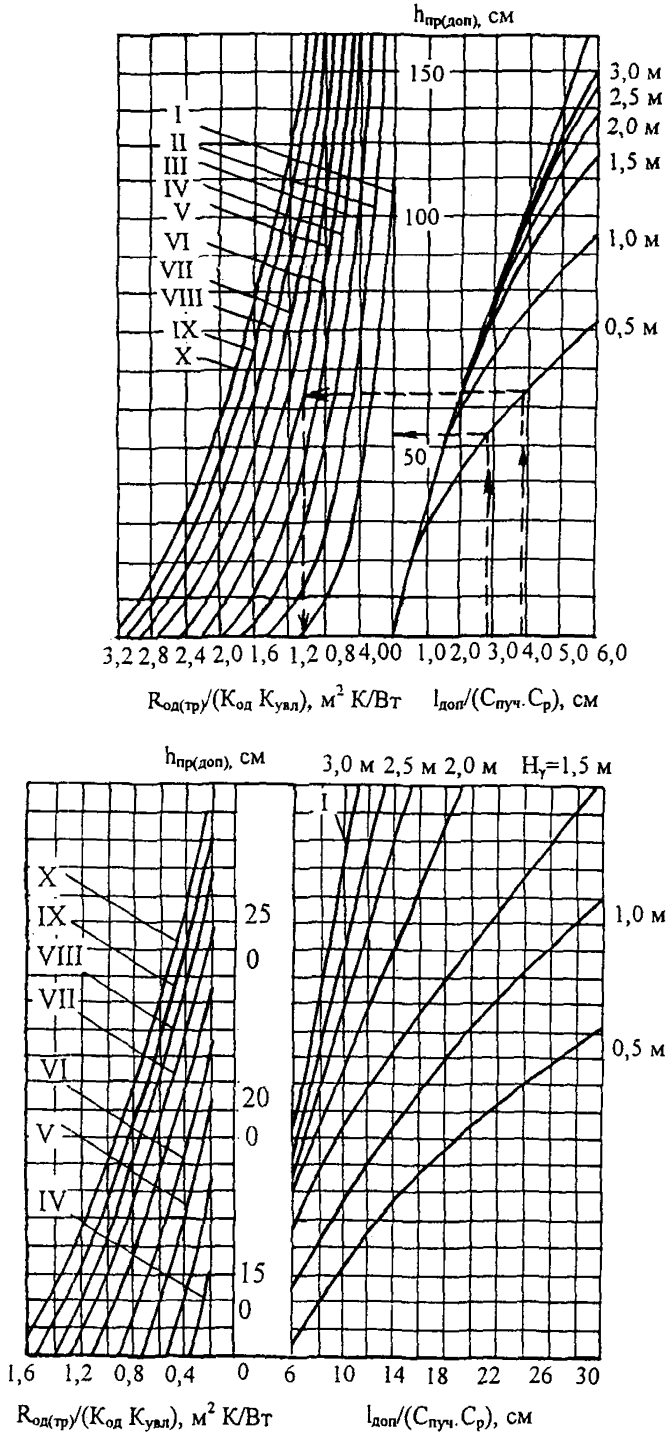


Рис. 4.6. Номограмма для определения требуемого термического сопротивления дорожной одежды $R_{од(тр)}$: I-X - номера изолиний на карте (рис. 4.6); 1 - кривая расчета для 1-го и 2-го типов увлажнения рабочего слоя земляного полотна; H_γ - глубина залегания расчетного УГВ от низа дорожной одежды, включая морозозащитный слой

Таблица 4.7

№ изолинии на карте (рис.4.5)	*Значение коэффициента $К_{од}$ при сроке службы дорожной одежды между капитальными ремонтами*		
	менее 10 лет	*10 лет*	*20 лет*
I – II	0,70	0,85	1,0
III – X	0,80	0,90	1,0

Таблица 4.8.

№ изолинии на карте (рис .4.5)	Значение коэффициента $К_{увл}$ при первой схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна
I	0,8
II	0,65
III	0,55
IV	0,45
V	0,40
VI	0,35
VII	0,30
VIII	0,30
IX	0,25
X	0,25

Таблица 4.9.

№ изолинии на карте (рис.4.5)	*Значение показателя $С_{луч}$ для грунтов:*			
	Слабопучинистых	*Пучинистых*	*Сильнопучинистых*	*Чрезмерно пучинистых*
I	0,70	1,40	2,10	2,80
II	0,60	1,25	1,85	2,50
III	0,55	1,10	1,65	2,20
IV	0,50	1,00	1,50	2,00
V	0,45	0,90	1,35	1,80
VI	0,40	0,80	1,20	1,60
VII	0,35	0,70	1,05	1,40
VIII	0,30	0,60	0,90	1,20
IX	0,25	0,50	0,75	1,00
X	0,20	0,40	0,60	0,80

Примечание. *Группу грунта по степени пучинистости допускается определять с помощью табл. 4.1 и 4.2.*

Таблица 4.10

Грунт земляного полотна	Значение коэффициента $C_р$ в зависимости от толщины дорожной одежды ($h_{од}$,м) и допустимой глубины промерзания($h_{пр(доп)}$,см)								
	$h_{од}$ = 0,5			$h_{од}$ = 1,0		$h_{од}$ = 1,5		$h_{од}$ = 2,0	
	$h_{пр(доп)}$			$h_{пр(доп)}$		$h_{пр(доп)}$		$h_{пр(доп)}$	
	0 - 50	51 - 100	> 100	0 - 100	> 100	0 -100	> 100	0 - 100	> 100
Песок пылеватый	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40	0,40	0,35
Супесь легкая	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45
Супесь пылеватая	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
Суглинок легкий, суглинок легкий пылеватый	0,80	0,75	0,70	0,70	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55
Суглинок тяжелый, суглинок тяжелый пылеватый, глина	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,65	0,65	0,60

Примечание. *При промежуточных значениях толщины дорожной одежды следует принимать значение $C_р$ по интерполяции соответствующих величин.*

4.14. Расчет толщины теплоизолирующего слоя осуществляется также, как и морозозащитного. В расчет следует включать толщину дорожной одежды, необходимую по условиям обеспечения прочности и дренирования, а также значения показателя пучинистости грунта $C_{пуч}$ (табл.4.11); толщину теплоизолирующего слоя следует определять по графику (рис. 4.7) в зависимости от $R_{од(тр)}$ и $R_{од(о)}$.

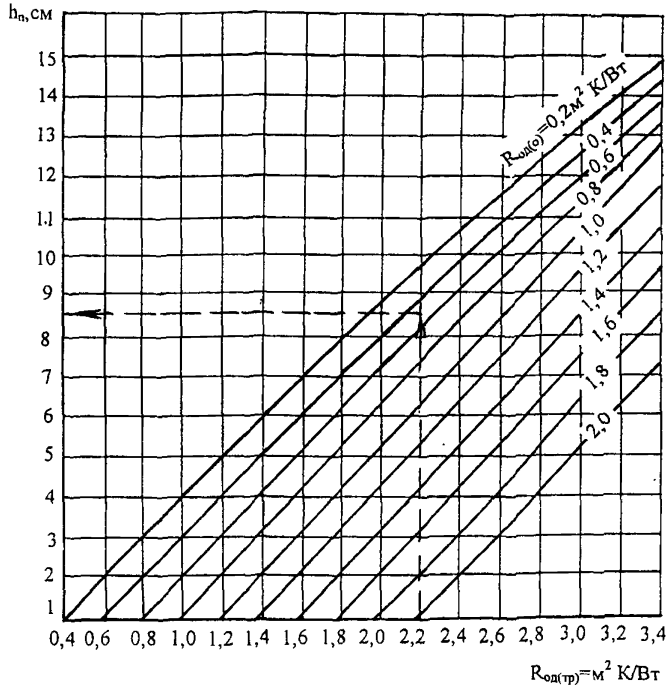


Рис. 4.7. График для определения необходимой толщины теплоизолирующего слоя из пенопласта

Таблица 4.11

Значения показателя $C_{пуч}$ для грунтов			
Слабопучинистых	Пучинистых	Сильнопучинистых	Чрезмернопучинистых
0,50	1,0	1,5	2,0

4.15. Пенопласт, используемый для устройства теплоизолирующего слоя должен удовлетворять следующим требованиям: прочность на сжатие при 10% линейной деформации не менее 0,40 МПа, предел прочности при изгибе – не менее 0,70 МПа, водопоглощение по объему – не более 0,45, теплопроводность – не более 0,032 Вт/(мК) (при методах испытания по

действующим ГОСТам). Выбор нужной марки пенопласта следует проводить с учетом результатов опытной проверки на дорогах.

4.16. Если рабочий слой земляного полотна включает два слоя из грунтов с различной пучинистостью (что может быть предусмотрено в целях сокращения объемов привозного менее пучинистого грунта), толщину морозозащитного слоя при верхней части рабочего слоя из менее пучинистого грунта следует рассчитывать по формуле:

$$h_{мз} = h_{мз1} + (h_{мз2} - h_{мз1})(h_{мз1} + h_{пр(доп)} - \Delta\vartheta_{гр})/(h_{мз1} + h_{пр(доп)}), \quad (4.9)$$

где $h_{мз1}$ – толщина морозозащитного слоя, которая необходима в случае полной замены местного грунта на привозной менее пучинистый, м;

$h_{мз2}$ – толщина морозозащитного слоя, которая необходима при однослойной конструкции земляного полотна из местного грунта, м;

$h_{пр(доп)}$ – допустимая глубина промерзания земляного полотна в случае полной замены местного грунта на привозной менее пучинистый, м;

$\Delta\vartheta_{гр}$ – толщина слоя замены грунта от низа дорожной одежды (без морозозащитного слоя), конструкция которой обеспечивает прочность и дренирование, м.

Расчет значений $h_{мз1}$, $h_{мз2}$ и $h_{пр(доп)}$ выполняется в соответствии с п.п.4.9 – 4.13. Максимальное значение $\Delta\vartheta_{гр}$ равно $h_{мз1} + h_{пр(доп)}$.

Расчет толщины теплоизолирующего слоя при замене верхней толщи земляного полотна на менее пучинистый грунт следует проводить также, как для морозозащитного слоя.

4.17. Для определения величины морозного пучения, требуемой толщины морозозащитного или теплоизолирующего слоя может быть использована также методика, основанная на определении коэффициента влагопроводности грунта $K_{вл}$ (см. Приложения 7.1 и 7.2). Методику рекомендуется использовать в порядке накопления опыта ее применения. Пример применения методики приведен в приложении 8 (пример 12).

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ПО ОСУШЕНИЮ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД И ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Основные положения

5.1. Дренажная конструкция (дренирующий слой и водоотводящие устройства) необходима при традиционных конструкциях дорожных одежд со слоями из зернистых материалов на участках с земляным полотном из слабофильтрующих грунтов (пылеватых песков, непылеватых песков с коэффициентом фильтрации менее 0,5 м/сут, глинистых грунтов) во II дорожно-климатической зоне при всех схемах увлажнения рабочего слоя

земляного полотна, в III зоне – при 2-й и 3-й схемах, в IV и V зонах – только при 3-й схеме (табл. 5.1).

5.2. Схему увлажнения на участках дороги, где в придорожной полосе застаивается вода, определяют с учетом расстояния l_y от бровки земляного полотна до уреза воды, застаивающейся осенью в придорожной полосе. Величину безопасного расстояния l_y можно определить по специальной методике. При отсутствии фактических данных, необходимых для расчета, следует принимать l_y для супесей равной 10 м, для суглинков легких и пылеватых – 3 м, для суглинков тяжелых и глин –2 м.

5.3. Дренажная система дорожной одежды включает: плоскостной горизонтальный дренаж, дополняемый, если требуется, прикромочным дренажом, а также поперечным дренажом мелкого заложения.

При устройстве всех слоев дорожной одежды из монолитных материалов в качестве плоскостного горизонтального дренажа при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается применять вместо дренирующего слоя прослойку из геотекстиля толщиной не менее 4 мм с коэффициентом фильтрации не менее 50 м/сут с выпуском полотнищ на откосы насыпи на высоту не менее 0,5 м. Выбор геотекстиля в этом случае производится по специальным указаниям.

Таблица 5.1

(СНиП 2.05.02-85, прил.2 табл.13)

Схема увлажнения рабочего слоя	Источники увлажнения	Условия отнесения к данному типу увлажнения
1	2	3
	Атмосферные осадки	Для насыпей на участках 1-го типа местности по условиям увлажнения. Для насыпей на участках местности 2-го и 3-го типов по условиям увлажнения при возвышении поверхности покрытия над расчетным уровнем грунтовых и поверхностных вод или над поверхностью земли, более чем в 1,5 раза превышающем требования табл. 5.2.
1		Для насыпей на участках 2-го типа при расстоянии от уреза поверхностной воды (отсутствующей не менее 2/3 летнего периода) более 5 - 10 м при супесях; 2 - 5 м при легких пылеватых суглинках и 2 м при тяжелых пылеватых суглинках и глинах (меньшие значения следует принимать для грунтов с большим числом пластичности; при залегании различных грунтов – принимать большие значения).

1	2	3
		В выемках в песчаных и глинистых грунтах при уклонах кюветов более 20‰ (в I – III дорожно-климатических зонах) и при возвышении поверхности покрытия над расчетным горизонтом грунтовых вод более чем в 1,5 раза превышающем требования табл.5.2. При применении специальных методов регулирования водно-теплового режима (капилляропрерывающие, гидроизолирующие, теплоизолирующие и армирующие прослойки, дренаж и т.п.), назначаемых по специальным расчетам.
2	Кратковременно стоящие (до 30 сут) поверхностные воды, атмосферные осадки.	Для насыпей на участках 2-го типа местности по условиям увлажнения при возвышении поверхности покрытия не менее требуемого по табл. 5.2 и не более чем в 2 раза превышающем эти требования и при крутизне откосов не менее 1:1,5 и простом (без берм) поперечном профиле насыпи. Для насыпей на участках 3-го типа местности при применении специальных мероприятий по защите от грунтовых вод (капилляропрерывающие слои, дренаж), назначаемых по специальным расчетам, отсутствии длительно (более 30 сут) стоящих поверхностных вод и выполнении условий предыдущего абзаца. В выемках в песчаных и глинистых грунтах при уклонах кюветов менее 20‰ (в I, II зонах) и возвышении поверхности покрытия над расчетным уровнем грунтовых вод более чем в 1,5 раза превышающем требования табл.5.2.
3	Грунтовые или длительно (более 30 сут) стоящие поверхностные воды; атмосферные осадки	Для насыпей на участках 3-го типа местности по условиям увлажнения при возвышении поверхности покрытия, отвечающем требованиям табл. 5.2, но не превышающем их более чем в 1,5 раза. То же, для выемок. в основании которых имеется уровень грунтовых вод, расположение которого по глубине не превышает требований табл. 5.2 более чем в 1,5 раза

Таблица 5.2
(СНиП 2.05.02-85,табл. 21)

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение поверхности покрытия, м, в пределах дорожно-климатических зон			
	II	II	IV	V
Песок мелкий, супесь легкая крупная, супесь легкая	1,1/0,9	0,9/0,7	0,75/0,55	0,5/0.3
Песок пылеватый, супесь пылеватая	1,5/1,2	1,2/1,0	1,1/0,8	0,8/1,5
Суглинок легкий, суглинок тяжелый, глины	2,2/1,6	1,8/1,4	1,5/1,1	1,1/0,8
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	2,4/1,8	2,1/1,5	1,8/1,3	1,2/0,8

Примечание. *1. Над чертой – возвышение поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод, верховодки или длительно (более 30 сут) стоящих поверхностных вод, под чертой – то же, над поверхностью земли на участках с необеспеченным поверхностным стоком или над уровнем кратковременно (менее 30 сут) стоящих поверхностных вод.*

5.4. Проектирование мероприятий по дренированию дорожной одежды осуществляют в такой последовательности:

а) дорогу разделяют на типичные участки по виду продольного профиля и природным условиям (характер рельефа местности, наличие водотоков, пересекающих дорогу, и др.) с учетом особенностей конструкции земляного полотна (насыпь высотой, отвечающей СНиП, выемка, насыпь ниже требуемой по СНиП, переходный участок от насыпи к выемке) и дорожной одежды (наличие монолитных слоев основания, а также морозозащитных или теплоизоляционных слоев из укрепленных материалов), обеспеченности материалами для дренирующего слоя, дренажных труб и геотекстиля; осуществления мер по ограничению притока воды в дорожную конструкцию;

б) для типичных участков определяют количество воды, поступающей в основание за сутки и за расчетный период с учетом предусмотренных мер по ограничению притока воды в дорожную конструкцию;

в) намечают варианты дренажных конструкций;

г) обосновывают расчетом толщину дренирующего слоя, необходимую в данных условиях, или определяют, каким значением коэффициента фильтрации должен обладать дренирующий материал в заданной дренажной конструкции.

При проектировании дренирующего слоя, необходимо, помимо осушения, учитывать необходимость обеспечения сдвигоустойчивости самого зернистого материала и прочности всей дорожной конструкции.

5.5. Дренажную конструкцию нужно проектировать с учетом объема притока воды, поступающей в основание дорожной одежды в расчетный период, фильтрационной способности материала дренирующего слоя и конструкции земляного полотна.

5.6. Выбор каждого конкретного мероприятия по регулированию притока должен сопровождаться технико-экономическим сравнением вариантов.

Комбинированный плоскостной горизонтальный дренаж является универсальным мероприятием для большинства участков дорог.

Поперечный дренаж мелкого заложения устраивают для поперечного перехвата воды, движущейся в дренирующем слое вдоль дороги, на участках с продольным уклоном свыше 20‰, также с затяжными продольными уклонами, превышающими поперечные, в местах вогнутых вертикальных кривых и в местах уменьшения продольных уклонов.

5.7. Дренирующий слой, работающий по принципу осушения, необходимо устраивать из песчаных грунтов или высокопроницаемой скелетной смеси (щебня или гравия) открытого типа (с незаполненными пустотами), отвечающих определенным требованиям по водопроницаемости, и укладывать этот слой под дорожной одеждой на всю ее ширину. При этом необходимо обеспечить выходы дренирующего слоя на откос. Дренирующий слой устраивают также с дренажными трубами для сбора и быстрого отвода воды за пределы земляного полотна. Следует предусматривать противозаиливающую защиту дрен и дренирующих слоев, а также недопущение замерзания воды в выпусках труб.

При устройстве дренирующих слоев, работающих по принципу поглощения, требуется устраивать более мощные слои из песчаного грунта и принимать в расчет на прочность дорожной одежды значения прочностных характеристик песчаного грунта с учетом более продолжительного периода его нахождения в неблагоприятном расчетном состоянии.

5.8. Для устройства дренирующего слоя, работающего по принципу осушения, следует применять материалы с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сут. Материал с коэффициентом фильтрации 1 – 2 м/сут целесообразно применять на участках, где он одновременно выполняет дренирующие и морозозащитные функции.

Расчет дренирующего слоя

5.9. Целью расчета дренажной конструкции является определение требуемой толщины дренирующего слоя из дискретных материалов. При проектировании дренирования дорожных одежд в районах сезонного промерзания грунтов учитываются два расчетных этапа работы дренажных конструкций. Первый относится к периоду, когда основание дорожной одежды под серединой проезжей части уже оттаяло, а дренирующий слой у ее краев находится еще в мерзлом состоянии, и водоотводящие устройства не работают.

Второй расчетный этап относится ко времени, когда дренирующий слой полностью оттаял и водоотводящие устройства начали нормально работать.

5.10. В зависимости от конкретных условий дренажная конструкция может быть рассчитана на один из трех вариантов работы:

- работа на осушение;
- работа на осушение с периодом запаздывания отвода воды;
- работа на поглощение.

5.11. Полную толщину дренирующего слоя определяют по формуле:

$$h_п = h_{нас} + h_{зап}, \qquad (5.1)$$

где $h_{нас}$ – толщина слоя, полностью насыщенного водой, м;

$h_{зап}$ – дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала и равная для песков крупных 0,10– 0,12 м, средней крупности 0,14–0,15 м и мелких 0,18–0,20 м. Во всех случаях полную толщину дренирующего слоя следует принимать не менее 0,20 м.

5.12. Для дренирующего слоя, работающего по принципу осушения величину $h_{нас}$ устанавливают с помощью номограмм рис. 5.1 и 5.2 в зависимости от длины пути фильтрации L и расчетной величины притока воды в дренирующий слой на 1 м^2 $q_р$, определяемой по формуле:

$$q_р = q\, K_п\, K_г\, K_{вог} K_р : 1000, \qquad [м^3/м^2], \qquad (5.2)$$

где q – осредненное (табличное) значение притока воды в дренирующий слой при традиционной конструкции дорожной одежды, отнесенное к 1 м^2 проезжей части, м^3/м^2 (табл.5.3);

$K_п$ – коэффициент «пик», учитывающий неустановившийся режим поступления воды из-за неравномерного оттаивания и выпадения атмосферных осадков (табл. 5.4);

$K_г$ – коэффициент гидрологического запаса, учитывающий снижение фильтрационной способности дренирующего слоя в процессе эксплуатации дороги (табл. 5.4);

$K_{вог}$ – коэффициент, учитывающий накопление воды в местах изменения продольного уклона, определяемый при одинаковом направлении участков профиля у перелома по номограмме рис.5.3;

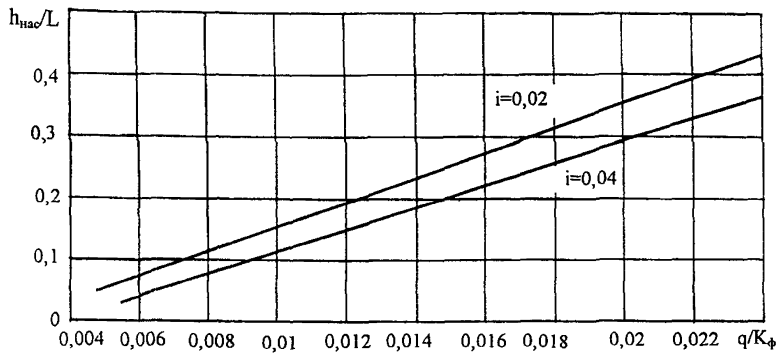


Рис. 5.1. Номограмма для расчета толщины $h_{нас}$ дренирующего слоя из песков мелких и средней крупности, а также крупнозернистых с коэффициентом фильтрации менее 10 м/сут. При односкатном поперечном профиле $q' = q_p B$ [м³/м]; при двухскатном поперечном профиле $q' = 0{,}5 q_p B$ [м³/м]; B–ширина проезжей части, м; L–длина пути фильтрации, равный B при односкатном профиле и 0,5B при двухскатном

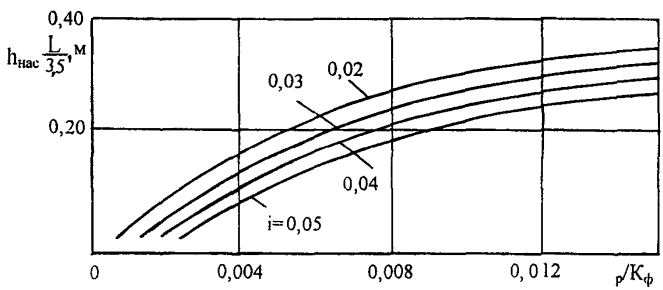


Рис. 5.2. Номограмма для расчета дренирующего слоя из крупных песков с коэффициентом фильтрации более 10 м/сут
L – длина пути фильтрации в м, равная B при односкатном профиле и 0,5B при двухскатном; i– поперечный уклон низа дренирующего слоя; $K_ф$– коэффициент фильтрации, м/сут

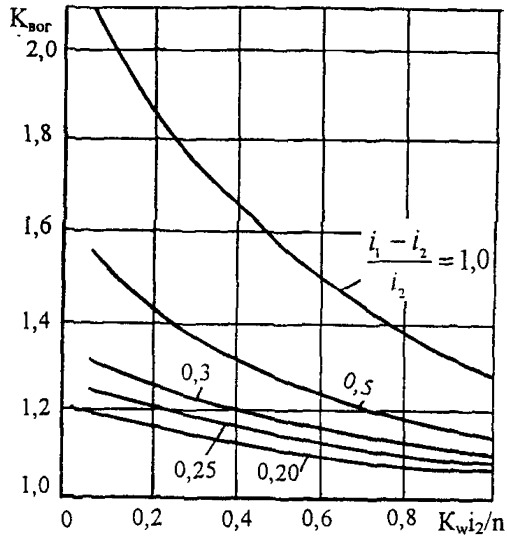


Рис. 5.3. Номограмма для определения коэффициента $K_{вог}$ увеличения объема воды в дренирующем слое в местах изменения вогнутого профиля: i_1, i_2 – продольные уклоны выше и ниже перелома профиля; $K_ф$ – коэффициент фильтрации, м/сут; n – коэффициент пористости дренирующего слоя

$K_р$ – коэффициент, учитывающий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплового режима (табл.5.5).

Таблица 5.3

Дорожно-климатическая зона	Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна	Объем воды, поступающей в основание дорожной одежды			
		Супесь легкая и песок пылеватый	Суглинок и глина	Суглинок пылеватый	Супесь пылеватая
II	1	15/2,5	20/2	35/3	80/3,5
	2	25/3	50/3	80/4	130/4,5
	3	60/3,5	90/4	130/4,5	180/5
III	1	10/1,5	10/1,5	15/2	30/3
	2	15/2	25/2	30/2,5	40/3
	3	25/2,5	40/2,5	50/3,5	60/4
IVи V	3	20/2	20/2	30/2,5	40/3

Примечания: *1. В числителе дан общий объем воды Q (в литрах на квадратный метр), поступающий в основание за весь расчетный период, в знаменателе – за сутки (q). Для насыпей, возведенных из непылеватых грунтов, высотой более, чем требуется по СНиП (табл. 5.2), во II дорожно-климатической зоне принимают q = 1,5 л/(м^2·сут).*

2. При наличии разделительной полосы для участков, проходящих в нулевых отметках, насыпей высотой менее, чем требуется по СНиП, во II зоне расчетные значения q повышают на 20%.

Таблица 5.4

Дорожно-климатическая зона	Схема увлажнения	$К_п$ для непылеватых грунтов	Пылеватые грунты	
			$К_п$	$К_г$
II	1	1,5	1,5	1,0/1,0
II	2	1,5	1,6	1,2/1,2
	3	1,6	1,7	1,3/1,2
III	1	1,4	1,5	1,0/1,0
	2	1,4	1,5	1,1/1,0
	3	1,5	1,6	1,2/1,1
III и IV	3	1,5	1,3	1,1/1,0

Примечания: *1. Для непылеватых грунтов* $К_г = 1,0$.

2. В числителе указаны значения $К_г$ *для дорог I и II категорий, а в знаменателе– для III и IV категорий.*

Таблица 5.5

Коэффициент уменьшения притока воды в дренирующий слой $К_р$

Мероприятие	Дорожно-климатическая зона	Грунт		
		Супесь	Легкий суглинок	Тяжелый суглинок, глины
Укрепление обочин (по отношению к неукрепленным) в условиях 1-й схемы увлажнения	II	0,45	0,30	0,15
	III	0,40	–	–
	IV	0,35	–	–
Монолитные слои основания с пористостью материала до 5%	I, II, III	0,10	0,10	0,10

5.13. Полная толщина дренирующего слоя, работающего по принципу поглощения, определяется по формуле:

$$h_п = (Q /(1000n) + 0,3\ h_{зап}):(1 - \varphi_{зим}), \quad (5.3)$$

где Q – расчетное количество воды в л/м^2, накапливающейся в дренирующем слое за весь расчетный период (табл.5.3);

$\varphi_{зим}$ – коэффициент заполнения пор влагой в материале дренирующего слоя к началу оттаивания (табл. 5.6);

n – пористость материала, в долях единицы.

5.14. Дренирующий слой в конструкции с прикромочным дренажем, усиливающим процесс движения воды в песке мелком и средней крупности, рассчитывают с помощью номограмм (рис. 5.4).

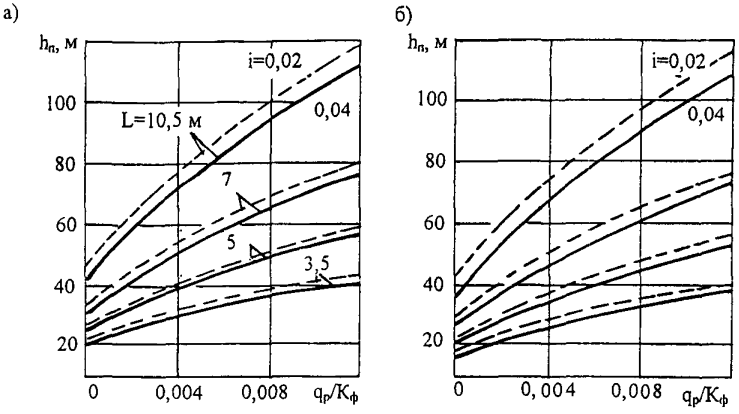


Рис. 5.4. Номограмма для расчета дренирующего слоя в конструкции с прикромочным дренажем:
а – мелкий песок; б – песок средней крупности

По номограммам рис.5.1, 5.2 и 5.4 можно также определять требуемые значения коэффициента фильтрации дренирующего слоя при известных других параметрах дренажной конструкции.

5.15. Полную толщину дренирующего слоя (в метрах), работающего по принципу осушения с периодом запаздывания отвода воды, достаточную для временного размещения в его порах поступающей в конструкцию в начальный период ее оттаивания воды, определяют по формуле:

$$h_п = (q_р T_{зап} / n + 0{,}3\, h_{зап}):(1 - \varphi_{зим}), \qquad (5.4)$$

где $T_{зап}$ – средняя продолжительность запаздывания начала работы водоотводящих устройств, принимаемая для II дорожно-климатической зоны равной 4 – 6 сут, для III дорожно-климатической зоны равной 3 – 4 сут (большее значение – для мелких песков);

$\varphi_{зим}$ –коэффициент заполнения пор влагой в материале дренирующего слоя к началу оттаивания (табл. 5.6);

$q_р$ – расчетное значение воды, поступающей за сутки (формула).

Таблица 5.6.

Толщина дренирующего слоя, см	Значение $\varphi_{зим}$ во II дорожно-климатической зоне при пористости n, равной			
	0,4	0,36	0,32	0,28
До 20	0,4	0,5	0,6	0,7
20–40	0,35	0,4	0,5	0,6
Более 40	0,3	0,35	0,45	0,55

Примечание. *В III дорожно-климатической зоне величину $\varphi_{зим}$ следует уменьшить на 20%.*

5.16. На участках, где длина пути фильтрации L >10 м, дренирующий слой должен быть рассчитан на поглощение всего количества воды, поступающей за весь расчетный период.

За длину пути фильтрации принимается половина ширины дренирующего слоя при двускатном поперечном профиле и полная ширина дренирующего слоя при односкатном.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
(обязательное)

РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ

П.1.1. При проектировании дорожных одежд в качестве расчетных принимают нагрузки, соответствующие предельным нагрузкам на ось расчетного двухосного автомобиля.

Если в задании на проектирование расчетная нагрузка не оговорена специально, за расчетную принимают нагрузку, соответствующую расчетному автомобилю группы А (табл.П.1.1).

Таблица П.1.1

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на ось, кН	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля, $Q_{расч.}$, кН	Расчетные параметры нагрузки	
			P, МПа	D, см
A_1	100	50	0,60	37/33
A_2	110	55	0,60	39/34
A_3	130	65	0,60	42/37

Примечание: *В числителе – для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного.*

П.1.2. Данные о нагрузках, передаваемых на дорожное покрытие выпускаемыми серийно автотранспортными средствами следует принимать по специальным справочникам.

П.1.3. Значение суммарного коэффициента приведения определяют по формуле:

$$S_{m\,сум} = \sum_{1}^{n} S_n, \qquad (П.1.1)$$

где n – число осей у данного транспортного средства, для приведения которого к расчетной нагрузке определяется коэффициент $S_{m\,сум}$;

S_n – коэффициент приведения номинальной динамической нагрузки от колеса каждой из n осей транспортного средства к расчетной динамической нагрузке.

П.1.4. Коэффициенты приведения нагрузок S_n определяют по формуле:

$$S_n = \left(\frac{Q_{дn}}{Q_{драсч}} \right)^{\beta}, \qquad (П.1.2)$$

где $Q_{дп}$ – номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие;

$Q_{драсч}$ – расчетная динамическая нагрузка от колеса на покрытие;

β – показатель степени, принимаемый равным:

4,4 – для капитальных дорожных одежд;

3,0 – для облегченных дорожных одежд;

2,0 – для переходных дорожных одежд.

П.1.5. Номинальная динамическая нагрузка $Q_{дп}$ определяется по паспортным данным на транспортное средство с учетом распределения статических нагрузок на каждую ось:

$$Q_{дп} = K_{дин} \cdot Q_{п}, \qquad (П.1.3)$$

где $K_{дин}$ – динамический коэффициент, принимаемый равным 1,3;

$Q_{п}$ – номинальная статическая нагрузка на колесо данной оси.

При определении расчетного значения номинальной статической нагрузки для многоосных автомобилей фактическую номинальную нагрузку на колесо, определяемую по паспортным данным, следует умножать на коэффициент $К_{с}$, вычисляемый по формуле:

$$K_{c} = a - в\sqrt{Б_{т} - c}, \qquad (П.1.4)$$

где $Б_{т}$ – расстояние в метрах между крайними осями автотранспортного средства;

a, $в$, c – параметры, определяемые в зависимости от капитальности дорожной одежды и числа осей тележки по таблице 1.2.

Таблица П.1.2.

Тележки	а	в	с
Двухосные	1,7/1,52	0,43/0,36	0,5/0,5
Трехосные	2,0/1,60	0,46/0,28	1,0/1,0

Примечание. *В числителе – для капитальных и облегченных типов дорожных одежд, в знаменателе – для переходных.*

П.1.6. 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 $Q_{п}$;

- умножив полученные значения Q_n и расчетную нагрузку $Q_{расч}$ на динамический коэффициент, находят величины номинальных динамических нагрузок $Q_{дп}$ от колеса для каждой оси и величину расчетной динамической нагрузки $Q_{драсч}$;
- по формуле (П.1.2) вычисляют коэффициент приведения номинальной нагрузки от колеса каждой из осей S_n к расчетной;
- по формуле (П.1.1) вычисляют суммарный коэффициент приведения нагрузки от рассматриваемого типа автомобиля к расчетной нагрузке.

П.1.7. Допускается приближенно принимать суммарный коэффициент приведения $S_{m\ сум}$ по данным таблицы П.1.3.

Таблица П.1.3

Типы автомобилей	Коэффициент приведения к расчётной нагрузке $S_{m\ сум}$
Легкие грузовые автомобили грузоподъёмностью от 1 до 2 т	0,005
Средние грузовые автомобили грузоподъёмностью от 2 до 5 т	0,2
Тяжёлые грузовые автомобили грузоподъёмностью от 5 до 8 т	0,7
Очень тяжёлые грузовые автомобили грузоподъёмностью более 8 т	1,25
Автобусы	0,7
Тягачи с прицепами	1,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(справочное)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА РАБОЧЕГО СЛОЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПРИ РАСЧЕТЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА ПРОЧНОСТЬ

А. Определение расчетной влажности грунта рабочего слоя

Расчетную влажность дисперсного грунта W_p (в долях от влажности на границе текучести W_m) при суммарной толщине слоев дорожной одежды $Z_1 \geq 0{,}75$ м определяют по формуле:

$$W_p = (\overline{W}_{таб} + \Delta_1 \overline{W} - \Delta_2 \overline{W})(1 + 0{,}1t) - \Delta_3, \qquad (П.2.1)$$

где $\overline{W}_{таб}$ – среднее многолетнее значение относительной (в долях от границы текучести) влажности грунта, наблюдавшееся в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна, отвечающего нормам СНиП по возвышению над источниками увлажнения, на дорогах с усовершенствованными покрытиями и традиционными основаниями дорожных одежд (щебень, гравий и т.п.), и при суммарной толщине одежды до 0,75 м, определяемое по табл. П.2.1 в зависимости от дорожно-климатической зоны и подзоны (рис.П.2.2), схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта;

$\Delta_1 \overline{W}$ – поправка на особенности рельефа территории, устанавливаемая по табл. П.2.2;

$\Delta_2 \overline{W}$ – поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин, устанавливаемая по табл. П.2.3;

Δ_3 – поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды, устанавливаемая по графику рис.П.2.1;

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности по табл. П.4.2 Приложения 4.

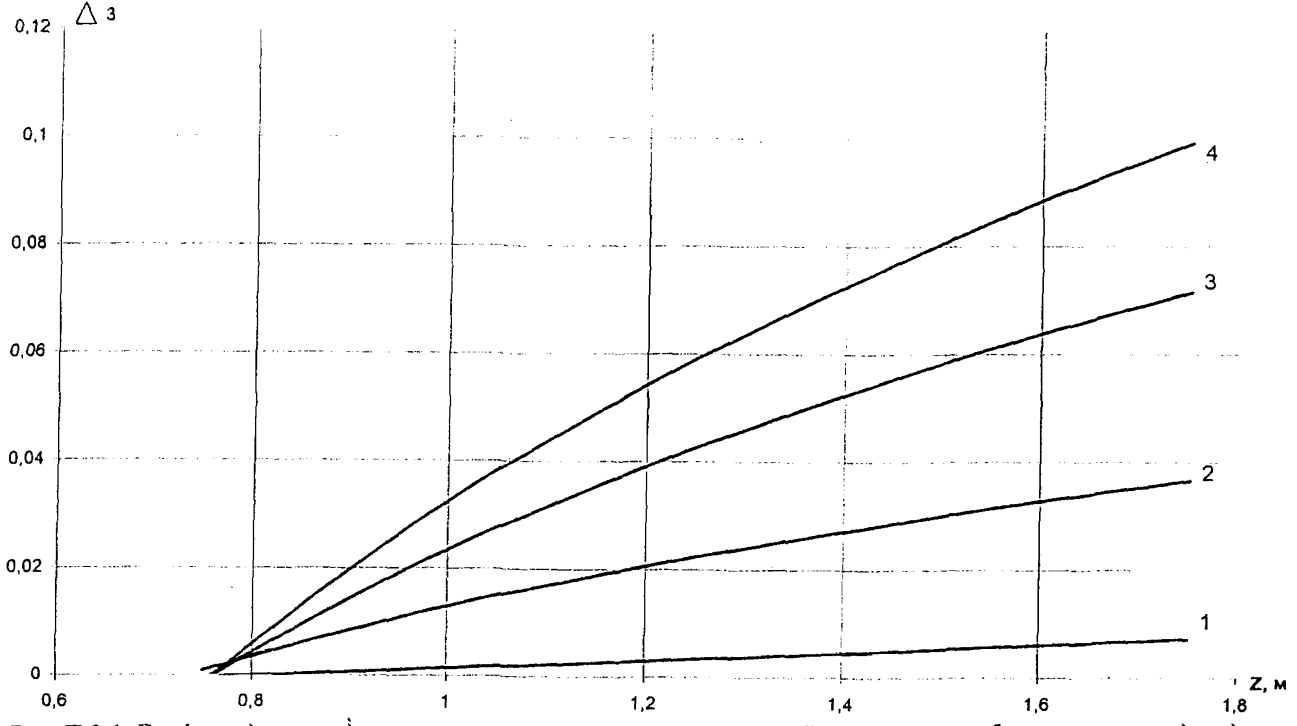


Рис. П.2.1. Графики для определения поправки на влияние суммарной толщины стабильных слоев одежды: 1 - для исходной относительной влажности 0,75Wm; 2 - то же, для 0,80Wm; 3 - то же, для 0,85 Wm; 4 - то же, для 0,90Wm.*

**Исходная влажность определяется первым слагаемым в выражении (П.2.1).*

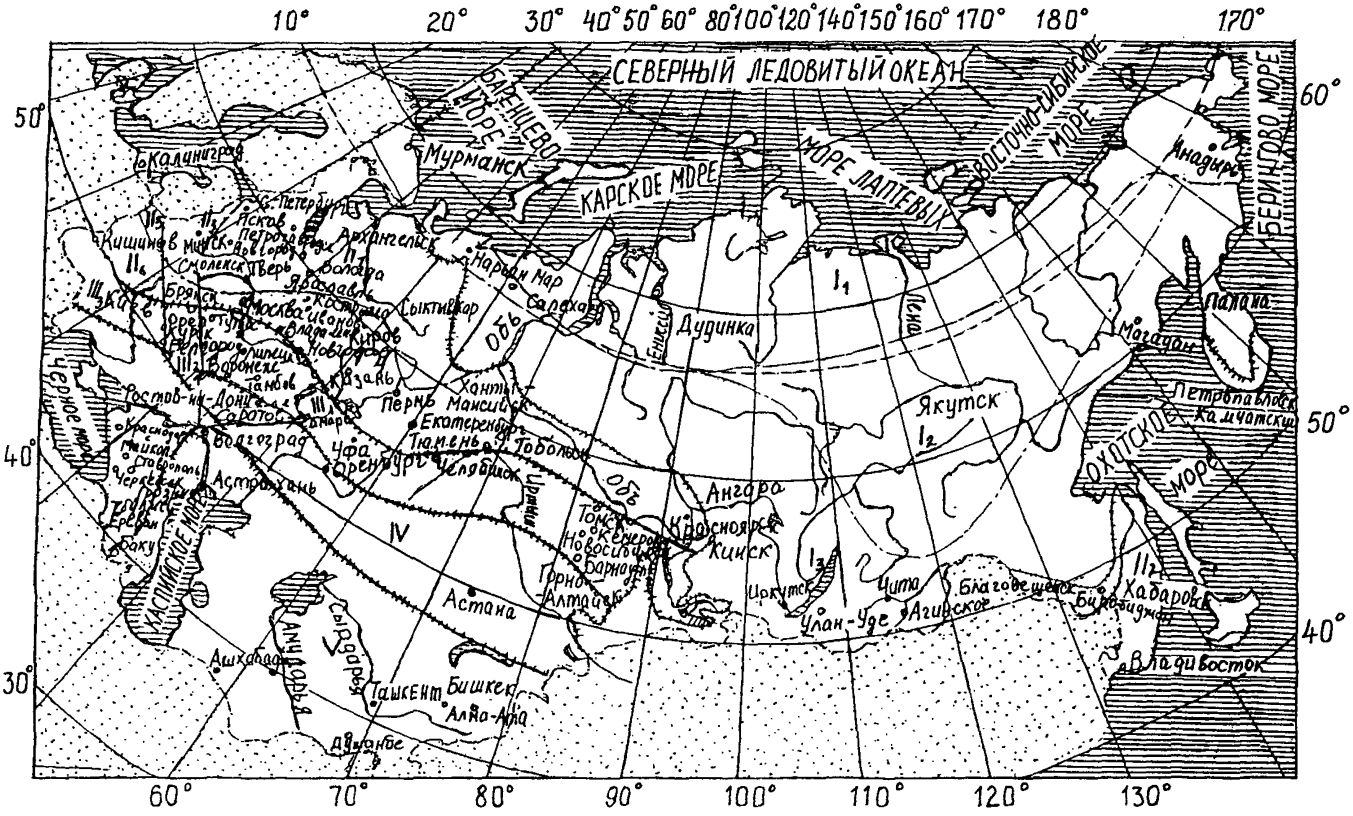


Рис. П.2.2. Карта дорожно-климатических зон и подзон:

– Границы дорожно-климатических зон; – Границы дорожно-климатических подзон

Определение расчетной влажности грунта на основе непосредственных испытаний на влагопроводность

Величина $W_{осср}$ определяется в зависимости от $t_{вл}$, $h_в$ и $К_{вл}$. Эти характеристики объединены в т.н. критерий осеннего влагонакопления ($F_{он}$) в виде:

Таблица П.2.1

Дорожно-климатические зоны	Дорожно-климатические подзоны	Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна	Среднее значение влажности $\overline{W}_{таб}$ грунта, доли от W_T			
			супесь легкая	песок пылеватый	суглинок легкий	супесь пылеватая и суглинок пылеватый
1	2	3	4	5	6	7
I	I_1	1	0,53	0,57	0,62	0,65
		2	0,55	0,59	0,65	0,67
		3	0,57	0,62	0,67	0,70
	I_2	1	0,57	0,57	0,62	0,65
		2	0,59	0,62	0,67	0,70
		3	0,62	0,65	0,70	0,75
	I_3	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,62	0,65	0,70	0,75
		3	0,65	0,70	0,75	0,80
II	II_1	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
	II_2	1	0,57	0,59	0,62	0,67
		2	0,60	0,62	0,65	0,70
		3	0,62	0,64	0,67	0,72
	II_3	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
	II_4	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
	II_5	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
	II_6	1	0,62	0,64	0,67	0,72
		2	0,65	0,67	0,70	0,75
		3	0,67	0,69	0,72	0,77

Продолжение табл. П. 2.1

1	2	3	4	5	6	7
III	III_1	1	0,55	0,57	0,60	0,63
		2-3	0,59	0,61	0,63	0,67
	III_2	1	0,58	0,60	0,63	0,66
		2-3	0,62	0,64	0,66	0,70
	III_3	1	0,55	0,57	0,60	0,63
		2-3	0,59	0,61	0,63	0,67
IV	1		0,53	0,55	0,57	0,60
	2-3		0,57	0,58	0,60	0,64
V	1		0,52	0,53	0,54	0,57
	2-3		0,55	0,56	0,57	0,60

Примечание. *Табличными значениями* $\overline{W}_{таб}$ *можно пользоваться только при обеспечении возвышения земляного полотна в соответствии со СНиП. На участках, где возвышение не обеспечивается (например, в нулевых местах и в выемках с близким залеганием грунтовых вод), величина* $\overline{W}_{таб}$ *назначается индивидуально по данным прогнозов, но она должна быть не менее чем на 0,03 выше табличных значений.*

Таблица П.2.2

№ п/п	Тип местности по рельефу	Поправка $\Delta_1 \overline{W}$
1.	Равнинные районы	0,00
2.	Предгорные районы (до 1000 м в.у.м.)	0,03
3.	Горные районы (более 1000 м в.у.м.)	0,05

Таблица П.2.3

№ п/п	Конструктивная особенность	Поправка $\Delta_2 \overline{W}$ в дорожно-климатических зонах			
		II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6
1.	Наличие основания дорожной одежды, включая слои на границе раздела с земляным полотном, из укрепленных материалов и грунтов:				
	- крупнообломочного грунта и песка	0,04	0,04	0,03	0,03
	- супеси	0,05	0,05	0,05	0,04
	- пылеватых песков и супесей, суглинка, зологрунта	0,08	0,08	0,06	0,05

Продолжение табл. П. 2.3

1	2	3	4	5	6
2.	Укрепление обочин (не менее 2/3 их ширины):				
	- асфальтобетоном	0,05	0,04	0,03	0,02
	- щебнем (гравием)	0,02	0,02	0,02	0,02
3.	Дренаж с продольными трубчатыми дренами	0,05	0,03	–	–
4.	Устройство гидроизолирующих прослоек из полимерных материалов	0,05	0,05	0,03	0,03
5.	Устройство теплоизолирующего слоя, предотвращающего промерзание	Снижение расчетной влажности до величины полной влагоемкости при требуемом $K_{упл.}$ грунта			
6.	Грунт в активной зоне земляного полотна в «обойме»	Снижение расчетной влажности до оптимальной			
7.	Грунт, уплотненный до $K_{упл}$=1,03÷1,05 в слое 0,3-0,5 м от низа дорожной одежды, расположенном ниже границы промерзания	–	0,03-0,05	0,03-0,05	0,03-0,05

Примечание. *Поправки $\Delta_2 \overline{W}$ при мероприятиях по п.п.1 и 2 следует принимать только при 1-й схеме увлажнения рабочего слоя, а по п. 5 – при 2-й и 3-й схемах.*

Б. Рекомендуемые нормативные значения механических характеристик грунтов и песчаных конструктивных слоев

Таблица П.2.4

Нормативные значения сдвиговых характеристик глинистых грунтов в зависимости от расчетного числа приложений расчетной нагрузки

Расчетная относительная влажность	Сцепление, МПа при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)					Угол внутреннего трения, град. при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)				
	1	10^3	10^4	10^5	10^6	1	10^3	10^4	10^5	10^6
Суглинки и глины										
0,60	0,030	0,030	0,016	0,014	0,012	24	20	14,5	11	9
0,65	0,024	0,019	0,013	0,011	0,009	21	15	11	8	7
0,70	0,019	0,013	0,009	0,007	0,006	18	11,5	8,5	6,5	5,5
0,75	0,015	0,009	0,006	0,005	0,004	15	10	7,5	5	4
0,80	0,011	0,007	0,005	0,003	0,002	13	8	5	3	2,5
0,90	0,008	0,004	0,004	0,002	0,001	11,5	6,5	3,5	2,2	2
Супеси										
0,6	0,014	0,012	0,008	0,006	0,005	36	24	18	14	12
0,65	0,013	0,010	0,008	0,006	0,004	36	23,5	17	14	12
0,70	0,012	0,009	0,006	0,005	0,004	35	23,5	17	14	12
0,75	0,011	0,008	0,005	0,004	0,003	35	23	17	14	12
0,80	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	34	23	17	14	12
0,85	0,009	0,007	0,004	0,003	0,003	34	22	15	12	10
0,90	0,008	0,004	0,003	0,003	0,003	33	21	12,5	10	8

Примечание. *Значение сдвиговых характеристик при $\Sigma N_p = 1$ используются при расчете на статическое действие нагрузки. При $\Sigma N_p > 10^6$ расчетные значения φ и c следует принимать по столбцу «10^6».*

Таблица П.2.5

Нормативные значения модулей упругости грунтов

Грунт	Модуль упругости, при относительной влажности W/W_m, МПа									
	0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Пески:										
• крупные	130									
• средней крупности	120									
• мелкие	100									
• однородные	75									
• пылеватые	96	90	84	78	72	60	60	54	48	43
Супеси:										
• легкая	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
• пылеватая, тяжелая пылеватая	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
• легкая крупная	65									
Суглинки:										
• легкий, тяжелый,	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
• легкий пылеватый, тяжелый пылеватый	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
Глины	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23

Примечание. *Классификация песков дана по ГОСТ 25 100 - 95. Однородные выделяются по указаниям СНиП «Автомобильные дороги».*

Таблица П.2.6

Расчетные значения угла внутреннего трения и сцепления песчаных грунтов и песков конструктивных слоев в зависимости от расчетного числа приложения расчетной нагрузки (ΣN_p)

№№ п/п	Тип грунта	Сцепление, МПа и угол внутреннего трения, град при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)				
		1	10^3	10^4	10^5	10^6
1	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции: 0%	35 0,004	33 0,003	32 0,003	31 0,003	29 0,003
	5%	34 0,005	31 0,004	36 0,004	29 0,003	28 0,003
2	Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции: 0%	32 0,004	30 0,004	30 0,003	28 0,003	27 0,002
	5%	33 0,005	30 0,004	29 0,003	28 0,003	26 0,002
3	Песок мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции: 0%	31 0,003	28 0,003	27 0,002	26 0,002	25 0,002
	5%	31 0,005	27 0,004	26 0,004	25 0,004	24 0,003
	8%	31 0,006	27 0,005	26 0,004	25 0,003	23 0,002

Примечания: *1. Значения характеристик даны для условий полного заполнения пор водой.*

2. В числителе – угол внутреннего трения в градусах, в знаменателе – сцепление в МПа.

3. При $\Sigma N_p > A \cdot 10^6$ расчетные значения φ и c следует принимать по столбцу «10^6».

В. Дорожно-климатические зоны и подзоны

Дорожно-климатическая зона и подзона	*Примерные географические границы*
1	2
I	Севернее линии, соединяющей: Нивский – Сосновку – Новый Бор – Щельябож – Сыню – Суеватпуль – Белоярский – Ларьяк – Усть–Озерное – Ярцево – Канск – Выезжий Лог – Усть – Золотую – Сарыч – Сеп – Новоселово – Иню – Артыбаш – государственную границу – Симоново – Биробиджан – Болонь – Многовершиный. Включает географические зоны тундры, лесотундры и северо–восточную часть лесной зоны с распространением вечномерзлых грунтов
I_1	Расположена севернее линии: Нарьян–Мар – Салехард – Курейка – Трубка Удачная – Верхоянск – Дружина – Горный Мыс – Марково
I_2	Расположена восточнее линии: устье р. Нижней Тунгуски – Ербогачен, Ленск – Бодайбо – Богдарин и севернее линии: Могоча – Сковородино – Зая – Охотск – Палатка – Слаутстское. Ограничена с севера I_1 подзоной
II	От границы I зоны до линии, соединяющей: Львов – Житомир – Тулу – Н.Новгород – Ижевск – Томск – Канск. На Дальнем Востоке от границы I зоны до государственной границы. Включает географическую зону лесов с избыточным увлажнением грунтов
II_1	С севера и востока ограничена I зоной, с запада – подзоной II_3, с юга – линией Рославль – Клин – Рыбинск – Березники – Ивдель
II_2	Ограничена с севера подзоной II_1, с запада – подзоной II_4, с юга – III зоной, с востока и южной границей I зоны
II_3	С севера ограничена государственной границей, с запада – границей с подзоной II_5, с юга – линией Рославль – Клин – Рыбинск, с востока – линией Псков – Смоленск – Орел
II_4	Ограничена с севера подзоной II_3, с запада – подзоной II_6, с юга – границей с III зоной, с востока – линией Смоленск – Орел – Воронеж
II_5	С севера и запада ограничена государственной границей, с востока – линией Минск – Бобруйск – Гомель, с юга – линией Барановичи – Рославль – Клин – Рыбинск
II_6	С севера ограничена подзоной II_5, с запада – государственной границей, с юга – границей с III зоной, с востока – линией Минск – Бобруйск – Гомель

1	2
III	От южной границы II зоны до линии, соединяющей: Кишинев – Кировоград – Белгород – Самару – Магнитогорск – Омск – Бийск – Туран. Включает лесостепную географическую зону со значительным увлажнением грунтов в отдельные годы
III_1	Ограничена с севера зоной II, с запада – подзоной III_2, с юга – IV зоной, с востока – I зоной
III_2	Ограничена с севера зоной II, с запада – подзоной III_3, с юга – зоной IV, с востока – линией Смоленск – Орел – Воронеж
III_3	Ограничена с севера зоной II, с запада – государственной границей, с юга – зоной IV, с востока – линией Бобруйск – Гомель – Харьков
IV	Расположена от границы III зоны до линии, соединяющей: Джульфу – Степанакерт – Кизляр – Волгоград и далее проходит южнее на 200 км линии, соединяющей: Уральск – Актюбинск – Караганду. Включает географическую степную зону с недостаточным увлажнением грунтов.
V	Расположена к юго-западу и югу от границы IV зоны и включает пустынную и пустынно-степную географические зоны с засушливым климатом и распространением засоленных грунтов

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(справочное)

ТАБЛИЦЫ НОРМАТИВНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Слои из асфальтобетона

Таблица П.3.1

Характеристики асфальтобетонов при расчете на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками

Асфальтобетон	Расчетные значения модуля упругости E, МПа	m	α	Нормативные значения сопротивление растяжению при изгибе R_o, МПа
Высокоплотный на БНД марки:				
40/60	8600	6,0	5,0/5,6*	10,00
60/90	6000	5,5	5,2/5,9	9,80
90/130	4600	5,0	5,4/6,3	9,50
130/200	3500	4,5	5,8/6,8	9,30
200/300	2500	4,3	5,9/7,1	9,00
Плотный на БНД марки:				
40/60	6000	6,0	5,0/5,6	10,00
60/90	4500	5,5	5,2/5,9	9,80
90/130	3600	5,0	5,4/6,3	9,50
130/200	2600	4,5	5,8/6,8	9,30
200/300	2000	4,3	5,9/7,1	9,00
Пористый на БНД марки:				
40/60	3600	4,5	5,8/6,8	8,30
60/90	2800	4,3	5,9/7,1	8,00
90/130	2200	4,0	6,3/7,6	7,80
130/200	1800	3,75	6,6/8,2	7,60
200/300	1400	3,7	6,7/8,2	7,10
Высокопористый на БНД марки:				
40/60	3000	4,3	5,9/7,1	5,50/6,50**
60/90	2100	4,0	6,3/7,6	5,65/6,20
90/130	1700	3,8	6,5/7,9	5,50/ –
Холодные асфальтобетоны:				
Бх	2600	3,0	8,0/10,3	4,90
Вх	2200	2,5	9,8/13,4	4,60
Гх	1800	2,0	13,2/19,5	4,20
Дх	1500	2,0	13,2/19,5	3,90

Примечание. * – *в числителе – для II дорожно-климатической зоны, в знаменателе – для III–V дорожно-климатических зон.* ** – *для песчаного асфальтобетона.*

Таблица П.3.2

Нормативные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов различных составов (при расчете конструкции по допускаемому упругому прогибу и по условию сдвигоустойчивости)

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости Е, МПа, при температуре покрытия °С				
		+10	+20	+30	+40	+50 (60)
Плотный асфальтобетон и высокоплотный асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40/60;60/90;90/130 130/200;200/300	4400;3200;2400 1500;1200	2600;1800;1200 800;600	1550;1100;550 670;500	850;650;550 460;420	520;460;420 380;360
	Жидкого: БГ-70/130; СГ-130/200 СГ-70/130;МГ- 70/130	1000;1000 800;800	420;420 360;360	400;400 350;350	350;350 350;350	350;350 350;350
Пористый и высокопористый асфальтобетон	Вязкого БНД и БН: 40/60;60/90;90/130 130/200;200/300	2800;2000;1400 1100;950	1700;1200;800 600;450	900;700;510 400;350	540;460;380 340;330	390;360;350 340;330
Плотный дегтебетон	-	3800	1500	800	500	350
Пористый дегтебетон	-	2000	300	400	350	300
Асфальтобетоны холодные Бх	-	1300	-	-	-	-
Вх		1100				
Гх		900				
Дх		750				

Примечания: *1. Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре от 30 до 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей следует увеличить на 10%, а для крупнозернистых смесей – на 20%.*

2. При расчете на упругий прогиб принимать при t°=+10°.

Таблица П.3.3

Расчетные значения модуля упругости асфальтобетона при расчете на длительную нагрузку

Вид асфальтобетона	Тип смеси	Расчетный модуль упругости E при статическом действии нагрузки, МПа, при расчетной температуре, °С			
		+20	+30	+40	+50
Плотные смеси	А	480	420	360	300
	Б	400	350	300	250
	В	320	280	240	200
	Г	300	270	220	200
	Д	200	180	160	150
Пористые и высокопористые смеси	Крупнозернистая	360	320	280	250
	Мелкозернистая	290	250	220	200
	Песчаная	250	225	200	190
Асфальтобетоны холодные	Бх	180	-	-	-
	Вх	170	-	-	-
	Гх	160	-	-	-
	Дх	150	-	-	-

Примечание. *Модуль упругости высокоплотного асфальтобетона принимать как для плотного асфальтобетона типа А.*

Б. Конструктивные слои из органоминеральных смесей и грунтов, укрепленных органическим вяжущим

Таблица П.3.4

Конструктивные слои из щебеночно-гравийно-песчаных смесей и грунтов, обработанных органическими и комплексными вяжущими (органоминеральные смеси – ГОСТ 30491-97)

№ п.п.	Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
1	2	3
1	Щебеночно-гравийно-песчаные смеси и крупнообломочные грунты (**оптимального /неоптимального состава**) обработанные: – жидкими органическими вяжущими или вязкими, в т.ч. эмульгированными органическими вяжущими – жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными или эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными	450/350 950/700
2	Пески гравелистые, крупные, средние / пески мелкие, супесь легкая и пылеватая, суглинки легкие обработанные: – жидкими органическими вяжущими или вязкими, в т.ч. эмульгированными органическими вяжущими – жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными или эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными	430/280 700/600

Таблица П.3.5

Конструктивные слои из черного щебня

№ п/п	Материал	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
1	Черный щебень, уложенный по способу заклинки	600-900
2	Слой из щебня, устроенного по способу пропитки вязким битумом и битумной эмульсией	400-600

Примечание. *Большие значения – для покрытий, меньшие – для оснований.*

В. Конструктивные слои из щебеночно-гравийно-песчаных смесей и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами

Таблица П.3.6

Конструктивные слои из смесей щебеночно-гравийно-песчаных и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами, соответствующих ГОСТ 223558-94

№ п.п.	Материал	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
1	Щебеночно-гравийно-песчаные смеси, крупнообломочные грунты (**оптимальные/ неоптимальные**), обработанные цементом:	
	- соответствующие марке: 20	500/400
	40	600/550
	60	800/700
	75	870/830
	100	1000/950
2	То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим:	
	- соответствующие марке: 20	450/350
	40	550/500
	60	750/650
	75	870/780
	100	950/910
3	Пески гравелистые, крупные, средние / пески мелкие и пылеватые, супесь легкая и тяжелая, суглинки легкие, обработанные цементом:	
	- соответствующие марке: 20	400/250
	40	550/400
	60	700/550
	75	870/750
	100	950/870
4	То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим:	
	соответствующие марке: 20	300/200
	40	450/300
	60	600/450
	75	730/600
	100	870/750

Таблица П. 3.7

Конструктивные слои из активных материалов (шлаки, шламы, фосфогипс и др.)

№ п/п	Материал	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
1	Основание из подобранных оптимальных смесей из высокоактивных материалов с максимальной крупностью зерен до 40 мм, уплотненных при оптимальной влажности	650-870
2	То же, из активных материалов	480-700
3	Основание из рядовых неоптимальных смесей из высокоактивных материалов с максимальной крупностью 70 мм	450-650
4	То же, из активных материалов	370-480

Примечание. *1. К высокоактивным материалам относятся материалы, имеющие прочность при сжатии от 5 до 10 МПа в возрасте 90 сут.*

2. К активным материалам – материалы, имеющие прочность при сжатии от 2,5 до 5 МПа в том же возрасте.

Г. Конструктивные слои из щебеночно-гравийно-песчаных материалов, необработанных вяжущими

Таблица П. 3.8

Конструктивные слои из смесей щебеночно-гравийно-песчаных, соответствующих ГОСТ 25607-94 и ГОСТ 3344-83

Материал слоя		Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
Щебеночные / гравийные смеси (С) для покрытий :		
– непрерывная гранулометрия (ГОСТ 25607)		
при максимальном размере зерен:	$С_1$ – 40 мм	300/280
	$С_2$ – 20 мм	290/265
Смеси для оснований		
– непрерывная гранулометрия:	$С_3$ – 80 мм	280/240
	$С_4$ – 80 мм	275/230
	$С_5$ – 40 мм	260/220
	$С_6$ – 20 мм	240/200
	$С_7$ - 20 мм	260/180
Шлаковая щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков (ГОСТ 3344)		
	$С_1$ – 70 мм	275
	$С_2$ – 70 мм	260
	$С_4$ – 40 мм	250
	$С_6$ – 20 мм	210

Таблица П. 3.9

Щебеночные основания, устраиваемые методом заклинки, соответствующие ГОСТ 25607-94

Материал слоя	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
Щебень фракционированный 40-80 (80-120) мм с заклинкой:	
– фракционированным мелким щебнем	450 350
– известняковой мелкой смесью или активным мелким шлаком	400 300
– мелким высокоактивным шлаком	450 400
– асфальтобетонной смесью	500 450
– цементопесчаной смесью М75 при глубине пропитки 0,25-0,75 h слоя	450-700 350-600

Примечание. *Для слоя: в числителе – из легкоуплотняемого щебня; в знаменателе – из трудноуплотняемого щебня.*

Д. Механические характеристики теплоизоляционных слоев

Таблица П.3.10

Материал	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
Пенопласт	13,0-33,5
Стиропорбетон	500-800
Аглопоритовый щебень, обработанный вязким битумом	400
Керамзитовый гравий, обработанный вязким битумом	500
Гравий (щебень) с легкими заполнителями, обработанные вязким битумом	500
Цементогрунт с перлитом	130
То же, с полистиролом, состава: – гранулы полистирола 2-3% – песок 97-98% (% от массы) – цемент 7-6%	300
То же, с керамзитом, состава: – песок 75% – керамзит 25% – цемент 6%	300
Битумоцементогрунт с перлитом, состава: – перлитовый щебень 25-20% – песок 75-80% – цемент 4-6% – битум 12-10% (от массы песка, перлита и цемента)	250-350
Цементогрунт с аглопоритом, состава: – супесь или песок 70-80% – аглопорит 30-20% – цемент 6%	250-350
Золошлаковые смеси, укрепленные цементом	150
Грунт, укрепленный золой-уносом	200
Цементогрунт, обработанный битумной эмульсией	

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(справочное)

НАЗНАЧЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица П. 4.1.

Рекомендуемые значения коэффициента вариации

№ п/п	Характеристика	v
1	Относительная влажность грунта рабочего слоя, сцепление грунта и песчаных слоев, угол внутреннего трения грунтов и песчаных слоев, прочность асфальтобетонных слоев на растяжение при изгибе	0,10

Таблица П. 4.2

Коэффициент нормированного отклонения

$K_н$	0,85	0,90	0,95	0,98
t	1,06	1,32	1,71	2,19

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(справочное)

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица П. 5.1.

№ п/п	Материал, грунт	Плотность ρ, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(мК)
1	2	3	4
1	Асфальтобетон горячий плотный	2400	1,40
	То же, пористый	2300	1,25
	То же, высокопористый, в том числе битумопесчаная смесь (ТУ 218 РСФСР)	2200-1900	1,10-1,00
2	Аглопоритовый щебень, обработанный вязким битумом	800	0,23
3	Керамзитовый гравий, обработанный вязким битумом	1100	0,64
4	Гравий (щебень) с легкими заполнителями, обработанные вязким битумом	2000	0,52
5	Супесь, укрепленная 10%-ной эмульсией	1700-1900	1,456
6	Цементобетон	2400	1,74
7	Песок разномерный, укрепленный 10% 6-10% цемента	2100	1,86
8	Песок мелкий, одномерный, укрепленный 10% цемента	2100	1,62
9	Цементогрунт с керамзитом: песок – 75% (массы), керамзит – 25%, цемент – 5%	1500-1600	
10	Цементогрунт с гранулами полистирола: песок 97-98%, гранулы полистирола 3-2%, цемент 7-6%	1300-1500	0,41-0,58
11	Битумоцементогрунт с перлитом, состава: перлитовый щебень 25-20%, песок 75-80%, цемент 3-4%, битум 12-10% (от массы песка, перлита и цемента)	1400	0,52-0,58
12	Цементогрунт с аглопоритом, состава: – супесь или песок 70-80% – аглопорит 30-20% – цемент 6%	1700-1800	0,64-0,75
13	Шлакобетон	1600	0,58
14	Керамзитобетон	1400	0,75
15	Стиропорбетон	1000-1100	0,23
16	Слабопрочные известняки, укрепленные известью	2000	1,16

Продолжение табл. П. 5.1.

1	2	3	4
17	Суглинок, укрепленный 6-12% цемента	1750-1900	1,45
18	Суглинок, укрепленный 2-5% цемента и 6-2% известью	1800-1900	1,33
19	Супесь, укрепленная 8-10% цемента	1700-1900	1,51
20	Пенопласт	38,5-60	0,03-0,052
21	Пеноплэкс	38,5-50	0,03-0,032
22	Каменноугольная золошлаковая, укрепленная 6-8% цемента	1600	0,7
23	Шлак топочный	800	0,46
24	Щебень из гранита	1800	1,86
25	Щебень из известняка	1600	1,39
26	Гравий	1800	1,86
27	Песок крупный талый	2000	1,74
	То же, мерзлый	2000	2,32
28	Песок средней крупности талый	1950	1,91
	То же, мерзлый	1950	2,44
29	Песок мелкий талый	1850	1,91
	То же, мерзлый	1850	2,32
30	Песок пылеватый талый	1750	1,80
	То же, мерзлый	1750	2,20
31	Супесь талая	2100	1,80
	То же, мерзлая	2100	2,03
32	Суглинок и глина талые	2000	1,62
	То же, мерзлые	2000	1,97
33	Лессы талые	1500	1,51
	То же, мерзлые	1500	2,09
34	Одномерный гранитный щебень, обработанный вязким битумом	1850	1,28
35	Гравийно-песчаная смесь	2000	2,10
36	Гравийно-песчаная смесь, укрепленная 10% цемента	2000	2,02

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(справочное)

ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО СУММАРНОГО ЧИСЛА ПРИЛОЖЕНИЙ НАГРУЗКИ ЗА СРОК СЛУЖБЫ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Определение расчетного числа дней в году для вычисления суммарного числа приложения расчетной нагрузки за проектный срок службы конструкции

П.6.1. Входящие в выражения 3.6 и 3.7 раздела 3 основного текста расчетное число расчетных дней в году ($T_{рдг}$)[1] за проектный срок службы конструкции ($T_{сл}$) должно устанавливаться по данным специальных региональных исследований и закрепляться в региональных нормах, утверждаемых в установленном порядке.

При отсутствии региональных данных допускается использовать приведенные ниже рекомендации и табличные данные.

При отсутствии региональных норм на территории России допускается использовать данные рис.П.6.1 и табл.П.6.1.

Таблица П.6.1

Рекомендуемые значения $T_{рдг}$ в зависимости от местоположения дороги

Номера районов на карте	Примерные географические границы районов	Рекомендуемое количество расчётных дней в году ($T_{рдг}$)
1	2	3
1	Зона распространения вечномёрзлых грунтов севернее семидесятой параллели	70
2	Севернее линии, соединяющей Онегу–Архангельск–Мезень–Нарьян-Мар–шестидесятый меридиан–до побережья Европейской части	145
3	Севернее линии, соединяющей Минск-Смоленск-Калугу-Рязань-Саранск-сорок восьмой меридиан–до линии, соединяющей Онегу–Архангельск–Мезень–Нарьян-Мар	125

[1] 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 малосвязных слоях дорожной одежды.

Продолжение табл. П.6.1

1	2	3
4	Севернее линии, соединяющей Львов-Киев-Белгород-Воронеж-Саратов-Самару-Оренбург–шестидесятый меридиан до линии районов 2 и 3	135
5	Севернее линии, соединяющей Ростов-на-Дону–Элисту–Астрахань до линии Львов–Киев–Белгород–Воронеж–Саратов–Самара	145
6	Южнее линии Ростов-на-Дону–Элиста–Астрахань для Европейской части, южнее сорок шестой параллели для остальных территорий	205
7	Восточная и Западная Сибирь, Дальний Восток (кроме Хабаровского и Приморского краёв, Камчатской области), ограниченные с севера семидесятой параллелью, с юга сорок шестой параллелью	130-150 (меньшие значения для центральной части)
8	Хабаровский и Приморский края, Камчатская область	140

Примечания: *Значения величины $T_{рдг}$ на границах районов следует принимать по наибольшему из значений.*

П.6.2. При отсутствии региональных норм расчетный срок службы дорожной одежды допускается назначить в соответствии с рекомендациями табл.П.6.2.

Таблица П.6.2

Рекомендуемый расчетный срок службы конструкции

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Срок службы в дорожно-климатических зонах $T_{сл}$, лет		
		I,II	III	IV,V
I	Капитальные	14-15-18	15-19	16-20
II	Капитальные	11-15	12-16	13-16
III	Капитальные	11-15	12-16	13-16
	Облегченные	10-13	11-14	12-15
IV	Капитальные	11-15	12-16	13-16
	Облегченные	8-10	9-11	10-12
V	Облегченные	8-10	9-11	10-12
	переходные	3-8	3-9	3-9

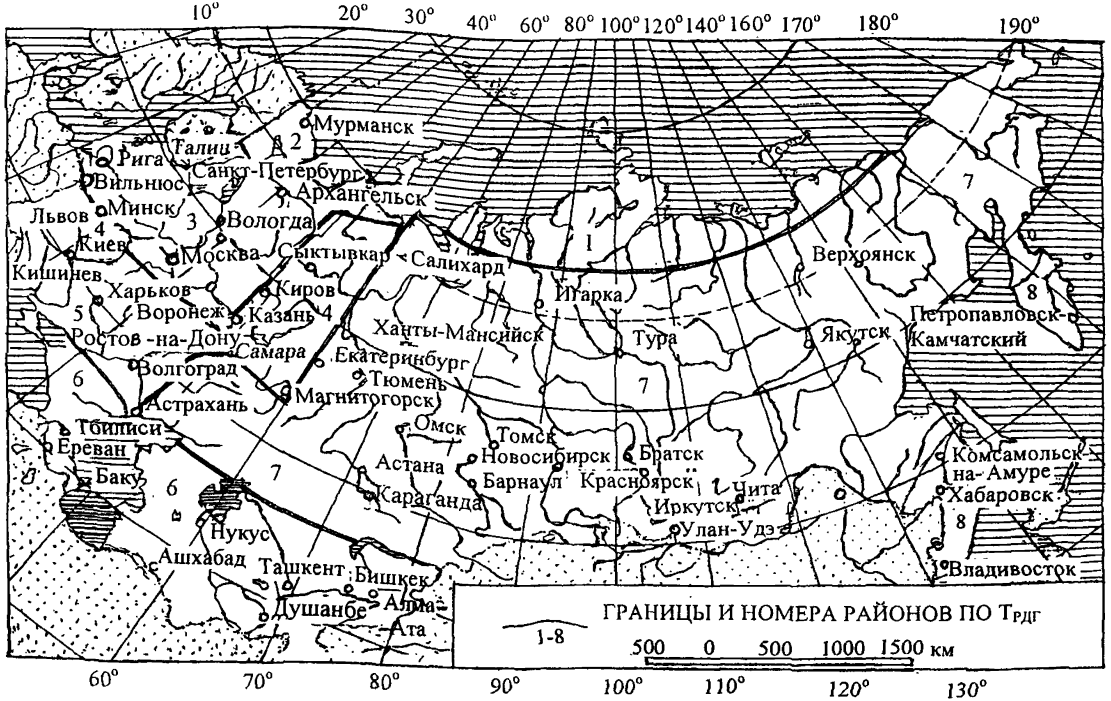


Рис. П.6.1. Карта районирования по количеству расчетных дней в году, $T_{рдг}$

П.6.3. Значение коэффициента суммирования (при отсутствии других данных) следует принимать по табл. П.6.3.

Таблица П.6.3

Показатель изменения интенсивности движения по годам, q	Значение K_c при сроке службы дорожной одежды $T_{сл}$ в годах			
	8	10	15	20
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

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(справочное)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВЛАГОПРОВОДНОСТИ ГРУНТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Методика экспериментального определения коэффициента влагопроводности грунта

Методика предусматривает определение коэффициента влагопроводности при начальных влажности и плотности за время увлажнения, необходимое для распределения влажности в образце от полной влагоемкости в единичном элементарном объеме на контактирующей с жидкостью поверхности, до начальной влажности на его границе. Увлажнение образца ведется снизу от поддерживаемого снизу уровня воды. Метод предполагает выполнение следующих граничных и начальных условий:

1. Начальная влажность и плотность грунтового образца должна быть равномерно распределены по его объему.
2. При увлажнении образца через нижнюю поверхность не допускается изменения влажности на его верхней поверхности при подходе к ней фронта увлажнения.
3. Увлажнение образца должно происходить безнапорно.

Выполнение этих условий достигается за счет применения прибора конструкции к.т.н. Г.И.Собко. Схема прибора представлена на рис.П.7.1.

Определение коэффициента влагопроводности грунта нарушенной структуры должно проводится по следующей методике.

1. Для испытания отбирается проба грунта весом 2 кг, высушивается и размельчается.
2. Определяется вид грунта, его оптимальная влажность и максимальная плотность.
3. Высушенный и размельченный грунт увлажняется до оптимальной влажности.
4. Увлажненный грунт загружается в цилиндр-грунтонос, который навинчивается на трубку и вращением рукояти с винтом уплотняется до требуемого коэффициента уплотнения.
5. Форма для фильтра наполняется крупным песком с тщательным выравниванием по внутреннему обрезу формы.

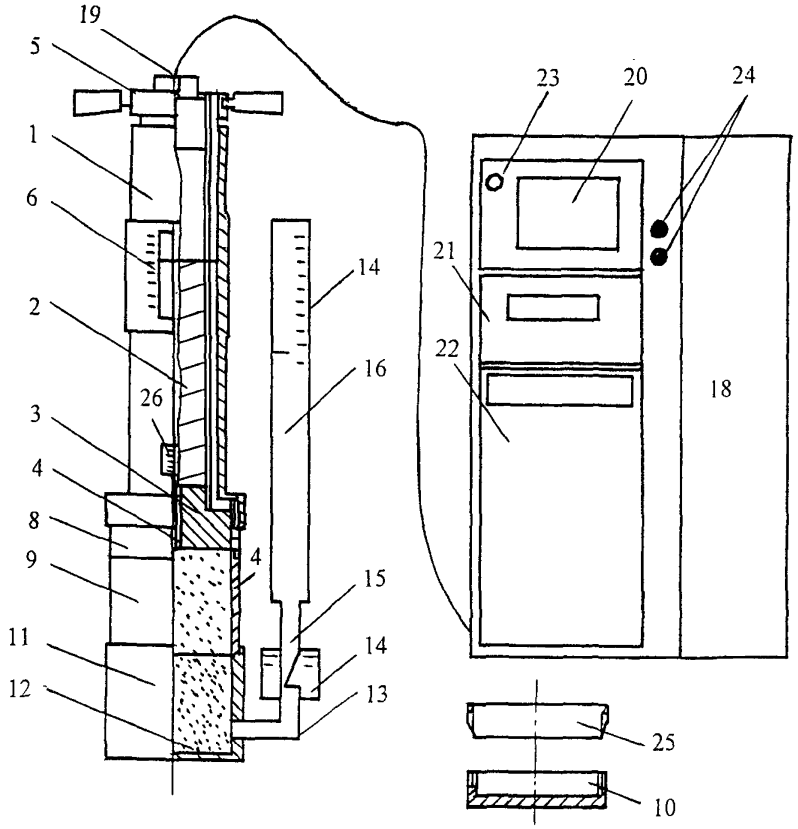


Рис. П.7.1. Схема прибора для определения коэффициента влагопроводности грунта:

1 – трубка; 2 – тарированная пружина; 3 – уплотняющий штамп; 4- плоский электрический датчик влажности; 5 – рукоятка с винтом; 6 – измерительная шкала пружины; 7 – разъемный цилиндр-грунтонос; 8 – верхняя насадка цилиндра-грунтоноса; 9 – центральная часть цилиндра-грунтоноса; 10 – съемная днищевая крышка цилиндра-грунтоноса; 11 – форма для фильтра; 12 – крупный песок; 13 – соединительная трубка; 14 – питающая камера; 15 – подводящая трубка; 16 – питающий сосуд; 17 – водомерная шкала; 18 – регистрирующий прибор; 19 – разъем трубки; 20 – микроамперметр; 21 – таймер; 22 – микроОВМ; 23 – световой индикатор; 24 – регулировочные ручки измерительного моста; 25 – режущая кромка для отбора проб грунта ненарушенной структуры; 26 – нижняя шкала трубки

6. Питающий сосуд заполняется дистиллированной водой и навинчивается на подводящую трубку питающей камеры. После стабилизации уровня воды в питающем сосуде по водомерной шкале отмечается ее исходный уровень $H_н$.
7. Цилиндр-грунтонос навинчивается на трубку так, чтобы уплотняющий штамп с датчиком влажности свободно опускался на поверхность грунтового образца.
8. К разъему трубки подсоединяется контактный шнур измерительного блока, производится его включение. Регулировочной ручкой измерительного блока стрелка миллиамперметра выводится в положение, соответствующее нулевой отметке шкалы.
9. Снимается днищевая крышка и трубка с цилиндром-грунтоносом устанавливается в форму для фильтра. Включается таймер.

Срабатывание датчика влажности, индицируемое звуковым и световым сигналоми, свидетельствует о завершении увлажнения, после чего по водомерной шкале отмечается конечный уровень воды $H_К$ в питающем сосуде. По разнице показателей $H_Н$ и $H_К$ определяется количество впитавшейся в образец грунта воды (q).

Время увлажнения образца (t) определяется по показанию таймера, автоматически останавливаемого при срабатывании датчика влажности.

Вычисление коэффициента влагопроводности $K_{ВЛ}$ грунта производится по зависимости:

$$K_{ВЛ} = \frac{4}{3{,}14 \cdot d^4 \cdot t} \cdot \left[- \frac{q}{\rho_{СК}(W_{ПВ} - W_0)} \right]^2, \qquad (П.7.1)$$

где $W_{ПВ}$ – влажность, соответствующая полной влагоемкости, (дол. ед.), вычисляется по формуле:

$$W_{ПВ} = 1/\rho_{СК} - 1/\Delta, \qquad (П.7.2)$$

где Δ – удельная плотность частиц грунта, г/см^3, равная 2,68 для супесей; 2,70 – для суглинков; 2,72 – для глин;

t – время увлажнения, час;

q – количество впитавшейся воды, г;

W_0 – начальная влажность грунта, дол.ед.;

d – диаметр грунтового образца в грунтоносном стакане, равный 2 см.

Для получения значения $К_{ВЛ}$ с требуемой доверительностью необходимо проведение не менее пяти испытаний. При этом обработка измерений должна вестись в такой последовательности:

1. вычисляется среднее экспериментальное значение коэффициента влагопроводности ($К_{ВЛСР}$) по результатам n испытаний;
2. вычисляется среднеквадратичное отклонение (S);

3. вычисляется верхняя граница для коэффициента влагопроводности, соответствующая одностороннему доверительному интервалу при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ по формуле

$$K_{ВЛ.S} = K_{ВЛСР} + t_{n-1,a} \cdot S / \sqrt{n}, \qquad (П.7.3)$$

где $t_{n-1,a}$ – коэффициент Стьюдента для уровня значимости и степени свободы α и $(n-1)$.

Использование коэффициента влагопроводности для определения величины морозного пучения и толщины теплоизолирующего слоя

В соответствии с данной методикой при прогнозировании величины морозного пучения предусматривается последовательное определение средней осенней влажности грунта рабочего слоя ($W_{осср}$), характеристики скорости промерзания (α), средней весенней влажности ($W_{весср}$). При этом учитываются продолжительность периода осеннего влагонакопления ($t_{вл}$), продолжительность периода промерзания ($t_{пр}$), расчетное удаление верха земляного полотна от уровня грунтовых (или поверхностных) вод ($h_в$), характеристика суровости зимнего периода (σ), выражаемая суммой градусо-суток отрицательной температуры воздуха. В табл. П.7.2 приведены значения $t_{вл}$, $t_{пр}$, и σ для 65 пунктов России. При отсутствии в перечне нужного пункта значение этих характеристик берутся для ближайшего по географическому расположению пункта.

Величина $W_{осср}$ определяется по формуле:

$$W_{осср} = W_о + W_{отн} (W_{пв} - W_о), \qquad (П.7.4)$$

где $W_о$ – начальная влажность грунта земляного полотна (весовая, доли единицы);

$W_{пв}$ – влажность полной влагоемкости грунта (весовая, доли единицы);

$_{\Delta}W_{отн}$ – отношение осеннего приращения влажности к максимально возможной величине приращения влажности грунта.

Величина $W_{пв}$ вычисляется из соотношения:

$$W_{пв} = \frac{1}{\rho_{сух}} - \frac{1}{\Delta}, \qquad (П.7.5)$$

где $\rho_{сух}$ – плотность сухого грунта, г/см^3;

Δ – плотность скелетных частиц грунта, находящаяся, как правило, в пределах 2,67 – 2, 73.

Величина $_{\Delta}W_{отн}$ устанавливается по номограмме рис. П.7.2 в зависимости от параметра

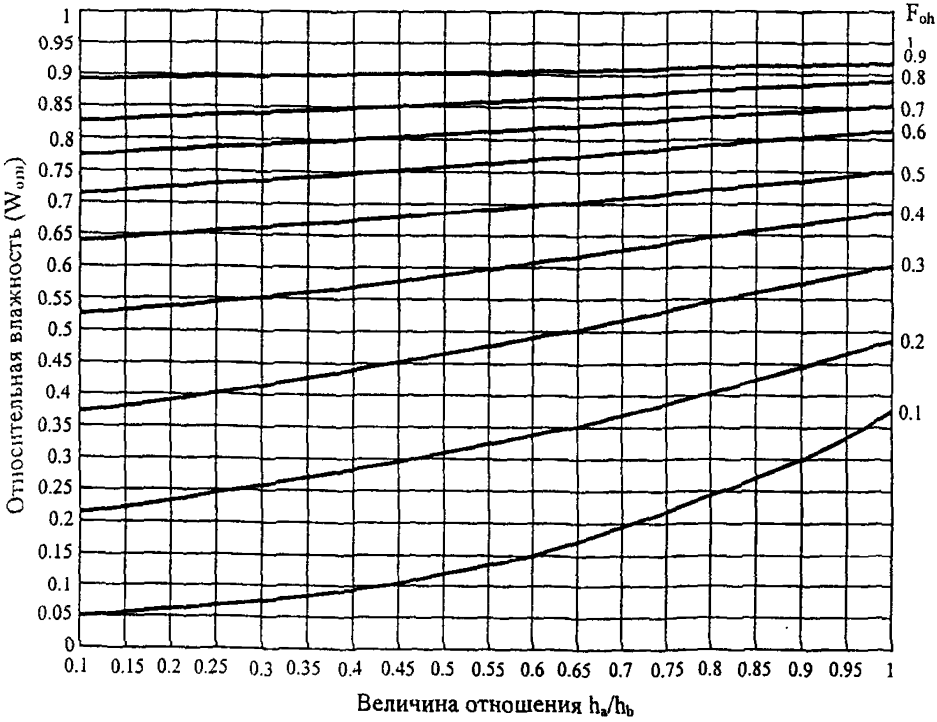


Рис. П.7.2. Номограмма для $W_{отн}$ при значениях F_{oh} от 0,1 до 1

$$F_{oh} = \frac{K_{ВЛ} \cdot t_{ВЛ}}{h_в^2} \qquad (П.7.6)$$

Параметр $h_в$ принимается по данным изысканий (обследований), а параметр h_A, необходимый для использования номограммы рис П.7.2 , определяется по формуле

$$h_A = 160 - h_{ДО}, \qquad (П.7.7)$$

где $h_{ДО}$ – суммарная толщина слоев дорожной одежды, см.

Среднее значение весенней влажности $W_{весср}$ находим из выражения:

$$W_{весср} = W_h + (W_{осср} - W_h)\ C, \qquad (П.7.8)$$

где W_h – влажность грунта по жидкой фазе в зоне первичного льдовыделения (при температуре грунта –0,5 … –1,0 °С). Значения W_h для разных грунтов приведены в таблице П.7.1;

С – коэффициент, определяемый по графику рис. П.7.3 в зависимости от величины критерия зимнего влагонакопления Z, вычисляемого, в свою очередь, из соотношения:

$$Z = \frac{\alpha}{2\sqrt{K_{ВЛ}}} \qquad (П.7.9)$$

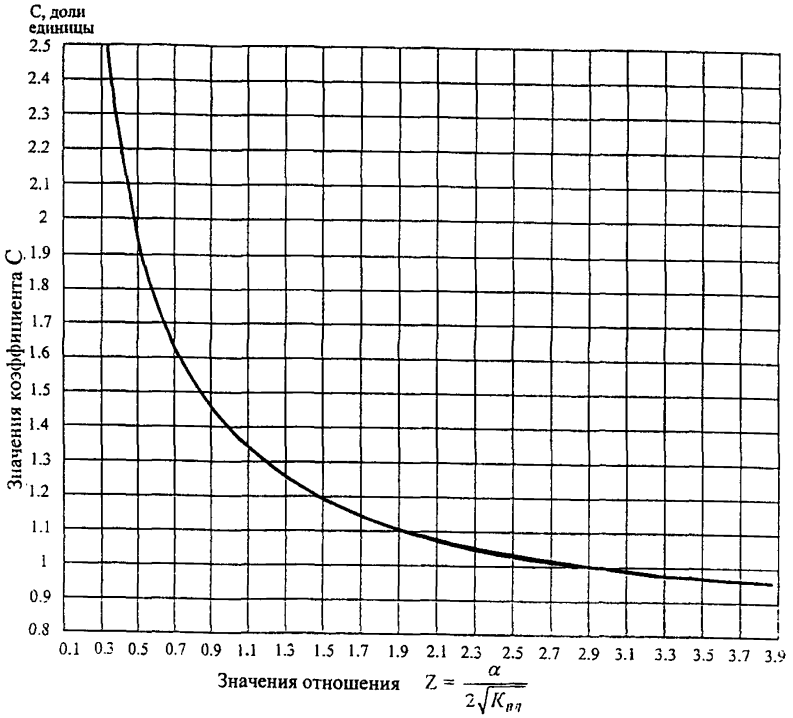


Рис. П.7.3. График для определения коэффициента С, используемого для вычисления весенней влажности

Характеристика скорости промерзания грунта земляного полотна α определяется из соотношений:

При коэффициенте влагопроводности грунта до 2,0 $см^2/ч$:.

для автомобильных дорог I – II категорий

$$\alpha = 3{,}24 + \sigma^{0{,}079} - 0{,}05 \cdot h_s, \qquad (П.7.10)$$

где h_s – толщина слоя эффективной теплоизоляции (пенопласт, пеноплэкс), см;

σ – характеристика суровости зимнего периода, определяемая для соответствующего региона из таблицы П. 7.2;

для автомобильных дорог III – IV категорий

$$\alpha = 3{,}24 + \sigma^{0{,}079} - 0{,}013 \cdot h_s, \qquad (П.7.11)$$

где h_s – толщина слоя теплоизоляции только из местных материалов (керамзит, керамзитобетон, шлак, золошлаковая смеяь, укрепленная цементом и др.);

При коэффициенте влагопроводности грунта 2,1 – 5,0 $см^2/ч$:

для дорог I – III категорий $\alpha = 1{,}24 + 0{,}72 \cdot \ln \sigma - 0{,}05 \cdot h_s$; (П.7.12)

для дорог IV – V категорий $\alpha = 1{,}24 + 0{,}72 \cdot \ln \sigma - 0{,}013 \cdot h_s$. (П.7.13)

При $F_{oh} > 1$ $W_{отн}$ практически не зависит от h_a/h_b, поэтому приводим следующую таблицу значений $W_{отн}$ в зависимости от F_{oh}.

F_{oh}	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$W_{отн}$	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99

При F_{oh} > или = 2,1можно принять, что $W_{отн} = 1$.

Таблица П.7.1

Значения влажности W_h и $W_{нз}$ для различных грунтов

Грунт	W_h	$W_{нз}$	$h_{кр}$
Песок пылеватый	0,03 – 0,04	0,02	80
Супесь тяжелая пылеватая	0,09 – 0,10	0,06	130
Суглинок легкий пылеватый	0,12 – 0,13	0,08	120
Суглинок тяжелый пылеватый	0,13 – 0,14	0,09	140
Глина пылеватая	0,19 – 0,21	0,16	150

$h_{кр}$ – критическая глубина, при которой процесс пучения прекращается. В случае, если $h_{пр} > h_{кр}$, в расчет вводят $h_{кр} = h_{пр}$.

Грунты, характеризующиеся значением коэффициента влагопроводности более 5,0 см/ч, при неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях, как правило, не должны применяться для устройства земляного полотна.

Расчет возможной величины морозного пучения поверхности дорожного покрытия ведется с использованием зависимости:

$$h_{пуч} = \frac{h_{ПР} \cdot q}{d}\left[1{,}09 \cdot (W_{ВЕССР} - W_{НЗ}) - (W_{ПВ} - W_{НЗ})\right], \quad (П.7.14)$$

где $h_{пр}$ – глубина промерзания грунта, см;

q – плотность сухого г/см^3; грунта, г/см^3;

d –плотность воды, г/см^3;

$W_{НЗ}$ – влажность (весовая), соответствующая незамерзающей воде, принимается по виду грунта из табл. П. 7.1;

$W_{ПВ}$ – влажность (весовая) полной влагоемкости, вычисляемая в свою очередь из соотношения (П.7.5).

Полная глубина промерзания грунта $h_{пр}$ определяется из следующих соотношений: при отсутствии теплоизоляционных слоев в составе дорожной одежды

$$h_{пр} = \alpha\sqrt{t_{пр} \cdot 24}\,; \qquad (П.7.15)$$

при их наличии

$$h_{пр} = (150{,}6 + 0{,}0027\cdot\sigma) - (13{,}93 - 0{,}0067\cdot\sigma)\, h_s\cdot\beta, \qquad (П.7.16)$$

где $\beta = 1$ при использовании в качестве теплоизоляции пенопласта или пеноплэкса;

$\beta = 0{,}25$ при теплоизоляции из местных материалов.

Величина отношения $W_{весср}/W_т$, где $W_т$ – влажность грунта земляного полотна на границе текучести, в соответствии с данной методикой может использоваться в качестве расчетной относительной влажности при определении прочностных и деформационных характеристик грунта рабочего слоя.

Таблица П 7.2

Климатические характеристики регионов России

Условные обозначения: $t_{вл}$ – продолжительность периода осеннего влагонакопления, часы; $t_{пр}$ – продолжительность периода промерзания, сутки; σ - сумма градусочасов отрицательной температуры, умноженная на 0,001

Пункт	$t_{вл}$	$t_{пр}$	σ
Александровск	840	230	63.30
Архангельск	672	261	55.12
Багдарин	960	310	169.14
Белгород	1392	137	16.22
Белогорка(Ленинградской)	1056	250	36.00
Бисерть(Свердловской)	648	283	73.35
Валдай	1176	234	36.69
Владимир	528	240	44.16
Вологда	1464	199	38.21
Воронеж	1176	124	15.28
Вятка	936	232	55.31
Енисейск	816	262	109.41
Иваново	720	254	48.36
Ивдель (Свердловской)	1296	182	47.17
Ижевск	384	251	58.63
Иркутск	1512	264	98.42
Йошкар-Ола	240	259	59.26

Окончание табл. П 7.2

Казань	384	263	53.02
Калининград	1776	245	52.92
Калуга	1320	225	10.44
Кандалакша	768	211	30.38
Кингисепп (Ленинградской)	1272	239	30.21
Киселевск (Кемеровской)	0	262	72.10
Кострома	1464	151	28.27
Курган	480	173	51.76
Курск	1440	139	17.12
Магадан	1872	250	70.00
Мезень	624	274	65.76
Минусинск	264	261	86.86
Москва	1248	170	28.02
Мурманск	912	255	35.90
Новгород Великий	1680	151	28.03
Нижневартовск	720	275	94.59
Нижний Новгород	1440	182	26.21
Нолинск (Кировской обл.)	312	254	57.71
Норск(Амурской)	1704	260	132.29
Огурцово (Новосибирской)	192	271	81.52
Оренбург	0	240	56.83
Парабель (Томской)	816	274	91.19
Пермь	0	192	47.00
Пенза	1152	259	50.56
Петербург	1632	160	20.48
Петрозаводск	1128	219	35.39
Порецкое (Чувашия)	480	96	48.81
Псков	1272	189	21.47
Ржев (Тверской)	1008	241	40.10
Родино (Алтайский край)	0	248	70.23
Рыбинск	1152	231	41.40
Рязань	864	193	29.64
Самара	96	206	41.20
Саранск	0	250	49.20
Саратов	168	199	36.30
Смоленск	1536	244	38.26
Сургут	624	281	94.58
Сыктывкар	600	268	69.47
Тамбов	1368	142	23.17
Тимирязевский (Примор. край)	1848	228	71.14
Тула	936	205	29.52
Улан -Уде (Бурятия)	0	238	94.44
Ульяновск	240	256	54.07
Ханты-Мансийск	672	266	85.55
Чекунда (Хабаровский край)	1800	261	141.15
Челябинск	240	173	36.54
Чита	1344	275	129.36
Чишмы (Башкортостан)	192	263	62.28

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
(справочное)

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1.

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;
- категория автомобильной дороги – I;
- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{сл} = 20$ лет;
- заданная надежность $K_н = 0,95$;
- приведенная к нагрузке типа А (Приложение 1 табл. П. 1.1) интенсивность движения на конец срока службы $N_p = 3200$ авт/сут; приращение интенсивности $q = 1,04$;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая с расчетной влажностью 0,7 $W_т$, относится к сильнопучинистым грунтам.
- материал для основания – щебеночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20.
- высота насыпи составляет 1,5 м, толщина дорожной одежды – 0,60 м.
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.
- глубина залегания грунтовых вод – 1,1 м.

Расчет на прочность.

1. Вычисляем суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы по формуле (3.6):

$$\sum N_p = 0,7\, N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} K_n,$$ где $K_c = 29,8$ (Приложение 6 табл.П.6.3).

$T_{рдг} = 125$ дней (табл.П.6.1), $K_n = 1,49$ (табл.3.3)

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 3200 \cdot \frac{29,8}{1,04^{14}} \cdot 125 \cdot 1,49 = 7\,179\,494 \text{ авт.}$$

2. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения расчетных параметров:

- для расчета по допускаемому упругому прогибу (Приложение 2 табл.П.2.5, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.9);
- для расчета по условию сдвигоустройчивости (Приложение 2 табл.П.2.4, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.6);
- для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (Приложение 3 табл.П.3.1 и Приложение 3 табл.П.3.6).

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет на доп. упруг. прогибу, Е, МПа	Расчет по усл. сдвигоуст., Е, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
					Е, МПа	Ro, МПа	α	m
1.	Асфальтобетон плотный на БНД марки 60/90	4	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
2.	Асфальтобетон пористый на БНД марки 60/90	8	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3.	Асфальтобетон высокопористый на БНД марки 60/90	22	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
4.	Укрепленная щебеночно-гравийно-песчаная смесь	26	420	420	420	-	-	-
5.	Супесь пылеватая $W_p = 0{,}7W_T$	-	46	46	46	-	-	-

3. Расчет по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме рис.3.1:

1) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{гр}}{E^{щеб}} = \frac{46}{420} = 0{,}107$

по Приложению 1 табл.П.1.1 p=0,6 МПа, D=37 см

$\frac{h_в}{D} = \frac{h^{щеб}}{D} = \frac{26}{37} = 0{,}70$

$\frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{щеб}} = 0{,}29$ $\qquad E^{щеб}_{общ} = 0{,}29 \cdot 420 = 122$ МПа

2) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{а/б_3}} = \frac{122}{2000} = 0{,}06$ $\qquad \frac{h^{а/б_3}}{D} = \frac{22}{37} = 0{,}59$

$\frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_3}} = 0{,}18$ $\qquad E^{а/б_3}_{общ} = 0{,}18 \cdot 2000 = 360$ МПа

3) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_2}} = \frac{360}{2000} = 0{,}18$ $\qquad \frac{h^{а/б_2}}{D} = \frac{8}{37} = 0{,}22$

$$\frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_2}} = 0{,}24 \qquad E_{общ}^{а/б_2} = 0{,}24 \cdot 2000 = 480 \text{ МПа}$$

4) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_1}} = \frac{480}{3200} = 0{,}15$ $\qquad \frac{h^{а/б_1}}{D} = \frac{4}{37} = 0{,}11$

$$\frac{E_{общ}}{E^{а/б_1}} = 0{,}165 \qquad E_{общ} = 0{,}165 \cdot 3200 = 528 \text{ МПа}$$

5) Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.9):

$$E_{тр} = 98{,}65[\lg(\sum N_р) - 3{,}55] = 98{,}65[\lg 7\,179\,494 - 3{,}55] = 326 \text{ МПа}$$

6) Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}}{E_{ТР}} = \frac{528}{326} = 0{,}61$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу – 1,30 (табл.3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

4. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустройчивости в грунте.

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляем по формуле (3.13):

$T = \bar{\tau}_н \cdot p$

Для определения $\bar{\tau}_н$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт (супесь пылеватая) со следующими характеристиками: (при $W_р = 0{,}7W_т$ и $\sum N_р = 7\ 179\ 494$ авт.) $E_н = 46$ МПа (табл.П.2.4), $\varphi = 12°$ и $c = 0{,}004$ МПа (табл.П.2.4).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл.П.3.2 при расчетной температуре +20°С (табл.3.5).

$$E_в = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot 30 + 420 \cdot 26}{60} = 902 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{902}{46} = 20{,}0$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{60}{37} = 1{,}62$ и при $\varphi = 12°$ с помощью номограммы (рис.3.3) находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки: $\bar{\tau}_н = 0{,}015$ МПа.

Таким образом: $T = 0{,}015 \cdot 0{,}6 = 0{,}009$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14), где C_N = 0,004 МПа, $K_д$ = 1,0.

$Z_{оп}$=4+8+22+26=60 см.

$\varphi_{ст}$=35° (Приложение 2 табл.2.4)

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^2

$T_{пр}$ = 0,004+0,1·0,002·60·tg35° = 0,0123,

где 0,1 – коэффициент для перевода в МПа.

$$K_{пр} = \frac{0,0123}{0,009} = 1,36,$$ что больше $K_{пр}^{тр} = 1,00$ (табл.3.1).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу.

5. Рассчитываем конструкцию на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Расчет выполняем в следующем порядке:

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели, где нижний слой модели – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. щебеночное основание и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя определяем по номограмме рис.3.1.

$$E_н = E_{общ}^{щеб} = 122 \text{ МПа}$$

К верхнему слою относят все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя ($h_в$=34 см) устанавливаем по формуле (3.12)

$$E_в = \frac{4500 \cdot 4 + 2800 \cdot 8 + 2100 \cdot 22}{34} = 2547 \text{ МПа}$$

б) По отношениям $\frac{h_B}{D} = \frac{34}{37} = 0,92$ и $\frac{E_в}{E_н} = \frac{2547}{122} = 20,9$ по номограмме рис.3.4 определяем $\bar{\sigma}_r = 0,75$.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (3.16):

$\bar{\sigma}_r = 0,75 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,38$ МПа.

в) Вычисляем предельное растягивающее напряжение по формуле (3.17):

при R_o=5,65 МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (табл.П.3.1)

ν_R=0,10 (табл.П.4.1)

t=1,71 (табл.П.4.2)

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}$$ (формула 3.18)

m=4; α=6,3 (табл.П.3.1); $\sum N_p$=7 179 494 авт.;

$$k_1 = \frac{6,3}{\sqrt[4]{7179494}} = 0,122$$

$k_2 = 0,85$ (табл. 3.6)

R_N=5,65·0,122·0,85(1-0,1·1,71)=0,49 МПа

г) $\frac{R_N}{\sigma_г} = \frac{0{,}54}{0{,}38} = 1{,}41$, что больше, чем $K_{пр}^{тр} = 1{,}0$ (табл.3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

Проверка конструкции на морозоустойчивость

Материал	Толщина слоя $h_{од(i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(мК) (Табл.П.5.1)
Плотный асфальтобетон	0,04	1,40
Пористый асфальтобетон	0,08	1,25
Высокопористый асфальтобетон	0,22	1,05
Укрепленная щебеночно-гравийно-песчаная смесь	0,26	2,02

1. По карте рис. 4.4. находим среднюю глубину промерзания $z_{пр(ср)}$ для условий г.Москвы и по формуле (4.3) определяем глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$:

$z_{пр} = z_{пр(ср)} \cdot 1{,}38 = 1{,}4 \cdot 1{,}38 = 1{,}93$ м ≈ 2 м.

2. Для глубины промерзания 2 м по номограмме рис. 4.3 по кривой для сильнопучинистых грунтов определяем величину морозного пучения для осредненных условий:

$l_{пр(ср)} = 8{,}5$ см.

По таблицам и графикам находим коэффициенты $К_{УГВ} = 0{,}61$ (рис. 4.1); $К_{пл} = 1{,}2$ (табл.4.4); $К_{гр} = 1{,}1$ (рис.4.5); $К_{нагр} = 0{,}92$ (рис.4.2); $К_{вл} = 1{,}1$ (рис.4.6)

По формуле 4.2 находим величину пучения для данной конструкции:

$l_{пуч} = l_{пуч(ср)} \cdot К_{УГВ} \cdot К_{пл} \cdot К_{гр} \cdot К_{нагр} \cdot К_{вл} = 8{,}5 \cdot 0{,}61 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}92 \cdot 1{,}1 = 6{,}9$ см.

Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения согласно табл. 4.3 составляет 4 см, следует назначить морозозащитный слой и выполнить расчет его толщины.

3. Предварительно ориентировочно определяем необходимую толщину морозозащитного слоя при допустимой величине морозного пучения $l_{доп} = 4$ см.

Для этого определяем величину морозного пучения для осредненных условий, при которой пучение для данной конструкции не превышает 4 см:

$l_{пуч.ср} = l_{(доп)} / (К_{УГВ} \cdot К_{пл} \cdot К_{гр} \cdot К_{нагр} \cdot К_{вл}) = 4 : (0{,}61 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}92 \cdot 1{,}1) = 4{,}9$ см.

По номограмме рис. 4.3 определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{од} = 0{,}92$ м, отсюда толщина морозозащитного слоя $h_{мрз} = 0{,}92 - 0{,}60 = 0{,}32$ м.

Для уточнения требуемой толщины морозозащитного слоя выполняем расчеты с учетом теплофизических характеристик отдельных слоев (Табл.П.5.1). Задаемся $h_{мрз} = 0{,}30$ м.

4. Для использования в морозозащитном слое назначаем мелкозернистый песок с коэффициентами теплопроводности $\lambda_г$ = 1,91 Вт/(мК) и $\lambda_м$ = 2,32 Вт/(мК) соответственно в талом и мерзлом состояниях и определяем $\lambda_{ср}$:

$\lambda_{ср}$ =(1,91 + 2,32)/2 = 2,12 Вт/(мК).

5. По формуле (4.7) определяем термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного слоя

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{n} h_{од(i)}/\lambda_{од(i)} = 0,04:1,40 + 0,08:1,25 + 0,22:1,5 + 0,26:2,2 =$$

= 0,43 ($м^2$ К/Вт).

6. По карте изолиний рис. 4.5 определяем номер изолинии – V.

7. По табл. 4.9 находим $C_{пуч}$ = 1,35.

8. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од}$ = 0,90 м для сильнопучинистого грунта при помощи интерполяции определяем $C_р$ = 0,61.

9. Вычисляем отношение $l_{доп}/(C_{пуч}\cdot C_р)$ = 4/(1,35·0,61) = 4,9 см.

10. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции приведенное термическое сопротивление $R_{пр}$ = 0,60 ($м^2$ К/Вт).

11. По табл. 4.7 $K_{од}$ = 1,0; $K_{увл}$ = 1,0 (п.4.11); δ = 0,95.

12. По формуле (4.8) $R_{од(тр)} = R_{пр}\cdot K_{од}\cdot K_{увл}\cdot\delta$= 0,57 ($м^2$ К/Вт).

13. По формуле (4.6) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)})\cdot\lambda_{мрз}$ = (0,57 – 0,43)·2,12 = 0,29 м.

14. Поскольку разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ не превышает 5 см, принимаем $h_{мз}$ = 0,30 м.

Пример 2.

1. Задание: требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;
- категория автомобильной дороги – I;
- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{сл}$ = 20 лет;
- заданная надежность $K_н$ = 0,95;
- приведенная к нагрузке типа А (Приложение 1 табл. П. 1.1) интенсивность движения на конец срока службы $N_р$ = 3200 авт/сут; приращение интенсивности q = 1,04;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая с расчетной влажностью 0,7 $W_т$, относится к сильнопучинистым грунтам.
- материал для основания – щебеночно-гравийная песчаная смесь, обработанная цементом марки 20 и песок средней крупности.
- высота насыпи составляет 1,5 м.
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.
- глубина залегания грунтовых вод – 0,9 м.

1. Вычисляем суммарное расчетное количество приложений расчетных нагрузок за срок службы:

Для расчета по допускаемому упругому прогибу и условию сдвигоустойчивости по формуле (3.6)

$$\sum N_p = 0{,}7\, N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} K_n,$$ где K_c = 29,8 (Приложение 6 табл.П.6.3).

$T_{рдг}$ = 125 дней (табл.П.6.1).

K_n = 1,49 (табл.3.3)

$$\sum N_p = 0{,}7 \cdot 3200 \cdot \frac{29{,}8}{1{,}04^{14}} \cdot 125 \cdot 1{,}49 = 7\,179\,494 \text{ авт.}$$

2. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения расчетных параметров:

- для расчета по допускаемому упругому прогибу (Приложение 2 табл.П.2.5, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.9);
- для расчета по условию сдвигоустройчивости (Приложение 2 табл.П.2.4, Приложение 2 табл.П.2.6, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.6);
- для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (Приложение 3 табл.П.3.1 и Приложение 3 табл.П.3.6).

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет по допустимому упруг. прогибу, E, МПа	Расчет по усл. сдвигоустойчивости, E, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
					E, МПа	R_o, МПа	α	m
1.	Асфальтобетон плотный на БНД марки 60/90	4	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
2.	Асфальтобетон пористый на БНД марки 60/90	8	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3.	Асфальтобетон высокопористый на БНД марки 60/90	22	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
4.	Укрепленная щебеночно-гравийно-песчаная смесь	15	400	400	400	-	-	-
5.	Песок средней крупности	30	120	120	120	-	-	-
6.	Супесь пылеватая $W_p = 0,7W_т$	-	46	46	46	-	-	-

3. Расчет по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме рис.3.1:

1) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{гр}}{E^{пес}} = \frac{46}{120} = 0,38$

по Приложению 1 табл.П.1.1 p=0,6 МПа, D=37 см

$\frac{h_в}{D} = \frac{h^{пес}}{D} = \frac{30}{37} = 0,81$

$\frac{E_{общ}}{E_в} = \frac{E^{пес}_{общ}}{E^{пес}} = 0,65$ $\qquad E^{пес}_{общ} = 0,65 \cdot 120 = 78$ МПа

2) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{пес}_{общ}}{E^{щеб}} = \frac{78}{400} = 0,195$ $\qquad \frac{h_в}{D} = \frac{h^{щеб}}{D} = \frac{15}{37} = 0,41$

$\frac{E_{общ}}{E_в} = \frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{щеб}} = 0,305$ $\qquad E^{щеб}_{общ} = 0,305 \cdot 400 = 122$ МПа

3) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{щеб}}{E^{а/б_3}} = \frac{122}{2000} = 0{,}06$ $\qquad \frac{h^{а/б_3}}{D} = \frac{22}{37} = 0{,}59$

$\frac{E_{общ}^{а/б_3}}{E^{а/б_3}} = 0{,}18$ $\qquad E_{общ}^{а/б_3} = 0{,}18 \cdot 2000 = 360$ МПа

4) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{а/б_3}}{E^{а/б_2}} = \frac{360}{2000} = 0{,}18$ $\qquad \frac{h^{а/б_2}}{D} = \frac{8}{37} = 0{,}22$

$\frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_2}} = 0{,}24$ $\qquad E_{общ}^{а/б_2} = 0{,}24 \cdot 2000 = 480$ МПа

5) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_1}} = \frac{480}{3200} = 0{,}15$ $\qquad \frac{h^{а/б_1}}{D} = \frac{4}{37} = 0{,}11$

$\frac{E_{общ}}{E^{а/б_1}} = 0{,}165$ $\qquad E_{общ} = 0{,}165 \cdot 3200 = 528$ МПа

Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.9):

$E_{тр} = 98{,}65[\lg(\sum N_р) - 3{,}55] = 98{,}65[\lg 7\,179\,494 - 3{,}55] = 326$ МПа

Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}}{E_{тр}} = \frac{528}{326} = 1{,}61$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу 1,30 (табл.3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

4. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустройчивости в грунте.

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляем по формуле (3.13):

$T = \bar{\tau}_н \cdot p$

Для определения $\bar{\tau}_н$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт (супесь пылеватая) со следующими характеристиками: (при $W_р$=0,7$W_т$ и $\sum N_р$=7 179 494 авт.) $E_н$=46 МПа (табл.П.2.5); φ=12° и с=0,004 МПа (табл.П.2.4).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл.П.3.2 при расчетной температуре +20°С (табл.3.5).

$$E_в = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot 30 + 400 \cdot 15 + 120 \cdot 30}{79} = 668 \text{ МПа}$$

По отношениям $\frac{E_в}{E_н}=\frac{668}{46}=14{,}9$ и $\frac{h_в}{D}=\frac{79}{37}=2{,}14$ и при φ=12° с помощью номограммы (рис.3.3) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,0115 МПа.

По формуле (3.13) Т = 0,0115·0,6 = 0,007 МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $Т_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14), где $С_N$ = 0,004 МПа, $К_д$ = 1,0.

$Z_{оп}$=4+8+22+15+30=79 см.

$\varphi_{ст}$=35° (табл.П.2.4)

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^2

0,1 – коэффициент для перевода в МПа

$Т_{пр}$ = 0,004+0,1·0,002·79·tg35° = 0,015

$К_{пр}=\frac{0{,}015}{0{,}007}=2{,}17$, что больше $К\frac{тр}{пр}=1{,}00$ (табл.3.1).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в грунте.

5. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в песчаном слое основания.

Действующие в песчаном слое основания активное напряжение сдвига вычисляем по формуле (3.13):

$Т = \bar{\tau}_н \cdot р$

Для определения $\bar{\tau}_н$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

Нижнему слою модели присваивают следующие характеристики: $Е_{общ}^{пес}$ =78 МПа (п.3.32); φ=27° и с=0,004 МПа (табл.П.2.6).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл.П.3.2 при расчетной температуре +20°С (табл.3.5).

$$Е_в=\frac{1800\cdot 4+1200\cdot 8+1200\cdot 22+400\cdot 15}{4+8+22+15}=1004 \text{ МПа}$$

По отношениям $\frac{E_в}{E_н}=\frac{1004}{78}=12{,}9$ и $\frac{h_в}{D}=\frac{49}{37}=1{,}32$ и при φ=27° с помощью номограммы (рис.3.2) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,017 МПа.

По формуле (3.13) Т = 0,017·0,6 = 0,0102 МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $Т_{пр}$ в песчаном слое определяем по формуле (3.14), где $С_N$ = 0,002 МПа, $К_д$ = 4,0.

$Z_{оп}$=4+8+22+15=49 см.

$\varphi_{ст}$=32° (табл.П.2.6)

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^2

0,1 – коэффициент для перевода в МПа

$T_{пр} = 0{,}002 \cdot 4 + 0{,}1 \cdot 0{,}002 \cdot 49 \cdot \mathrm{tg}32° = 0{,}0141$

$$K_{пр} = \frac{0{,}0141}{0{,}0102} = 1{,}38$$

По табл.3.1 $K_{пр}^{тр} = 1{,}00$, *следовательно, условие по сдвигоустойчивости в песчаном слое основания выполнено.*

6. Рассчитываем конструкцию на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Расчет выполняем в следующем порядке:

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели, где нижний слой модели – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. щебеночное основание и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем по номограмме рис.3.1. как общий модуль для двухслойной системы.

$E_н = E_{общ}^{щеб} = 122$ МПа

К верхнему слою относим все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя устанавливаем по формуле (3.12)

$$E_в = \frac{4500 \cdot 4 + 2800 \cdot 8 + 2100 \cdot 22}{34} = 2547 \text{ МПа}.$$

б) По отношениям $\frac{h_B}{D} = \frac{34}{37} = 0{,}92$ и $\frac{E_в}{E_н} = \frac{2547}{122} = 20{,}9$ по номограмме рис.3.4 определяем $\bar{\sigma}_r = 0{,}75$.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (3.16):

$\bar{\sigma}_r = 0{,}75 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}85 = 0{,}38$ МПа.

в) Вычисляем предельное растягивающее напряжение по формуле (3.17):

при R_o=5,65 МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (табл.П.3.1)

ν_R=0,10 (табл.П.4.1)

t=1,71 (табл.П.4.2)

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}} \text{ (формула 3.18)}$$

$\sum N_p$=4818452 авт.; m=4; α=6,3 (табл.П.3.1);

$$k_1 = \frac{6{,}3}{\sqrt[4]{7179494}} = 0{,}122$$

$k_2 = 0{,}85$ (табл.3.6)

R_N= 5,65·0,122·0,85(1-0,1·1,71) = 0,49 МПа.

г) $K_{пр}=\frac{R_N}{\sigma_r}=\frac{0,49}{0,38}=1,28$, что больше, чем $K_{пр}^{тр}=1,0$ (табл.3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

Проверка конструкции на морозоустойчивость

Материал	Толщина слоя $h_{од(i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(мК) (Табл.П.5.1)
Плотный асфальтобетон	0,04	1,40
Пористый асфальтобетон	0,08	1,25
Высокопористый асфальтобетон	0,22	1,05
Укрепленная щебеночно-гравийно-песчаная смесь	0,15	2,02
Песок средней крупности	0,30	$\lambda_{ср}=(\lambda_м+\lambda_т)/2=(2,44+1,91)/2=2,18$*

*Поскольку в период промерзания дорожной конструкции песок находится сначала в талом, а затем в мерзлом состоянии, в расчет вводят среднеарифметическое значение коэффициентов теплопроводности $\lambda_т$ и $\lambda_м$.

1. В соответствии с п.п. 1-2 Проверки на морозоустойчивость Примера 1 определяем глубину промерзания $z_{пр}$ = 2,0 м и величину пучения для осредненных условий $l_{пуч.ср}$ = 6,2 см.

По таблицам и графикам находим коэффициенты $K_{угв}$ = 0,61 (рис. 4.1); $K_{пл}$ = 1,2 (табл. 4.4); $K_{гр}$ = 1,1 (рис. 4.5); $K_{нагр}$ = 0,92 (рис. 4.2); $K_{вл}$ = 1,1 (рис. 4.6). По формуле 4.2 находим величину пучения для данной конструкции:

$$l_{пуч} = l_{пуч(ср)}\cdot K_{угв}\cdot K_{пл}\cdot K_{гр}\cdot K_{нагр}\cdot K_{вл} = 6,2\cdot 0,61\cdot 1,2\cdot 1,1\cdot 0,92\cdot 1,1 = 5,0 \text{ см}$$

2. Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения согласно табл. 4.3 составляет 4 см, следует назначить морозозащитный слой и выполнить расчет его толщины. Предварительно ориентировочно определяем необходимую толщину морозозащитного слоя при допустимой величине морозного пучения $l_{доп}$ = 4 см

Для этого предварительно определяем величину морозного пучения для осредненных условий, при которой морозное пучение для данной конструкции не превышает 4 см:

$$l_{пуч.ср} = \cdot\, l_{доп}/K_{угв}\cdot K_{пл}\cdot K_{гр}\cdot K_{нагр}\cdot K_{вл} = 4:(\cdot 0,61\cdot 1,2\cdot 1,1\cdot 0,92\cdot 1,1) = 4,9 \text{ см}$$

По номограмме рис. 4.3 определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{од}$ = 0,92 м, отсюда толщина морозозащитного слоя $h_{мрз}$ = 0,92 – 0,79 = 0,13 м.

3. Для уточнения требуемой толщины морозозащитного слоя выполняем расчеты с учетом теплофизических характеристик отдельных слоев (Табл. П.5.1). По формуле (4.7) определяем термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного слоя

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{n} h_{од(i)}/\lambda_{од(i)} = 0{,}04{:}1{,}40 + 0{,}08{:}1{,}25 + 0{,}22{:}1{,}05 + 0{,}15{:}2{,}2 + 0{,}30{:}2{,}18 =$$

$= 0{,}51$ ($м^2$ К/Вт);

4. По карте изолиний рис. 4.5 определяем номер изолинии – V.

5. По табл. 4.9 находим $С_{пуч} = 1{,}35$.

6. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 0{,}90$ м для сильнопучинистого грунта при помощи интерполяции определяем $С_р = 0{,}61$.

7. Вычисляем отношение $l_{доп}/(С_{пуч} \cdot С_р) = 4/(1{,}35 \cdot 0{,}61) = 4{,}9$ см.

8. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции приведенное термическое сопротивление $R_{пр} = 0{,}60$ ($м^2$ К/Вт).

9. По табл. 4.7 $К_{од} = 1{,}0$; $К_{увл} = 1{,}0$ (п.4.11); $\delta = 0{,}95$.

По формуле (4.8) $R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot К_{од} \cdot К_{увл} \cdot \delta = 0{,}57$ ($м^2$ К/Вт).

10. По формуле (4.6) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мрз} = (0{,}57 - 0{,}51) \cdot 2{,}18 = 0{,}13$ м.

Поскольку разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ не превышает 5 см, принимаем $h_{мз} = 10$ см.

Пример 3.

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;
- категория автомобильной дороги – II;
- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{сл} = 15$ лет;
- приведенная к нагрузке типа А (Приложение 1 табл. П. 1.1) интенсивность движения на конец срока службы N_p = 1800 авт/сут; приращение интенсивности q = 1,04;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая с расчетной влажностью 0,7 $W_т$, которая относится к сильнопучинистым грунтам;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.
- глубина залегания грунтовых вод – 0,6 м.
- высота насыпи составляет 1,5 м;
- материал для основания – щебеночная смесь $С_3$.

1. Вычисляем суммарное расчетное количество приложений расчетной нагрузки за срок службы:

Для расчета по допускаемому упругому прогибу и условию сдвигоустойчивости по формуле (3.6)

$$\sum N_p = 0,7\, N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} K_n,$$ где $K_c = 20$ (Приложение 6 табл.П.6.3).

$T_{рдг} = 125$ дней (табл.П.6.1).

$K_n = 1,49$ (табл.3.3)

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 1800 \cdot \frac{20}{1,04^{14}} \cdot 125 \cdot 1,49 = 2\,710379 \text{ авт.}$$

2. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения расчетных параметров:

- для расчета по допускаемому упругому прогибу (Приложение 2 табл.П.2.5, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.8);
- для расчета по условию сдвигоустройчивости (Приложение 2 табл.П.2.4, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.8);
- для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (Приложение 3 табл.П.3.1 и Приложение 3 табл.П.3.8);
- высота насыпи составляет 1,5 м;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.
- глубина залегания грунтовых вод – 0,6 м.

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет по допустимому упруг. прогибу, E, МПа	Расчет по усл. сдвигоустойчивости, E, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
					E, МПа	R_o, МПа	α	m
1.	Асфальтобетон плотный на БНД марки 60/90	4	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
2.	Асфальтобетон пористый на БНД марки 60/90	8	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3.	Асфальтобетон высокопористый на БНД марки 60/90	14	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
4.	Щебеночная смесь	34	290	290	290	-	-	-
5.	Супесь пылеватая $W_p = 0,7W_т$	-	46	46	46	-	-	-

3. Расчет по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме рис.3.1:

1) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{гр}}{E^{щеб}} = \frac{46}{290} = 0,155$ по Приложению 1 табл.П.1.1

по Приложению 1 табл.П.1.1 p=0,6 МПа, D=37 см

$$\frac{h_в}{D} = \frac{h^{щеб}}{D} = \frac{34}{37} = 0,92$$

$$\frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{щеб}} = 0,42 \qquad E^{пес}_{общ} = 0,42 \cdot 290 = 122 \text{ МПа}$$

2) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{а/б_3}} = \frac{122}{2000} = 0,06 \qquad \frac{h^{а/б_3}}{D} = \frac{14}{37} = 0,39$

$$\frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_3}} = 0,12 \qquad E^{а/б_3}_{общ} = 0,12 \cdot 2000 = 240 \text{ МПа}$$

3) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_2}} = \frac{240}{2000} = 0,12 \qquad \frac{h^{а/б_2}}{D} = \frac{8}{37} = 0,22$

$$\frac{E^{а/б_2}_{общ}}{E^{а/б_2}} = 0,15 \qquad E^{а/б_2}_{общ} = 0,15 \cdot 2000 = 300 \text{ МПа}$$

4) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_1}} = \frac{300}{3200} = 0{,}09$ $\qquad \frac{h^{а/б_1}}{D} = \frac{4}{37} = 0{,}11$

$\frac{E_{общ}}{E^{а/б_1}} = 0{,}105$ $\qquad E_{общ} = 0{,}105 \cdot 3200 = 336$ МПа

5) Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.9):
$E_{тр} = 98{,}65[\lg(\sum N_р) - 3{,}55] = 98{,}65[\lg 2710379 - 3{,}55] = 284$ МПа

6) Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$K_{пр} = \frac{E_{общ}}{E_{тр}} = \frac{336}{284} = 1{,}20$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу 1,20 (табл.3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

4. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустройчивости в грунте.

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляем по формуле (3.13):

$T = \bar{\tau}_н \cdot p$

Для определения $\bar{\tau}_н$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт (супесь пылеватая) со следующими характеристиками: (при $W_р$=0,7$W_т$ и $\sum N_р$=2710379 авт.) $E_н$=46 МПа (табл.П.2.5); φ=12° и с=0,004 МПа (табл.П.2.4).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл.П.3.2 при расчетной температуре +20°С (табл.3.5).

$$E_в = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot 8 + 1200 \cdot 14 + 290 \cdot 34}{60} = 724 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{724}{45} = 16{,}1$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{60}{37} = 1{,}62$ и при φ=12° с помощью номограммы (рис.3.3) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,012 МПа.

Таким образом, T = 0,012·0,6 = 0,0072 МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14), где C_N = 0,004 МПа, $K_д$ = 1,0.

$Z_{оп}$=4+8+14+34 = 60 см.

$\varphi_{ст}$=35° (табл. 2.4)

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^2

$T_{пр}$ = 0,004+0,1·0,002·60·tg35° = 0,0124,

где 0,1 – коэффициент для перевода в МПа

$K_{пр} = \frac{0,0124}{0,0072} = 1,72$, что больше $K_{пр}^{тр} = 1,00$ (табл.3.1).

5. Рассчитываем конструкцию на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Расчет выполняем в следующем порядке:

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели, где нижний слой модели – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. щебеночное основание и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем по номограмме рис.3.1.

$E_н = 122$ МПа

К верхнему слою относят все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя устанавливаем по формуле (3.12)

$$E_в = \frac{4500 \cdot 4 + 2800 \cdot 8 + 2100 \cdot 14}{26} = 2685 \text{ МПа}$$

Модули упругости асфальтобетонных слоев назначаем по табл.П.3.1.

б) По отношениям $\frac{h_B}{D} = \frac{26}{37} = 0,70$ и $\frac{E_в}{E_н} = \frac{2685}{122} = 22,0$ по номограмме рис.3.4 определяем $\bar{\sigma}_r = 1,1$ МПа.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (3.16):

$\sigma_r = 1,1 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,56$ МПа.

в) Вычисляем предельное растягивающее напряжение по формуле (3.17):

при R_o=5,65 МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (табл.П.3.1)

ν_R=0,10 (табл.П.4.1); t=1,71 (табл.П.4.2)

$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}$ (формула 3.18)

m=4; α=6,3 (табл.П.3.1)

$\sum N_p$=2710379 авт.

$k_1 = \frac{6,3}{\sqrt[4]{2710379}} = 0,155$

$k_2 = 0,85$ (табл. 3.6)

R_N= 5,65·0,155·0,85(1-0,1·1,71) = 0,62

г) $\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,62}{0,56} = 1,10$, что больше, чем $K_{пр}^{тр} = 1,0$ (табл.3.1).

Вывод: выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

Проверка на морозоустойчивость

Материал	Толщина слоя $h_{од(i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(мК)
Плотный асфальтобетон	0,04	1,40
Пористый асфальтобетон	0,08	1,25
Высокопористый асфальтобетон	0,14	1,05
Щебеночная смесь	0,34	2,10

2. Аналогично п.п. 1-3 Проверки на морозоустойчивость Примера 1 предварительно ориентировочно определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{од}$ = 1,05 м и толщину морозозащитного слоя $h_{мрз}$ = 1,05 – 0,60 = 0,45 м. Для уточнения требуемой толщины морозозащитного слоя выполняем расчеты с учетом теплофизических характеристик отдельных слоев (Табл. П.5.1). Задаемся $h_{мрз}$ = 0,45.

Для использования в морозозащитном слое назначаем крупнозернистый песок с коэффициентами теплопроводности $\lambda_т$ = 1,74 Вт/(мК) и $\lambda_м$ = 2,32 Вт/(мК) соответственно в талом и мерзлом состояниях и определяем $\lambda_{ср}$

$$\lambda_{ср} = (1{,}74+2{,}32)/2 = 2{,}03 \text{ Вт/(мК)}$$

3. По формуле (4.7) определяем термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного слоя

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{n} h_{од(i)}/\lambda_{од(i)} = 0{,}04{:}1{,}40 + 0{,}08{:}1{,}25 + 0{,}14{:}1{,}05 + 0{,}34{:}2{,}10 =$$

$$= 0{,}39 \text{ (м}^2 \text{ К/Вт)};$$

4. По карте изолиний рис. 4.5 определяем номер изолинии – V;

5. По табл. 4.9 находим $C_{пуч}$ = 1,35;

6. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од}$ = 1,05 м для сильнопучинистого грунта при помощи интерполяции определяем $C_р$ = 0,645;

7. Вычисляем отношение $l_{доп}/(C_{пуч} \cdot C_р) = 4/(1{,}35 \cdot 0{,}645) = 4{,}59$ см;

8. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции приведенное термическое сопротивление $R_{пр}$ = 0,79 (м^2 К/Вт);

9. По табл. 4.7 $K_{од}$ = 0,90; $K_{увл}$ = 1,0 (п.4.11); δ = 0,95;

10. По формуле (4.7) $R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta$ = 0,68 (м^2 К/Вт);

11. По формуле (4.5) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мрз} = (0{,}68 - 0{,}39) \cdot 2{,}03 = 0{,}59$ м

Разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ превышает 5 см. Расчет продолжаем, задавшись $h_{мз} = 0,55$ см.

12. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 1,35$ м при помощи интерполяции определяем $C_р = 0,615$;

13. Вычисляем отношение $l_{доп}/(C_{пуч} \cdot C_р) = 4/(1,35 \cdot 0,615) = 4,82$ см;

14. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции приведенное термическое сопротивление $R_{пр} = 0,79$ ($м^2$ К/Вт);

15. По формуле (4.7) $R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta = 0,68$ ($м^2$ К/Вт);

16. По формуле (4.5) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мрз} = (0,68 - 0,39) \cdot 2,03 = 0,59$ м.

Поскольку разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ не превышает 5 см, принимаем $h_{мз} = 0,55$ см.

Пример 4.

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;
- категория автомобильной дороги – II;
- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{сл}$ = 15 лет;
- приведенная к нагрузке типа А (Приложение 1 табл. П. 1.1) интенсивность движения на конец срока службы N_p = 1800 авт/сут; приращение интенсивности q = 1,04;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая с расчетной влажностью 0,7 $W_т$, которая относится к сильнопучинистым грунтам;
- материал для основания – щебеночно-гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом и песок средней крупности.
- высота насыпи составляет 1,5 м;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.
- глубина залегания грунтовых вод – 0,6 м.

1. Вычисляем суммарное расчетное количество приложений за срок службы:

Для расчета по допускаемому упругому прогибу и условию сдвигоустойчивости по формуле (3.6)

$$\sum N_p = 0,7\, N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} K_n,$$ где K_c = 20 (Приложение 6 табл.П.6.3).

$T_{рдг}$ = 125 дней (табл.П.6.1).

K_n = 1,49 (табл.3.3)

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 1800 \cdot \frac{20}{1,04^{14}} \cdot 125 \cdot 1,49 = 2\ 710379 \text{ авт.}$$

2. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения расчетных параметров:

- для расчета по допускаемому упругому прогибу (Приложение 2 табл.П.2.5, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.8);
- для расчета по условию сдвигоустойчивости (Приложение 2 табл.П.2.4, Приложение 2 табл.П.2.6, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.6);
- для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (Приложение 3 табл.П.3.1 и Приложение 3 табл.П.3.6).

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет по допустимому упруг. прогибу, Е, МПа	Расчет по усл. сдвигоустойчивости, Е, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
					Е, МПа	R_o, МПа	α	m
1.	Асфальтобетон плотный на БНД марки 60/90	4	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
2.	Асфальтобетон пористый на БНД марки 60/90	8	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3.	Асфальтобетон высокопористый на БНД марки 60/90	14	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
4.	Щебеночно-гравийно-песчаная смесь, укрепленная цементом	26	400	400	400	-	-	-
5	Песок средней крупности	20	120	120	120	-	-	-
6.	Супесь пылеватая $W_p = 0,7W_т$	-	46	46	46	-	-	-

3. Расчет по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме рис.3.1:

1) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{гр}}{E^{пес}} = \frac{46}{120} = 0,375$

по Приложению 1 табл.П.1.1 p=0,6 МПа, D=37 см

$\frac{h_в}{D} = \frac{h^{пес}}{D} = \frac{20}{37} = 0,54$

$\frac{E^{пес}_{общ}}{E^{пес}} = 0,456$ $\qquad E^{пес}_{общ} = 0,56 \cdot 120 = 67,2$ МПа

2) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{пес}_{общ}}{E^{щеб}} = \frac{67}{400} = 0,168$ $\qquad \frac{h_в}{D} = \frac{h^{щеб}}{D} = \frac{26}{37} = 0,87$

$\frac{E_{общ}}{E_в} = \frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{щеб}} = 0,37$ $\qquad E^{щеб}_{общ} = 0,37 \cdot 400 = 148$ МПа

3) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{щеб}}{E^{а/б_3}} = \frac{148}{2000} = 0{,}074$ $\frac{h^{а/б_3}}{D} = \frac{14}{37} = 0{,}38$

$\frac{E_{общ}^{а/б_3}}{E^{а/б_3}} = 0{,}15$ $E_{общ}^{а/б_3} = 0{,}15 \cdot 2000 = 300$ МПа

4) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{а/б_3}}{E^{а/б_2}} = \frac{300}{2000} = 0{,}15$ $\frac{h^{а/б_2}}{D} = \frac{8}{37} = 0{,}22$

$\frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_1}} = 0{,}2$ $E_{общ}^{а/б_2} = 0{,}2 \cdot 2000 = 400$ МПа

5) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_1}} = \frac{400}{3200} = 0{,}125$ $\frac{h^{а/б_1}}{D} = \frac{4}{37} = 0{,}11$

$\frac{E_{общ}}{E^{а/б_1}} = 0{,}14$ $E_{общ} = 0{,}14 \cdot 3200 = 448$ МПа

6) Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.9):

$E_{тр} = 98{,}65[\lg(\sum N_р) - 3{,}55] = 98{,}65[\lg 2710379 - 3{,}55] = 284$ МПа

7) Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$K_{пр} = \frac{E_{общ}}{E_{тр}} = \frac{448}{284} = 1{,}6$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу 1,20 (табл.3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

4. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в грунте.

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляем по формуле (3.13):

$T = \bar{\tau}_н \cdot p$

Для определения $\bar{\tau}_н$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт (супесь пылеватая) со следующими характеристиками: (при $W_р = 0{,}7W_т$ и $\sum N_р = 2710379$ авт.) $E_н = 46$ МПа (табл.П.2.5); $\varphi = 12°$ и $c = 0{,}004$ МПа (табл.П.2.4).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл.П.3.2 при расчетной температуре +20°С (табл.3.5).

$$E_в = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot 8 + 1200 \cdot 14 + 400 \cdot 26 + 120 \cdot 20}{4 + 8 + 14 + 26 + 20} = 644 \text{ МПа}$$

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{644}{45} = 14{,}3$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{72}{37} = 1{,}95$ и при φ=12° с помощью номограммы (рис.3.3) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,0135 МПа.

Таким образом T = 0,0135·0,6 = 0,0081 МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14), где C_N = 0,004 МПа, $K_д$ = 1,0.

$Z_{оп}$=4+8+14+26+20 = 72 см.

$\varphi_{ст}$=35° (табл. 2.4); $\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^2

$T_{пр}$ = 0,004+0,1·0,002·72·tg35° = 0,0141 МПа,

где 0,1 – коэффициент для перевода в МПа

$K_{пр} = \frac{0{,}0141}{0{,}0081} = 1{,}74$, что больше $K\frac{mp}{np} = 1{,}00$ (табл.3.1).

6. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в песчаном слое основания.

Действующие в песчаном слое основания активное напряжение сдвига вычисляем по формуле (3.13):

$T = \bar{\tau}_н \cdot p$

Для определения $\bar{\tau}_н$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

Нижнему слою модели присваиваем следующие характеристики: (при $E^{пес}_{общ}$ = 67,2 МПа (табл.П.3.32); φ=27° и c=0,004 МПа (табл.П.2.6).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл.П.3.2 при расчетной температуре +20°С (табл.3.5).

$$E_в = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot 8 + 1200 \cdot 14 + 400 \cdot 26}{52} = 846 \text{ МПа}$$

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{846}{67{,}2} = 12{,}6$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{52}{37} = 1{,}41$ и при φ=27° с помощью номограммы (рис.3.2) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,018 МПа.

По формуле (3.13) T = 0,014·0,6 = 0,0084 МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в песчаном слое определяем по формуле (3.14), где C_N = 0,002 МПа, $K_д$ = 4,0.

$Z_{оп}$=4+8+14+26 = 52 см.

$\varphi_{ст}$=32° (табл. 2.6)

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^2

$T_{пр}$ = 0,002·4+0,1·0,002·52·tg32° = 0,0145 МПа,

где 0,1 – коэффициент для перевода в МПа

$K_{пр} = \frac{0,0145}{0,0084} = 1,73$, что больше $K_{пр}^{тр} = 1,00$

Следовательно, условие по сдвигоустойчивости в песчаном слое основания выполнено.

6. Рассчитываем конструкцию на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Расчет выполняем в следующем порядке:

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели, где нижний слой модели – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. щебеночное основание и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя определяем по номограмме рис.3.1.

$E_н = 148$ МПа

К верхнему слою относят все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя устанавливаем по формуле (3.12)

$$E_в = \frac{4500 \cdot 4 + 2800 \cdot 8 + 2100 \cdot 14}{26} = 2685 \text{ МПа}$$

б) По отношениям $\frac{h_B}{D} = \frac{26}{37} = 0,7$ и $\frac{E_B}{E_H} = \frac{2685}{122} = 28,1$ по номограмме рис.3.4 определяем $\bar{\sigma}_r = 1,05$ МПа.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (3.16):

$\sigma_r = 1,050 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,64$ МПа

в) Вычисляем предельное растягивающее напряжение по формуле (3.17):

при R_o=5,65 МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (табл.П.3.1)

ν_R=0,10 (табл.П.4.1); t=1,71 (табл.П.4.2)

$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}$ (формула 3.18)

α=6,3; m=4; (табл.П.3.1); $\sum N_p$=2710379 авт.;

$k_1 = \frac{6,3}{\sqrt[4]{2710379}} = 0,155$

$k_2 = 0,85$ (табл.3.6)

R_N= 5,65·0,155·0,85(1-0,1·1,71) = 0,62

г) $\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,62}{0,46} = 0,97$, что меньше $K_{пр}^{тр} = 1,0$ (табл.3.1).

Вывод: конструкция не удовлетворяет критерию прочности по сопротивлению монолитных слоев разрушению от растяжения при изгибе.

Проверка на морозоустойчивость

Материал	Толщина слоя $h_{од(i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(мК)
Плотный асфальтобетон	0,04	1,40
Пористый асфальтобетон	0,08	1,25
Высокопористый асфальтобетон	0,14	1,05
Укрепленная щебеночно-гравийно-песчаная смесь	0,26	2,02
Песок средней крупности	0,20	$\lambda_{ср} = (\lambda_м + \lambda_т)/2$; (2,44+1,91):2=2,18*

*Поскольку в период промерзания дорожной конструкции песок находится сначала в талом, а затем в мерзлом состоянии, в расчет вводят среднеарифметическое значение коэффициентов теплопроводности $\lambda_т$ и $\lambda_м$.

1. В соответствии с п.п. 1-2 Проверки на морозоустойчивость Примера 1 определяем глубину промерзания $z_{пр}$ = 2,0 м и для толщины дорожной одежды 0,7 м величину пучения для осредненных условий $l_{пуч.ср}$ = 7,0 см.

2. По таблицам и графикам находим коэффициенты $К_{угв}$ = 0,67 (рис. 4.1); $К_{пл}$ = 1,2 (табл. 4.4); $К_{гр}$ = 1,1 (рис.4.5); $К_{нагр}$ = 0,92 (рис.4.2); $К_{вл}$ = 1,1 (рис.4.6).

По формуле 4.2 находим величину пучения для данной конструкции

$l_{пуч}=l_{пуч.(ср)}\cdot К_{угв}\cdot К_{пл}\cdot К_{гр}\cdot К_{нагр}\cdot К_{вл} = 7,0\cdot0,67\cdot1,2\cdot1,1\cdot0,92\cdot1,1 = 6,26$ (см);

3. Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения согласно табл. 4.3 составляет 4 см, следует выполнить расчет морозозащитного слоя. Предварительно ориентировочно определяем необходимую толщину морозозащитного слоя при допустимой величине морозного пучения $l_{доп}$ = 4 см.

Для этого определяем величину морозного пучения для осредненных условий $l_{пуч.ср}$, при которой пучение для данной конструкции не превышает 4 см

$l_{пуч.ср} = l_{доп}/ К_{угв}\cdot К_{пл}\cdot К_{гр}\cdot К_{нагр}\cdot К_{вл} = 4:(0,67\cdot1,2\cdot1,1\cdot0,92\cdot1,1) = 4,47$ (см);

По номограмме рис. 4.3 определяем необходимую толщину дорожной одежды $h_{од}$ = 1,03 м, отсюда толщина морозозащитного слоя $h_{мрз} = 1,03 - 0,70 = 0,33$ м.

Для уточнения требуемой толщины морозозащитного слоя выполняем расчеты с учетом теплофизических характеристик отдельных слоев (Табл. П.5.1). Задаемся $h_{мрз} = 0,30$ м.

Для использования в морозозащитном слое назначаем среднезернистый песок.

3. По формуле (4.7) определяем термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного слоя

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{n} = 0,04:1,40 + 0,08:1,25 + 0,14:1,05 + 0,26:2,02 + 0,20:2,180\ 00 =$$

$= 0,45$ ($м^2$ К/Вт);

4. По карте изолиний рис. 4.5 определяем номер изолинии – V;

5. По табл. 4.9 находим $C_{пуч} = 1,35$;

6. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 1,05$ м для сильнопучинистого грунта при помощи интерполяции определяем $C_р = 0,645$;

7. Вычисляем отношение $l_{доп}/(C_{пуч} \cdot C_р) = 4/(1,35 \cdot 0,64) = 4,59$ см;

8. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции приведенное термическое сопротивление $R_{пр} = 0,78$ ($м^2$ К/Вт);

9. По табл. 4.7 $K_{од} = 0,90$; $K_{увл} = 1,0$ (п.4.11); $\delta = 0,95$;

По формуле (4.8) $R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta = 0,67$ ($м^2$ К/Вт);

10. По формуле (4.6) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мрз} = (0,67 - 0,45) \cdot 2,18 = 0,48$ м

11. Разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ превышает 5 см. Расчет продолжаем, задавшись $h_{мз} = 0,50$ см.

12. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 1,20$ м для сильнопучинистого грунта при помощи интерполяции определяем $C_р = 0,63$;

13. Вычисляем отношение $l_{доп}/(C_{пуч} \cdot C_р) = 4/(1,35 \cdot 0,63) = 4,7$ см;

14. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции $R_{пр} = 0,81$ ($м^2$ К/Вт);

15. По табл. 4.7 $K_{од} = 0,99$; $K_{увл} = 1,0$ (п.4.11); $\delta = 0,95$;

16. По формуле (4.7) $R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} = 0,69$ ($м^2$ К/Вт);

17. По формуле (4.5) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мрз} = (0,69 - 0,45) \cdot 2,18 = 0,53$ (м);

18. Разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ не превышает 5 см. Принимаем $h_{мз} = 0,50$ м.

Пример 5.

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;
- категория автомобильной дороги – III;
- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{сл}$ = 15 лет;
- приведенная к нагрузке типа А (Приложение 1 табл. П. 1.1) интенсивность движения на конец срока службы N_p = 900 авт/сут; приращение интенсивности q = 1,04;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая с расчетной влажностью 0,7 $W_т$, которая относится к сильнопучинистым грунтам;
- материал для основания –гравийная смесь.
- высота насыпи составляет 1,5 м;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.
- глубина залегания грунтовых вод – 0,6 м.

1. Вычисляем суммарное количество приложений за срок службы:

Для расчета по допускаемому упругому прогибу и условию сдвигоустойчивости по формуле (3.6)

$\sum N_p = 0,7\, N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} K_n$, где K_c = 20 (Приложение 6 табл.П.6.5).

С учетом поправки в примечании табл.П.6.1 $T_{рдг}$ = 112.

K_n = 1,49 (табл.3.3)

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 900 \cdot \frac{20}{1,04^{14}} \cdot 112 \cdot 1,49 = 1214250 \text{ авт.}$$

2. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения расчетных параметров:

- для расчета по допускаемому упругому прогибу (Приложение 2 табл.П.2.5, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.8);
- для расчета по условию сдвигоустойчивости (Приложение 2 табл.П.2.4, Приложение 3 табл.П.3.2 и Приложение 3 табл.П.3.8);
- для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (Приложение 3 табл.П.3.1 и Приложение 3 табл.П.3.8).

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет по допусти-мому упруг. прогибу, E, МПа	Расчет по усл. сдвигоустой-чивости, E, МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
					E, МПа	R_o, МПа	α	m
1.	Асфальтобетон плотный на БНД марки 60/90	4	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
2.	Асфальтобетон пористый на БНД марки 60/90	4	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3.	Асфальтобетон высокопористый на БНД марки 60/90	14	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
4.	Гравийная смесь	48	205	205	205	-	-	-
5	Супесь пылеватая $W_p = 0,7W_т$	-	46	46	46	-	-	-

3. Расчет по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме рис.3.1:

1) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{гр}}{E^{грав}} = \frac{46}{205} = 0,22$

по Приложению 1 табл.П.1.1 p=0,6 МПа, D=37 см

$\frac{h_в}{D} = \frac{h^{грав}}{D} = \frac{48}{37} = 1,30$

$\frac{E^{грав}_{общ}}{E^{грав}} = 0,6 \qquad E^{грав}_{общ} = 0,6 \cdot 205 = 122$ МПа

2) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{грав}_{общ}}{E^{а/б_3}} = \frac{122}{2000} = 0,06 \qquad \frac{h^{а/б_3}}{D} = \frac{14}{37} = 0,38$

$\frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_3}} = 0,13 \qquad E^{а/б_3}_{общ} = 0,13 \cdot 2000 = 260$ МПа

3) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_2}} = \frac{260}{2000} = 0,13 \qquad \frac{h^{а/б_2}}{D} = \frac{4}{37} = 0,11$

$\frac{E^{а/б_2}_{общ}}{E^{а/б_2}} = 0,145 \qquad E^{а/б_2}_{общ} = 0,145 \cdot 2000 = 290$ МПа

4) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_1}} = \frac{290}{3200} = 0{,}091$ $\frac{h^{а/б_1}}{D} = \frac{4}{37} = 0{,}11$

$\frac{E_{общ}}{E^{а/б_1}} = 0{,}105$ $E_{общ} = 0{,}105 \cdot 3200 = 336$ МПа

Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.9):

$E_{тр} = 98{,}65[\lg(\sum N_р) - 3{,}55] = 98{,}65[\lg 1124\,607 - 3{,}55] = 247$ МПа

Определяют коэффициент прочности по упругому прогибу:

$\frac{E_{общ}}{E_{тр}} = \frac{336}{247} = 1{,}36$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу 1,17 (табл.3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

4. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в грунте.

Действующие в грунте активные напряжения сдвига вычисляем по формуле (3.13):

$T = \bar{\tau}_н \cdot p$

Для определения $\bar{\tau}_н$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве нижнего слоя модели принимаем грунт (супесь пылеватая) со следующими характеристиками: (при $W_р$=0,7$W_т$ и $\sum N_р$=1 214 250 авт.) $E_н$=46 МПа (табл.П.2.5); φ=12° и с=0,004 МПа (табл.П.2.4).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл.П.3.2 при расчетной температуре +20°С (табл.3.5).

$E_в = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot 4 + 1200 \cdot 14 + 205 \cdot 48}{70} = 552$ МПа

По отношениям $\frac{E_в}{E_н} = \frac{552}{45} = 12{,}3$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{70}{37} = 1{,}89$ и при φ=12° с помощью номограммы (рис.3.3) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,0153 МПа.

Таким образом:T = 0,053·0,6 = 0,0092 МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14), где C_N = 0,004 МПа, $K_д$ = 1,0.

$Z_{оп}$=4+4+14+48 = 70 см.

$\varphi_{ст}$=35° (табл. 2.4)

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^2

$T_{пр}$ = 0,004+0,1·0,002·70·tg35° = 0,0138,

где 0,1 – коэффициент для перевода в МПа

$K_{пр} = \frac{0,0138}{0,0092} = 1,50$, что больше $K_{пр}^{тр} = 1,00$ (табл.3.1).

5. Рассчитываем конструкцию на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Расчет выполняем в следующем порядке:

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели, где нижний слой модели – часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. щебеночное основание и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя определяем по номограмме рис.3.1.

$E_н = 122$ МПа

К верхнему слою относят все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя устанавливаем по формуле (3.12)

$$E_в = \frac{4500 \cdot 4 + 2800 \cdot 4 + 2100 \cdot 14}{22} = 2664 \text{ МПа}$$

Модули упругости асфальтобетонных слоев назначаем по табл.П.3.1.

б) По отношениям $\frac{h_B}{D} = \frac{22}{37} \approx 0,59$ и $\frac{E_B}{E_H} = \frac{2664}{122} = 21,8$ по номограмме рис.3.4 определяем $\bar{\sigma}_r = 1,98$ МПа.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (3.16):

$\sigma_r = 1,38 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,70$ МПа

в) Вычисляем предельное растягивающее напряжение по формуле (3.17):

при R_O=5,65 МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (табл.П.3.1)

ν_R=0,10 (табл.П.4.1)

t=1,71 (табл.П.4.2)

$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}$ (формула 3.18)

m=4; α=6,3 (табл.П.3.1)

$\sum N_p$= 1 124 607 авт.;

$k_1 = \frac{6,3}{\sqrt[4]{1124607}} = 0,193$

$k_2 = 0,85$ (табл. 3.6)

R_N= 5,65·0,193·0,85(1-0,1·1,71) = 0,77

г) $\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,77}{0,70} = 1,1$, что больше $K_{пр}^{тр} = 1,0$ (табл.3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

Проверка на морозоустойчивость

Материал	Толщина слоя $h_{од(i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(мК)
Плотный асфальтобетон	0,04	1,40
Пористый асфальтобетон	0,04	1,25
Высокопористый асфальтобетон	0,14	1,05
Гравийная смесь	0,48	2,10

1. В соответствии с п.п. 1-2 Проверки на морозоустойчивость Примера 1 определяем глубину промерзания $z_{пр}$ = 2,0 м и для толщины дорожной одежды 0,7 м величину пучения для осредненных условий $l_{пуч.ср}$ = 7,0 см.

2. По таблицам и графикам находим коэффициенты $K_{угв}$ = 0,67 (рис. 4.1); $K_{пл}$ = 1,2 (табл. 4.4); $K_{гр}$ = 1,1 (рис.4.5); $K_{нагр}$ = 0,92 (рис.4.2); $K_{вл}$ = 1,1 (рис.4.6).
По формуле 4.2 находим величину пучения для данной конструкции
$l_{пуч}=l_{пуч.(ср)}\cdot K_{угв}\cdot K_{пл}\cdot K_{гр}\cdot K_{нагр}\cdot K_{вл}$ = 7,0·0,67·1,2·1,1·0,92·1,1 = 6,26 (см).

3. Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения согласно табл. 4.3 составляет 4 см, следует назначить морозозащитный слой и выполнить расчет его толщины. Предварительно ориентировочно определяем необходимую толщину морозозащитного слоя при допустимой величине морозного пучения $l_{доп}$ = 4 см.

Для этого определяем величину морозного пучения для осредненных условий $l_{пуч.ср}$, при которой морозное пучение для данной конструкции не превышает 4 см

$l_{пуч.ср} = l_{доп}/ K_{угв}\cdot K_{пл}\cdot K_{гр}\cdot K_{нагр}\cdot K_{вл}$ = 4/(0,67·1,2·1,1·0,92·1,1) = 4,47 см;
По номограмме рис. 4.3 определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{од}$ = 1,03 ≈ 1,05 м, отсюда толщина морозозащитного слоя $h_{мрз}$ = = 1,05–0,70=0,35 м.

4. Для уточнения требуемой толщины морозозащитного слоя выполняем расчеты с учетом теплофизических характеристик отдельных слоев (Табл. П.5.1) и задаемся толщиной морозозащитного слоя $h_{мрз}$ = 0,35 м.
Для использования в морозозащитном слое назначаем крупнозернистый песок с коэффициентами теплопроводности в талом и мерзлом состояниях соответственно $\lambda_т$ = 1,74 Вт/(мК) и $\lambda_м$ = 2,32 Вт/(мК)

$$\lambda_{ср} = (1{,}74 + 2{,}32)/2 = 2{,}03 \text{ Вт/(мК)}$$

5. По формуле (4.7) определяем термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного слоя

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{n} h_{од(i)}/\lambda_{од(i)} = 0{,}04{:}1{,}40 + 0{,}04{:}1{,}25 + 0{,}14{:}1{,}05 + 0{,}48{:}2{,}10 =$$

$= 0{,}42$ ($м^2$ К/Вт);

6. По карте изолиний рис. 4.5 определяем номер изолинии – V;

7. По табл. 4.9 находим $C_{пуч} = 1{,}35$;

8. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 1{,}05$ м для сильнопучинистого грунта при помощи интерполяции определяем $C_р = 0{,}645$;

9. Вычисляем отношение $l_{доп}/(C_{пуч}. C_р) = 4/(1{,}35{\cdot}0{,}64) = 4{,}59$ см;

10. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции приведенное термическое сопротивление $R_{пр} = 0{,}78$ ($м^2$ К/Вт);

11. По табл. 4.7 $K_{од} = 0{,}90$; $K_{увл} = 1{,}0$ (п.4.11); $\delta = 0{,}95$;

По формуле (4.7) $R_{од(тр)} = R_{пр}{\cdot}K_{од}{\cdot}K_{увл}{\cdot}\delta = 0{,}67$ ($м^2$ К/Вт);

12. По формуле (4.5) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}){\cdot}\lambda_{мрз} = (0{,}67 - 0{,}42){\cdot}2{,}03 = 0{,}51$ м

13. Разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ превышает 5 см. Расчет продолжаем, задавшись $h_{мз} = 0{,}50$ м.

14. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 1{,}20$ м для сильнопучинистого грунта при помощи интерполяции определяем $C_р = 0{,}63$;

15. Вычисляем отношение $l_{доп}/(C_{пуч}. C_р) = 4/(1{,}35{\cdot}0{,}61) = 4{,}7$ см;

16. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции $R_{пр} = 0{,}81$ ($м^2$ К/Вт);

17. По табл. 4.7 $K_{од} = 0{,}95$; $K_{увл} = 1{,}0$ (п.4.11); $\delta = 0{,}95$;

18. По формуле (4.7) $R_{од(тр)} = R_{пр}{\cdot}K_{од}{\cdot}K_{увл}{\cdot}\delta = 0{,}69$ ($м^2$ К/Вт);

19. По формуле (4.5) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}){\cdot}\lambda_{мрз} = (0{,}69 - 0{,}42){\cdot}2{,}03 = 0{,}54$ м.

Разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ не превышает 5 см. Принимаем $h_{мз} = 0{,}50$ м.

Пример 6.

Выполнить проверку конструкции на морозоустойчивость и, если потребуется, определить толщину морозозащитного слоя на участке дороги, проходящей в районе г. Москвы. Проверка дорожной одежды на прочность выполнена.

Исходные данные.

1. Дорога III технической категории.
2. Участок дороги расположен во II_2 дорожно-климатической зоне, в Московской области.
3. Высота насыпи составляет 1,5 м, толщина дорожной одежды – 0,70 м, толщины слоев приведены в таблице;
4. Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.

Глубина залегания грунтовых вод – 0,5 м.

5. Грунт насыпи и естественного основания – суглинок тяжелый пылеватый, который относится к сильнопучинистым грунтам.
7. Влажность грунта насыпи составляет $0{,}7W_т$.
8. Срок службы дорожной одежды между капитальными ремонтами – 10 лет.

Расчет.

Материал	Толщина слоя $h_{од(i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(мК)
Плотный асфальтобетон	0,05	1,40
Пористый асфальтобетон	0,15	1,25
Гранитный щебень, обработанный вязким битумом	0,30	1,28
Крупнозернистый песок	0,20	2,03*

*Поскольку в период промерзания дорожной конструкции песок находится сначала в талом, а затем в мерзлом состоянии, в расчет вводят среднеарифметическое значение коэффициентов теплопроводности $\lambda_г$ и $\lambda_м$.

1. По карте рис. 4.4 определяем среднюю глубину промерзания $z_{пр(ср)}$ для условий г. Москвы, умножаем ее на поправочный коэффициент и находим таким образом глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$:

$z_{пр} = 1{,}40 \cdot 1{,}38 = 1{,}93$ м $\approx 2{,}00$ м.

2. Для глубины промерзания 2,00 м по номограмме (рис. 4.3) по кривой для сильнопучинистых грунтов (группа IV) при толщине дорожной одежды 0,7 м определяем величину морозного пучения для осредненных условий $l_{пуч.ср} = 7{,}2$ см.

По таблицам и графикам находим коэффициенты:

$К_{угв}$ = 0, 7 (рис. 4.1); $К_{пл}$ = 1,2 (табл. 4.4); $К_{гр}$ = 1,3 (рис.4.5); $К_{нагр}$ = 0,92 (рис.4.2); $К_{вл}$ = 1,3 (рис.4.6).

По формуле 4.2 определяем величину морозного пучения для данной конструкции:

$l_{пуч} = l_{пуч.ср} \cdot К_{угв} \cdot К_{пл} \cdot К_{гр} \cdot К_{нагр} \cdot К_{вл}$ = 7,2·0,7·1,2·1,3·0,92·1, = 7,9 (см).

Поскольку для данного типа дорожных одежд допустимая величина пучения согласно табл. 4.3 составляет 4 см, следует выполнить расчет морозозащитного слоя.

3. Предварительно ориентировочно определяем необходимую толщину морозозащитного слоя при допустимой величине пучения $l_{доп.}$ = 4 см. Для этого по формуле (4.3) определяем величину морозного пучения для осредненных условий, при которой пучение для данной конструкции не превышает 4 см.

$l_{пуч.ср} = l_{доп.} / К_{угв} \cdot К_{пл}\, К_{гр} \cdot К_{нагр}\ К_{вл}$

$l_{пуч.ср}$ = 4/(0,7 · 1,2 · 1,3 · 0,92 · 1,1) = 3,62 (см).

По номограмме (рис. 4.3) при $z_п$ = 2,00 м определяем толщину дорожнсй одежды, включая морозозащитный слой, $h_{од}$ = 1,30 м, отсюда толщина морозозащитного слоя 1,30 – 0,70=0,60 м.

Для уточнения требуемой толщины морозозащитного слоя выполняем расчеты с учетом теплофизических характеристик отдельных слоев (Табл. П.5.1). Задаемся толщиной морозозащитного слоя 0,60 м.

Для использования в морозозащитном слое назначаем крупнозернистый песок с коэффициентами теплопроводности в талом и мерзлом состояниях соответственно $\lambda_т$ = 1,74 Вт/(мК) и $\lambda_м$ = 2,32 Вт/(мК)

$$\lambda_{ср} = (1,74 + 2,32)/2 = 2,03 \text{ Вт/(мК)}$$

4. По формуле (4.6)

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{i=n_{од}} h_{од(i)}/\lambda_{од(i)} = 0,05:1,40 + 0,15:1,25 + 0,30:1,28 + 0,20:2,03 =$$

= 0,48 ($м^2$ К/Вт).

5. По карте изолиний рис. 4.5 определяем номер изолинии, соответствующий месту положения трассы – V. По табл. 4.9 для сильнопучинистых грунтов по номеру изолинии V находим $С_{пуч}$ = 1,35.

При величине $h_{од}$ = 1,30 м расстояние от низа дорожной одежды до залегания грунтовых вод $Н_у$ = 0,7 м. По табл. 4.10 при $h_{од}$ = 1,3 м для $h_{пр(доп)}$ в интервале 0-100 методом интерполяции находим $С_р$ = 0,72.

6. Вычисляем отношение $l_{доп}/(С_{пуч.}\, С_р)$ = 4;(1,35·0,72) = 4,12 см.

7. По номограмме рис. 4.6 определяем методом интерполяции определяем приведенное термическое сопротивление $R_{пр}$ = 0,91 $м^2$ К/Вт.

8. По табл. 4.7 $К_{од} = 0,90$. В соответствии с п.4.10 $К_{увл} = 1,0$; $\delta = 0,95$.

9. По формуле (4.8) $R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot К_{од} \cdot К_{увл} \cdot \delta = 0,91 \cdot 0,90 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 0,78$ м^2 К/Вт.

10. По формуле (4.6) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мрз} = (0,78 - 0,48) \cdot 2,03 = 0,61$ м. Разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ превышает 5 см. Принимаем $h_{мз} = 0,60$ см.

Пример 7.

Определить толщину теплоизолирующего слоя из пенопласта для указанной дороги в районе г. Москвы. Исходные данные те же, что и в предыдущем примере.

Расчет.

1. В соответствии с п.4 предыдущего примера $R_{од(о)} = 0,48$ м^2 К/Вт.

2. По табл. 4.11 для сильнопучинистых грунтов находим $С_п = 1,5$.

При толщине дорожной одежды $h_{од} = 0,70$ м расстояние от низа дорожной одежды до УГВ H_γ составит 1,3 м.

3. Принимаем допустимую глубину промерзания $h_{пр(доп)}$ 0-50 и по табл 4.10 методом интерполяции между $h_{од} = 0,50$ м и $h_{од} = 1,0$ определяем $С_р = 0,81$.

4. Находим $l_{доп}/С_п \cdot С_р = 4:(1, 5 \cdot 0,81) = 3,3$. При $H_\gamma = 1,3$ м по номограмме рис. 4.5 получаем значение $h_{пр(доп)} = 82$ см.

5. Поскольку значение $С_р$ было определено для интервала $h_{пр(доп)}$ 0-50, возвращаемся к табл. 4.10 и находим при $h_{пр(доп)}$ = 0-1,0 м и $h_{од} = 0,70$ м $С_р = 0,78$. Для этих значений по номограмме рис. 4.6 определяем $R_{пр} = 0,86$ в соответствии с п.8 и п.9 предыдущего примера.

$R_{од(тр)} = 0,86 \cdot 0,90 \cdot 1,0 \cdot 0,95 = 0,74$ м^2 К/Вт.

6. По графику рис. 4.7 при $R_{од(тр)} = 0,74$ м^2 К/Вт и $R_{од(о)} = 0,47$ м^2 К/Вт находим $h_п = 1,5$ см. Учитывая минимальные размеры плиты пенопласта, принимаем толщину теплоизолирующего слоя 3 см.

Пример 8

Исходные данные

1. Участок дороги III технической категории расположен в Московской области.

2. Высота насыпи составляет 1,5 м, толщина дорожной одежды, включая морозозащитный слой – 1,10 м.

3. Толщина морозозащитного слоя из мелкозернистого песка 0,50 м, коэффициент фильтрации $К_ф$ = 2,1 м/сут, пористость n = 0,32.

4. Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.

5. Грунт насыпи и естественного основания – супесь пылеватая.

6. Уклон дренирующего слоя i = 0,03.

Требуется оценить возможность работы морозозащитного слоя как дренирующего.

Расчет.

1. Поскольку коэффициент фильтрации песка достаточно высок, дренирующий слой рассчитывают на осушение.

По табл. 5.3 находят удельный приток воды во II ДКЗ для 3-ей схемы увлажнения q = 3,5 л/м^{2}сут. По табл. 5.4. $К_п$ = 1,6; $К_г$ = 1,0. Ввиду отсутствия переломов продольного профиля на участке, а также специальных мероприятий по уменьшению притока, $К_{вог}$ = 1; $К_р$ = 1.

2. По формуле (5.2) расчетный приток воды в дренирующий слой составляет

$q_р = q \cdot К_п \cdot К_г : 1000 = 3,5 \cdot 1,6 \cdot 1,0 : 1000 = 0,0056$ м^3/м^{2}сут.

3. Для расчета используют номограмму рис. 5.1.

Для двускатного профиля

$$q' = q_р B / 2 = 0,0056 \cdot 7 : 2 = 0,0196 \text{м}^3 / \text{м}^2;$$

$$q' / К_ф = 0,0196 : 2,1 = 0,0093;$$

По номограмме для отношения $q_р/К_ф$ находят величину $3,5h_{нас}/L = 0,07$,

где L – путь фильтрации, для двускатного профиля – половина длины дренирующего слоя; L = B/2 + a + δ;

B – ширина проезжей части;

a – ширина обочины;

δ – средняя длина участка дренирующего слоя, расположенная в откосной части земляного полотна, равная сумме толщины дорожной одежды и половине толщины дренирующего слоя, умноженной на заложение откоса;

L = 7/2 + 2,5 + (0,79 + 0,60/2)·1,5 = 9,6 м;

отсюда $h_{нас}$ = 0,19 м.

Тогда полная толщина дренирующего слоя

$h_п = h_{зап} + h_{нас} = 0,20 + 0,19 = 0,39$ м.

4. Проверку на временное поглощение воды дренирующим слоем выполняют по формуле (5.4). По табл. 5.6 $\varphi_{зим} = 0,45$; $T_{зап} = 6$ сут.

$h_р = (q_р \cdot T_{зап}/n + 0,3h_{зап}):(1 - \varphi_{зим}) = (0,0056 \cdot 6:0,27 + 0,3 \cdot 0,20):(1 - 0,5) = 0,3$ м.

Расчет окончен.

Пример 9.

Исходные данные.

1. Участок дороги III технической категории расположен в Московской области.

2. Высота насыпи составляет 1,5 м, толщина дорожной одежды – 0,79 м.

3. Толщина морозозащитного слоя из среднезернистого песка 0,60 м, коэффициент фильтрации $К_ф$ = 1,2 м/сут, пористость n = 0,34.

4. Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.

5. Грунт насыпи и естественного основания – супесь пылеватая.

6. Уклон дренирующего слоя i = 0,03.

Требуется оценить возможность работы морозозащитного слоя как дренирующего.

Расчет.

Расчет толщины дренирующего слоя выполняют на осушение.

1. В соответствии с п.п. 1-3 предыдущего примера $q_р = 0,0056$ м^3/м^{2}сут

$q' = q_р B / 2 = 0,0056 \cdot 7 : 2 = 0,0196$м^3 / м^2;

$q' / К_ф = 0,0196 : 2,1 = 0,0093$;

2. По номограмме рис. 5.1 определяют $3,5h_{нас}/L = 0,28$; L = 9,6 м (см. п.3 предыдущего примера), отсюда $h_{нас} = 0,77$

$h_п = h_{зап} + h_{нас} = 0,20 + 0,77 = 0,97$ м.

Поскольку требуемая толщина дренирующего слоя превышает заданную, следует применить конструкцию с прикромочным дренажем. Примем, что продольная дрена расположена под серединой обочины. В этом случае путь фильтрации L = B/2 + a/2 = 4,75 м.

3. По номограмме рис. 5.4 по величине $q_р/К_ф = 0,0056/1,2 = 0,0047$ находят 2 значения $h_п$: для L = 5,0 м и L = 3,5 м. По методу интерполяции $h_п = 0,40$ м.

4. Проверку на временное поглощение воды дренирующим слоем выполняют по формуле (5.4). По табл. 5.6 $φ_{зим} = 0,4$; $Т_{зап} = 6$ сут.

$h_п = (q_р \cdot Т_{зап}/n + 0,3h_{зап}):(1 - φ_{зим}) = (0,0056 \cdot 6 : 0,27 + 0,3 \cdot 0,20):(1 - 0,4) = 0,31$ м.

Расчет окончен.

Пример 10

Исходные данные

1. Участок дороги III технической категории расположен в Московской области.

2. Высота насыпи составляет 1,5 м, толщина дорожной одежды – 0,70 м.

3. Толщина морозозащитного слоя из среднезернистого песка 0,70 м, коэффициент фильтрации $К_ф$ = 0,49 м/сут, пористость n = 0,28.

4. Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.

5. Грунт насыпи и естественного основания – супесь пылеватая.

6. Уклон дренирующего слоя i = 0,03.

Требуется оценить возможность работы морозозащитного слоя как дренирующего.

Расчет

Ввиду того, что коэффициент фильтрации грунта достаточно низкий, дренирующий слой рассчитывают на поглощение.

По табл. 5.6 для n = 0,28 $\varphi_{зим}$ = 0,55;

По табл. 5.3 для условий II дорожно-климатической зоны и 3-й схемы увлажнения $Q_р$ = 60 л/м^2. По формуле 5.3:

$h_п = (Q_р/1000n + 0{,}3h_{зап}):(1- \varphi_{зим}) = [60:(1000 \cdot 0{,}28)+0{,}3 \cdot 0{,}15]:(1-0{,}55) = 0{,}58$ м.

Расчет окончен.

Пример 11

Исходные данные.

1. Участок дороги III технической категории расположен в Московской области.

2. Высота насыпи составляет 1,5 м, толщина дорожной одежды совместно с дренирующим (морозозащитным) слоем – 1,10 м.

3. Конструкция дорожной одежды

Материал	Толщина слоя h, м
Плотный асфальтобетон	0,04
Пористый асфальтобетон	0,08
Высокопористый асфальтобетон	0,14
Укрепленная щебеночно-гравийно-песчаная смесь	0,26
Песок средней крупности	0,70

4. Конструкция дренирующего слоя – дренирующий слой из среднезернистого песка под проезжей часть с трубчатыми дренами.

5. Грунт насыпи и естественного основания – супесь пылеватая.

6. Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – III.

Требуется определить расчетную влажность грунта насыпи без испытаний.

Расчет

Расчетную влажность определяют по формуле П 2.1

$$W_p = \left(\overline{W}_{таб} + \Delta_1\overline{W} - \Delta_2\overline{W}\right)(1 + 0{,}1t) - \Delta_3$$

По табл.П.2.1 для условий II_2 дорожно-климатической подзоны, 3-й схемы увлажнения определяем $\overline{W}_{таб}$=0,72;

По табл. П 2.2 поправка $\Delta_1\overline{W} = 0$;

По табл. П. 2.3 поправка $\Delta_2\overline{W} = 0{,}09$ (за счет укрепленного слоя основания из щебеночно-гравийно-песчаной смеси – 0,04 и за счет дренажа с продольными трубчатыми дренами – 0,05);

По графику рис. П 2.1 поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды $\Delta_3 = 0{,}003$;

По табл. П 4.2 для уровня надежности 0,95 коэффициент нормированного отклонения t = 1,71.

$W_p = (0{,}72 - 0{,}09)(1 + 1{,}71) - 0{,}003 = 0{,}699 \approx 0{,}7$ (доли от $W_т$).

Расчет окончен.

Пример 12

Исходные данные

Автомобильная дорога II категории расположена в регионе Нижнего Новгорода.

Грунт земляного полотна – супесь тяжелая пылеватая.

Глубина выемки составляет 100 см.

Расчетный уровень грунтовых вод – на глубине 120 см от поверхности земляного полотна.

Экспериментально установленное значение коэффициента влагопроводности $K_{вл} = 5$ см^2/ч.

Начальная влажность $W_o = 0,12$, предел текучести $W_т = 0,18$, плотность сухого грунта $\rho = 1,66$ г/см^3.

Суммарная толщина дорожной одежды, имеющей асфальтобетонное покрытие, равна 60 см.

Требуется определить среднюю осеннюю влажность $W_{осср}$, среднюю весеннюю влажность $W_{весср}$ и морозное пучение $h_{пуч}$.

Расчет.

1. Из табл. П.7.2 находим для Нижнего Новгорода $t_{вл} = 1440$ ч., $t_{пр} = 182$ суток, $\sigma = 26,21$.

2. Вычисляем по зависимости (П.7.6) значение критерия осеннего влагонакопления:

$F_{ОН} = K_{ВЛ} \cdot t_{вл} / h^2 = 5 \cdot 1440 / 120^2 = 0,50$;

3. Определяем параметр $h_{АВ} = h_А / h_В$. В соответствии с (П.7.7) $h_А = 160 - 60 = 100$ см. Тогда $h_{АВ} = 100/120 = 0,83$.

4. По графику рис. П.7.2 находим $\Delta W_{отн} = 0,73$.

5. Используя (П. 7.5) и приняв $\Delta = 2,68$, получим $W_{ПВ} = 1/1,66 - 1/2,68 = 0,23$.

6. По зависимости (П. 7.4) находим $W_{осср} = 0,12 + 0,73 \cdot (0,23 - 0,12) = 0,20$.

7. По зависимости (П.7.12) вычисляем характеристику скорости промерзания $\alpha = 1,24 + 0,72 \cdot \ln\sigma - 0,05 \cdot h_s = 1,24 + 0,72 \cdot \ln 26,21 = 3,59$.

8. Используя (П.7.9), вычисляем критерий зимнего влагонакопления Z:

$Z = 3,59 / (2 \cdot \sqrt{5}) = 0,80$

9. По графику рис. П.7.3. находим $C = 1,50$.

10. Для супеси тяжелой пылеватой из табл. П. 7.1 находим $W_h = 0,09$ и $W_{из} = 0,06$.

11. С помощью (П. 7.8) находим $W_{ВЕССР} = 0,09 + (0,20 - 0,09) \cdot 1,50 = 0,26$.

12. По зависимости (П.7.15) находим глубину промерзания грунта $h_{пр}$:

$$h_{пр} = \alpha \cdot \sqrt{t_{пр} \cdot 24} = 3,59 \cdot \sqrt{182 \cdot 24} = 237 \text{ см}.$$

Так как $h_{пр} > h_{кр}$, то принимаем в соответствии с данными таблицы П.7.1. $h_{пр} = 130$ см.

13. Вычисляем по формуле (П.7.14) вероятную величину морозного пучения $h_{пуч}$.;

14. $h_{пуч} = 130 \cdot (1,66/1,0) \cdot [1,09 \cdot (0,26 - 0,06) - (0,23 - 0,06)] = 10,4$ см.

Поскольку полученная величина морозного пучения превышает допустимую для асфальтобетонного покрытия (4 см), намечаем в составе дорожной одежды слой из пеноплэкса толщиной 8 см.

Выполняем весь вышеприведенный цикл расчетов с учетом данного мероприятия, сохранив нумерацию соответствующих позиций расчетов.

3. Уточняем значение параметра $h_A = 160 - (60 + 8) = 92$ см, $h_{АВ} = 92/120 = 0,77$.

4. По графику рис. П.7.2 находим $\Delta W_{отн} = 0,72$.

6. Находим $W_{ОССР} = 0,12 + 0,72 \cdot (0,23 - 0,12) = 0,20$.

7. По зависимости (П.7.12) вычислим характеристику скорости промерзания $\alpha = 1,24 + 0,72 \cdot 1n\sigma - 0,05 \cdot 8 = 3,19$.

8. Используя (П.7.9), вычислим критерий зимнего влагонакопления Z:

$Z = 3,19 / (2 \cdot \sqrt{5}) = 0,71$

9. По графику рис. П.7.3 находим $C = 1,57$.

11. С помощью (П.7.8) находим $W_{ВЕССР} = 0,09 + (0,20 - 0,09) \cdot 1,57 = 0,26$.

12. По зависимости (П.7.16) находим глубину промерзания грунта $h_{пр}$:

$h_{пр} = 151 - (13,93 - 0,0067 \cdot 26,21) \cdot 8 = 41$ см.

13. Вычисляем по формуле (П.7.14) вероятную величину морозного пучения $h_{пуч}$:

$h_{пуч} - 41 \cdot (1,66/1,0) \cdot [1,09 \cdot (0,26 - 0,6) - (0,23 - 0,6)] = 3,3$ см.

Расчет окончен.

СПИСОК УЧАСТНИКОВ РАЗРАБОТКИ ОДН

Руководители работ и ответственные исполнители: к.т.н. В.М.Юмашев и д.т.н. В.Д.Казарновский (Союздорнии).

В подготовке текста ОДН участвовали сотрудники Союздорнии: д.т.н. В.И.Рувинский и к.т.н. Е.С.Пшеничникова (вопросы расчета на морозоустойчивость и осушение); к.т.н. И.В.Лейтланд и к.т.н. А.Е.Мерзликин (вопросы расчета на прочность); к.т.н. В.С.Исаев, к.т.н. Г.Н.Кирюхин, инж. В.А.Зельманович, инж. М.Л.Попов (расчетные характеристики дорожно-строительных материалов).

Кроме материалов Союздорнии непосредственно использованы в тексте материалы, полученные от организаций-соисполнителей:

С.-Петербургского филиала Союздорнии (д.т.н. Ю.М.Васильев, к.т.н. П.И.Теляев, к.т.н. А.О.Салль, к.т.н. А.М.Симановский, к.т.н. Т.Н.Полтаранова, инж. В.А.Мазуров) – вопросы расчета дорожной одежды на прочность по критериям сдвига и растяжения при изгибе и расчет на морозоустойчивость;

Омского филиала Союздорнии (к.т.н. А.С.Пилипенко, к.т.н. Белоусов) – расчетные характеристики грунтов с учетом многократной нагрузки;

МАДИ (ТУ) (д.т.н. А.П.Васильев, д.т.н. В.П.Носов, д.т.н. Ю.М.Яковлев, к.т.н. М.С.Коганзон, к.т.н. В.К.Апестин, к.т.н. П.П.Петрович, к.т.н. М.Г.Горячев, инж. Е.В.Жустарева) – вопросы расчета по упругому прогибу;

ГП «Росдорнии» (д.т.н. В.А.Кретов, к.т.н. А.И.Дудаков, к.т.н. В.М.Ольховиков, д.т.н. А.В.Руденский, к.т.н. Г.С.Бахрах, инж. А.М.Стрижевский) – расчетные характеристики дорожно-строительных материалов и воздействие от транспортной нагрузки;

Военной академии тыла и транспорта (д.т.н. И.А.Золотарь) – расчет на морозоустойчивость.

Наряду с этим принимались во внимание замечания и предложения, полученные от Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ) (д.т.н. А.В.Смирнов, д.т.н. В.Н.Шестаков, к.т.н. А.А.Малышев, к.т.н. А.Г.Малофеев, к.т.н. В.В.Сиортюк, инж. В.В.Сычев, инж. А.С.Александров, инж. И.А.Брежнец).

Учитывались также опубликованные материалы исследований, выполненных в период 1985-95 гг. под руководством проф.В.А.Семенова (учет статистического характера показателей механических свойств) и проф. А.Я.Тулаева (расчет на осушение), под руководством проф. Б.С.Радовского (вопросы усталостного сопротивления асфальтобетонных слоев), а также опубликованные материалы исследований, выполненных под руководством к.т.н. Ю.В.Бутлицкого и проф. Б.Б.Каримова (по особенностям водно-теплового режима и расчетным параметрам дорожных одежд в V дорожно-климатической зоне и в горной местности).

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 3
2. Конструирование дорожной одежды 6
Задачи и принципы конструирования 6
Конструирование покрытий и оснований капитальных дорожных одежд 11
Конструирование покрытий и оснований облегченных и переходных дорожных одежд 12
Конструирование дополнительных слоев основания 13
Особенности конструирования дорожных одежд со слоями из малопрочных материалов и побочных продуктов промышленности 16
Мероприятия по повышению прочности и стабильности рабочего слоя земляного полотна 17
Учет региональных особенностей 17
Принципы назначения конструкций дорожных одежд при проектировании, реконструкции существующих дорог 18
3. Расчет дорожных одежд на прочность 18
Основные положения 18
Общая процедура и критерии расчета на прочность 23
Расчет напряжений и деформаций 24
Расчетные параметры подвижной нагрузки 25
Расчет конструкции в целом по допускаемому упругому прогибу 28
Расчет по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев 30
Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе 35
4. Проверка дорожной конструкции на морозоустойчивость 38
5. Проектирование устройств по осушению дорожных одежд и земляного полотна 51
Основные положения 51
Расчет дренирующего слоя 55
Приложение 1. Расчетные нагрузки 62
Приложение 2. Определение расчетных характеристик грунта рабочего слоя земляного полотна при расчете дорожной одежды на прочность 65
Приложение 3. Таблицы нормативных и расчетных значений прочностных и деформационных характеристик конструктивных слоев из различных дорожно-строительных материалов 76
Приложение 4. Назначение статистических параметров 85
Приложение 5. Теплофизические характеристики конструктивных слоев из различных дорожно-строительных материалов 86

Приложение 6. Параметры для определения расчетного суммарного числа приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды 88
Приложение 7. Методика определения и использования коэффициента влагопроводности грунта при проектировании дорожной одежды 92
Приложение 8. Примеры расчета 101
Приложение 9. Список участников разработки ОДН 143

Подписано в печать 14.06.2001 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 8,2. Печ.л. 9,25. Тираж 850. Изд. № 86. Зак. № 91.

Адрес ГП «Информавтодор»:
129085, Москва, Звездный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел. (095) 747-9100, 747-9181
Тел./факс: 747-9113
e-mail: gost.e-ecolog.ru
Ротапринт Информавтодора: Москва, Зеленодольская, 3

gost.e-ecolog.ru