МОДН 2-2001

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЕ ОТРАСЛЕВЫЕ ДОРОЖНЫЕ НОРМЫ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Издание официальное

МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЙ СОВЕТ ДОРОЖНИКОВ

Москва 2002

gost.e-ecolog.ru

МОДН 2-2001

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЕ ОТРАСЛЕВЫЕ
ДОРОЖНЫЕ НОРМЫ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Издание официальное

МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЙ СОВЕТ ДОРОЖНИКОВ

Москва 2002

УДК 625.856:625.72 (083.75)
МОДН 2–2001

1. **Разработаны** ФГУП «Союздорнии» с участием Санкт-Петербургского филиала ФГУП «Союздорнии», Омского филиала ФГУП «Союздорнии», МАДИ (ТУ), ГП «Росдорнии».

Внесены Государственной службой дорожного хозяйства (Росавтодор) Министерства транспорта Российской Федерации

2. **Приняты** Межправительственным советом дорожников на XV заседании 15 декабря 2000 г., г. Саратов.

3. **Взамен** «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа» ВСН 46-83 Минтрансстроя СССР.

Настоящие нормы не могут быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распространены в качестве официального издания без разрешения Межправительственного совета дорожников

© Государственный дорожный научно-исследовательский институт ФГУП «Союздорнии», 2002

Межправительственный совет дорожников (МСД)	Межгосударственные отраслевые дорожные нормы	МОДН 2-2001
	Проектирование нежестких дорожных одежд	Взамен ВСН 46-83

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие нормы содержат указания по конструированию и расчету нежестких одежд автомобильных дорог общей сети. Ими следует пользоваться

- ✧ при проектировании одежд на вновь сооружаемых дорогах, на новых участках реконструируемых дорог;
- ✧ 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 асфальтобетонов разного вида (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, состоящая из одного или нескольких единообразных по материалу слоев, воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов. По поверхности покрытия могут быть устроены слои поверхностных обработок различного назначения (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 сни-

Внесены Государственной службой дорожного хозяйства (Росавтодор) Минтранс РФ	Приняты Межправительственным советом дорожников на XV заседании 15 декабря 2000 г.	Срок введения в действие с 15 апреля 2001 г.

Издание официальное

жение их величины в грунте рабочего слоя земляного полотна (подстилающем грунте), а также морозоустойчивость и осушение конструкции. Следует различать *несущую часть* основания (несущее основание) и его *дополнительные* слои.

Несущая часть основания должна обеспечивать прочность дорожной одежды и быть морозоустойчивой.

Дополнительные слои основания — это слои между несущим основанием и подстилающим грунтом, предусматриваемые при неблагоприятных погодно-климатических и грунтово-гидрологических условиях. Эти слои совместно с покрытием и основанием должны обеспечивать необходимые морозоустойчивость и дренирование конструкции и позволять снижать толщину вышележащих слоев из дорогостоящих материалов. В зависимости от функции дополнительный слой называют морозозащитным, теплоизолирующим, дренирующим. К ним 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 специальных материалов (геотекстильный материал, пенопласт, полимерная пленка и т.п.).

При наличии 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.

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

1 4. Дорожные одежды капитального и облегченного типов с усовершенствованным покрытием проектируют с таким расчетом, чтобы за межремонтный срок не возникло разрушений и недопустимых (с точки зрения предусмотренных действующими нормами требований к ровности покрытия) остаточных дефор-

Таблица 1.1

Тип дорожной одежды	Вид покрытия	Материал и способ укладки
Капитальный	Усовершенствованное	Горячая асфальтобетонная смесь.
Облегченный	То же	Горячая и холодная асфальтобетонные смеси. Органоминеральные смеси с жидкими органическими вяжущими, то же, совместно с минеральными вяжущими; с вязкими, в том числе эмульгированными, органическими вяжущими; с эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными. Каменные материалы и грунты, обработанные битумом смешением на дороге или методом пропитки; то же, обработанные органическими вяжущими методом пропитки. Черный щебень, приготовленный в установке и уложенный способом заклинки. Пористая и высокопористая асфальтобетонная смесь с поверхностной обработкой. Прочный щебень с двойной поверхностной обработкой
Переходный	Переходные	Щебень прочных пород по способу заклинки; грунты и малопрочные каменные материалы, укрепленные вяжущими; булыжный и колотый камень (мостовые)
Низший		щебеночно-гравийно-песчаная смесь; малопрочные каменные материалы и шлаки; грунты, укрепленные или улучшенные местными материалами; древесные материалы и др.

маций, а воздействие природных факторов не приводило к недопустимым изменениям в ее элементах.

Дорожные одежды облегченного типа с усовершенствованным покрытием рассчитывают на менее продолжительный межремонтный срок службы, чем капитальных. Поэтому для их устройства можно применять менее долговечные и дорогостоящие материалы и облегчать конструкцию.

При проектировании дорожных одежд переходного типа, выравнивание которых не сопряжено со значительными затра-

тами (щебеночные, гравийные и подобные им покрытия), допускается накопление более значительных 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 мероприятия 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 соответствовать экологическим требованиям. Экономичность конструкции определяют путем сопоставления вариантов, оценивая сравнительную экономическую эффективность капиталовложений 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 следует учитывать, наряду с положениями настоящих Норм, 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 дорожно-строительных процессов.

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 Нормы не распространяются на проектирование дорожных одежд в зоне вечной мерзлоты.

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 на основе технико-экономического обоснования с целью выбрать наиболее экономичный в данных условиях вариант.

2.2. Процесс конструирования включает:

✧ выбор вида покрытия;

✧ назначение числа конструктивных слоев и выбор материала для их устройства, размещение слоев в конструкции и назначение их ориентировочной толщины;

✧ предварительную оценку необходимости дополнительных морозозащитных мероприятий с учетом дорожно-климатической зоны, типа грунта рабочего слоя земляного полотна и схемы его увлажнения на различных участках;

✧ предварительную оценку необходимости назначения мер по осушению конструкции, повышению ее трещиностойкости;

✧ 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, ее конструкция, вид покрытия должны удовлетворять транспортно-эксплуатационным требованиям, предъяв-

ляемым к автомобильной дороге соответствующей категории, и ожидаемым составу и интенсивности движения с учетом их изменения в течение заданных межремонтных сроков и предполагаемых условий ремонта и содержания;

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

в) в районах, необеспеченных 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 наименее материалоемкой конструкции;

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 должно быть минимальным;

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

2.4. При назначении типа покрытия для разных вариантов конструкций дорожных одежд следует руководствоваться положениями действующих ГОСТов на дорожно-строительные материалы и изделия, а также нормами проектирования автомобильных дорог.

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

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

Материал для верхнего слоя асфальтобетонного покрытия должен соответствовать действующим ГОСТ «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» и СНиП «Автомобильные дороги».

В районах с количеством осадков 500 мм/год следует применять высокоплотный либо плотный асфальтобетон с показателем пористости (водонасыщения), соответствующим нижнему допустимому пределу. В районах с сухим климатом (среднегодовое количество осадков менее 400 мм/год) используют плотный асфальтобетон с показателем пористости (водонасыщения), соответствующим верхнему допустимому пределу.

При перспективной интенсивности движения до 3000 авт/сут и при стадийном строительстве допускается устройство покрытия из пористого асфальтобетона с поверхностной обработкой или из высокопористого с двойной поверхностной обработкой.

Конструкция дорожной одежды в местах остановок общественного транспорта, на регулируемых пересечениях и в других местах, где происходит частое изменение скорости или движение на пониженных скоростях, должна обеспечить повышенную сдвигоустойчивость при высоких летних температурах. Для обеспечения этого требования в покрытии предусматривают укладку асфальтобетонных смесей типов А и Б, высокоплотных смесей, а в основании — крупнозернистых асфальтобетонных смесей либо каменных материалов, укрепленных цементом.

Основные задачи при конструировании пакета асфальтобетонных слоев — оптимизировать толщину верхнего слоя из плотного или высокоплотного асфальтобетона и сократить количество слоев.

При стадийном строительстве или возможном перспективном повышении капитальности дорожной одежды допускается применение холодного асфальтобетона после технико-экономического обоснования.

При выборе материала для несущего слоя основания надо учитывать капитальность (тип) дорожной одежды, вид покры-

тия, 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 использовании в его нижнем слое асфальтобетона пониженной сдвигоустойчивости (высокопористый, песчаный). В этом случае общая толщина асфальтобетонных слоев повышенной сдвигоустойчивости (покрытие с основанием из крупнозернистого асфальтобетона) должна быть не менее 12 см.

При устройстве основания из минеральных материалов следует ориентироваться на имеющийся в регионе опыт строительства и эксплуатации дорог Материалы должны удовлетворять требованиям действующих СНиПов 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, то 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 2–3 толщина защитного слоя принимается равной 10 см, при степени неоднородности менее 2 устраивают защитный слой толщиной 15-20

см. В расчетах дорожной одежды на прочность толщину защитного слоя включают в толщину дополнительного слоя основания. При устройстве защитного слоя можно применять геотекстильные материалы.

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 ниже 250 МПа) предусматривают несущий слой основания из прочного щебня либо из укрепленных неорганическими вяжущими материалов минимальной толщины по СНиП. При этом толщину нижнего слоя основания из малопрочного материала обосновывают расчетом

2.8. Неукрепленные зернистые материалы не допускается укладывать между слоями из материалов или грунтов, обработанных вяжущими.

Дополнительные слои основания совместно с верхними слоями и покрытием должны обеспечивать конструкции необходимые прочность, 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.

В случае применения материалов, укрепленных комплексными и медленно твердеющими гидравлическими вяжущими, толщина слоя может быть снижена на 20%, а в условиях

IV—V дорожно-климатических зон — на 30%.

Таблица 2.1.

Тип дорожной одежды	Капитальный	Облегченный
Наименьшая толщина слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее, см	18	12

Для повышения трещиностойкости покрытия можно предусмотреть трещинопрерывающие прослойки из геосеток и геотекстильного материала, использование модифицированных вяжущих в материале покрытия и другие специальные решения.

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

Окончательно толщину дорожной одежды и отдельных слоев устанавливают расчетом на прочность, морозоустойчивость и осушение в соответствии с разделами 3, 4 и 5 настоящих Норм.

В конструкции дорожной одежды должно быть как можно меньше слоев из разных материалов (2—4 без учета дополнительных слоев).

2.11. Для существенного уменьшения притока поверхностных вод в основание и снижения расчетной влажности грунта земляного полотна необходимо предусматривать следующие мероприятия:

- ✧ укрепление обочин,
- ✧ обеспечение необходимых поперечного уклона и водонепроницаемости,
- ✧ устройство бордюров и лотков,
- ✧ выдерживание 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. прил. 2).

2.12. 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 нормами и специальными документами в их развитие.

2.13. Для обеспечения возможности назначать однотипную конструкцию 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 устраивают 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 на всю ширину земляного полотна. Кроме того, на дорожных одеждах капитального типа предусматривается 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 дорожных одежд капитального типа

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

2.16. Несущий слой основания дорожных одежд капитального типа следует устраивать из прочных материалов (щебеночно-гравийно-песчаных смесей, обработанных вяжущими; фракционированного щебня, обработанного вязким битумом по способу про-

питки или уложенного по принципу расклинки мелким щебнем или гранулированным активным шлаком, укрепленного по методу пропитки цементно-песчаной смесью, и т. п.).

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 ГОСТ.

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 геотекстильных материалов с целью предотвратить взаимопроникновение материалов смежных слоев и снижение долговечности конструкции.

Конструирование покрытий и оснований дорожных одежд облегченного и переходного типов

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 II при стадийном строительстве.

2.18. Предварительно толщину покрытия из асфальтобетона дорожных одежд облегченного типа следует назначать равной 4—6 см, а при использовании других материалов (см п. 2.17) — 6—8 см. Окончательно толщину покрытия устанавливают расчетом.

2.19. Несущие основания для облегченных дорожных одежд с усовершенствованным покрытием устраивают из монолитных или зернистых материалов. При этом на дорогах III и IV категорий целесообразны основания из 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 III при стадийном строительстве.

При проектировании дорожных одежд с покрытием переходного типа надо стремиться к тому, чтобы она состояла из 1—2 слоев.

Для покрытий, устраиваемых по способу заклинки, применяют фракционированный щебень естественных горных пород, щебень из горнорудных отходов и 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 дорожных одежд переходного типа как первоочередной конструкции на первой стадии необходимо использовать материалы, которые отвечают требованиям, предъявляемым к материалам для устройства слоев основания под усовершенствованные покрытия. Для сокращения первоначальных затрат при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается устраивать упрощенные конструкции, движение по которым в неблагоприятный период года должно быть ограничено по нагрузке на ось транспортных средств, по скорости и интенсивности.

Конструирование дополнительных слоев основания

2.22. Морозозащитные слои устраивают из стабильных зернистых материалов: песка, песчано-гравийной смеси, гравия, щебня, шлаков и др., из грунтов, укрепленных вяжущими, или гидрофобизированных грунтов, а также из других непучинистых материалов. Показателем их пригодности по морозостойкости

является степень пучинистости, определяемая в лабораторных условиях согласно действующему ГОСТ. Допускается принимать значения степени пучинистости по табл. 4.1. и 4.2 настоящих Норм.

2.23. Морозозащитный слой из зернистых материалов с коэффициентом фильтрации не менее 1-2 м/сут может выполнять функцию и дренирующего слоя, что требуется подтвердить соответствующим расчетом. В этом случае его устраивают 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 разд. 4 настоящих Норм, а его ширина должна превышать ширину вышележащего слоя не менее, чем на 0,5м с каждой стороны.

2.24. В местах примыкания конструктивных слоев необходимо предусматривать переходную зону, в пределах которой конструкция дорожной одежды должна изменяться таким образом, чтобы на концах этой зоны пучение грунтов соответствовало бы зимнему поднятию на сопрягаемых участках. Длину переходной зоны назначают таким образом, чтобы интенсивность изменения пучения грунта не превышала 0,2 см/м при устройстве асфальтобетонного покрытия.

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

В качестве теплоизоляционного материала можно использовать также легкие бетоны, 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 гололеда), а его ширина должна превышать ширину 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. Толщина первого над плитами пенопласта слоя песка должна быть не менее 0,2 м в уплотненном состоянии.

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

Минимальную глубину расположения теплоизоляционного материала от поверхности покрытия уточняют по данным регионального опыта эксплуатации конструкций с теплоизолирующими слоями.

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

2.26. Дренирующие слои при 3-ей схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна устраивают на всех участках; при 1 и 2-й схемах — в районах с большим количеством осадков (II—III дорожно-климатические зоны), а также если в основании проезжей части возможно скопление воды, проникающей с поверхности (затяжные продольные уклоны, наличие сравнительно легко водопроницаемых грунтов на обочинах, вогнутые переломы продольного профиля, прилегающие к проезжей часта зеленые насаждения и газоны и др.).

Дренирующие слои следует устраивать из песка, гравийных материалов, отсортированного шлака и других фильтрующих материалов. В конструкциях, где дренирующий слой расположен выше глубины промерзания, материалы должны обладать морозостойкостью и достаточной прочностью. Требуемый коэффициент фильтрации материала дренирующего слоя определяют расчетом, учитывая геометрические параметры проезжей части и другие условия, но он должен составлять не менее 1 и 2 м/сут соответственно на участках в насыпи и 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 водоотвода. Если объем воды составляет больше 0,007 м/сут на 1 м^2 проезжей части, а также в выемках и в местах с нулевыми отметками, то 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 продольного дренажа из крупнопористого материала.

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

2.27. На участках с затяжными уклонами (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, трубчатых фильтров или щебня с противозаиливающей изоляцией.

2.28. С целью снизить накопление влаги в верхней части земляного полотна можно предусмотреть водонепроницаемые прослойки (из различных материалов) на всю ширину земляного полотна. При ширине земляного полотна более 15м и наличии водонепроницаемого покрытия допускается устройство замкнутых прослоек («обойм») на ширину проезжей части. Глубина заложения прослойки от поверхности покрытия во II до-

рожно-климатической зоне должна быть более 90 см, в III – 80 см, в IV – 70 см и в V зоне – 65 см.

2.29. Капилляропрерывающие прослойки толщиной 10—15 см из крупнозернистого песка или гравия устраивают на всю ширину земляного полотна. Для предохранения от быстрого загрязнения под прослойкой и над ней необходимо предусматривать прослойки фильтры.

2.30. В южных районах существенное уменьшение объема мигрирующей (преимущественно парообразной) влаги можно достичь с помощью слоев пароизоляции из полимерных рулонных материалов, грунта, обработанного органическим вяжущим веществом, или слоев из тщательно уплотненного грунта в «обойме».

2.31. Если крупнообломочный материал (типа щебня, гравия, шлака) укладывается непосредственно на грунт земляного полотна, то предусматривают прослойку, препятствующую взаимопрониканию материалов смежных слоев, из мелкого щебня, высевок (0—10 мм), гравийно-песчаных смесей, крупных и средней крупности песков, непылеватых шлаков, непучинистых золошлаков, синтетических текстильных материалов и др. Толщина защитной прослойки из грунта, укрепленного вяжущими, 5—8 см; из зернистого материала – 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 ГОСТ. На участках с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями не допускается исполь-

зование в основании (даже нижних слоев) необработанных материалов, не отвечающих по зерновому составу требованиям действующего ГОСТ, а также материалы с числом пластичности частиц мельче 0,16 мм выше 7.

2.33. Дорожные одежды с покрытием из обработанных или необработанных малопрочных материалов на песчаном, гравийном и щебеночном основаниях или на основаниях из укрепленного грунта допускаются в IV и V дорожно-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 автомобильных дорогах IV—V категорий можно использовать щебеночно-гравийно-песчаные смеси 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 применять для устройства покрытий на автомобильных дорогах IV—V категорий и оснований (из улучшенных и неулучшенных шлаков) на дорогах II—IV категорий. Щебень неустойчивой структуры из активных шлаков можно использовать только в основаниях, 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 ниже 1 следует предусматривать добавку к шлаковому щебню мелких частиц из активных шлаков и 2—3% гашеной извести или 20—25% (массы щебня) молотого гранулированного шлака. Для устройства слоев дорожных одежд с улучшенными прочностными и деформационными качествами применяется шлаковый щебень, обработанный органическими и минеральными вяжущими.

Кислые металлургические шлаки целесообразно обрабатывать каменноугольными дегтями (с учетом требований ГОСТ на

дегти), которые обладают более высокими адгезионными свойствами по сравнению с нефтяными, а также битумной эмульсией с известью, активной золой уноса и т. д.

Повышение прочности и стабильности рабочего слоя земляного полотна

2.35. Для повышения прочности и стабильности рабочего слоя земляного полотна необходимо применять непучинистые, малопучинистые и слабонабухающие грунты; защиту грунта от увлажнения поверхностными и подземными водами и т. п.

В III—V дорожно-климатических зонах на участках с 1-й схемой увлажнения допускается 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 которых назначают на основе специальных испытаний.

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 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 положениями настоящих Норм.

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

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.

При конструировании дорожных одежд в песчаных пустынях следует предусматривать укрепление поверхности песка под дорожной одеждой: в виде слоя из связного грунта толщиной 15 см или из оптимальной смеси песка и суглинка, или из песка, обработанного битумной эмульсией, с использованием геотекстильных материалов 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 Нормами. При сохранении или использовании старой дорожной одежды следует руководствоваться положениями специальных нормативных документов на основе детальных данных о конструкции существующей дорожной одежды, состоянии ее конструктивных слоев и оценки 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. Количественную оценку прочности и морозостойкости конструкции осуществляют по методам, изложенным в настоящих Нормах.

При разработке проектного решения должны быть рассмотрены вопросы:

✧ целесообразности использования существующей дорожной одежды или отдельных ее конструктивных слоев без предварительного разрушения;

✧ целесообразность использования материалов конструктивных слоев после их переработки;

✧ необходимость усиления существующей конструкции,

✧ необходимость повышения морозостойкости существующей конструкции;

✧ необходимость улучшения дренирования существующей конструкции;

✧ необходимость изменения конструкции укрепления обочин;

✧ необходимость уширения дорожной одежды и способ уширения.

3. РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ПРОЧНОСТЬ

Основные положения

3.1. Под прочностью дорожной одежды понимают ее 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 оценку прочности как конструкции в целом (с использованием эмпирической зависимости допускаемого упругого прогиба от

числа приложений нагрузки), так и 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 неровностей поверхности, 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 их количественной оценки определяются специальными нормами для эксплуатации дорог.

За количественный показатель отказа дорожной одежды как элемента линейного инженерного сооружения используют предельный коэффициент разрушения m_p, 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 m_p в зависимости от капитальности дорожной одежды и категории дороги следует принимать в соответствии с табл. 3.1.

3.4. Прочность конструкции оценивается величиной коэффициента прочности. При оценке прочности конструкции в целом по допускаемому упругому прогибу он определяется по формуле

$$K_{пу}=l_{доп}/l=E_{об}/E^{тр}_{об}\,, \qquad (3.1\text{-а})$$

где $l_{доп}$ и l – соответственно допустимый и расчетный общий прогибы конструкции под расчетной нагрузкой,

$E_{об}$ и $E^{тр}_{об}$ – соответственно расчетный и требуемый общие модули упругости конструкции, определяемые при расчетной нагрузке.

При оценке прочности конструкции по допускаемым напряжениям в конструктивных слоях коэффициент прочности определяют по формуле

$$K_{пс,у}=\sigma_{доп}/\sigma_{расч}, \qquad (3.1\text{-б})$$

где $\sigma_{расч}$ и $\sigma_{доп}$ – соответственно расчетные действующие и допустимые напряжения (нормальные или касательные) от расчетной нагрузки.

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.

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 по табл.3.1.

3.7. При расчете определяют толщину слоев одежды в вариантах, намеченных при конструировании, или выбирают материал с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданной толщине слоев.

3.8. Отказ дорожной одежды (см. п.3.3) из-за недостаточной ее прочности может возникнуть в результате:

- ✧ накопления 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 до истечения заданного срока службы конструкции;
- ✧ усталостных разрушений монолитных слоев конструкции под воздействием растягивающих напряжений от многократного приложения транспортной нагрузки с интенсивной потерей транспортно-эксплуатационных свойств.

Таблица 3.1

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

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Предельный коэффициент разрушения m_p	Заданная надежность $K_н$	Требуемый коэффициент прочности по критерию	
				упругого прогиба $K_{пу}^{тр}$	сдвига $K^{тр}_{пс}$ и растяжения при изгибе $K_{пр}^{тр}$
Капитальный	I	0,05	0,98	1,50	1,10
			0,95	1,30	1,00
	II	0,05	0,98	1,38	1,10
			0,95	1,20	1,00
	III	0,10	0,98	1,29	1,10
			0,95	1,17	1,00
			0,90	1,10	0,94
	IV	0,10	0,95	1,17	1,00
			0,90	1,10	0,94
			0,85	1,06	0,90
			0,80	1,02	0,87
Облегченный	III	0,15	0,98	1,29	1,10
			0,95	1,17	1,00
			0,90	1,10	0,94
	IV	0,15	0,95	1,17	1,00
			0,90	1,10	0,94
			0,85	1,06	0,90
			0,80	1,02	0,87
	V	0,15	0,95	1,13	1,00
			0,90	1,06	0,94
			0,80	0,98	0,87
			0,70	0,90	0,80
Переходный	IV	0,40	0,95	1,17	1,00
			0,90	1,10	0,94
			0,85	1,06	0,90
			0,80	1,02	0,87
	V	0,40	0,95	1,13	1,00
			0,90	1,06	0,94
			0,80	0,98	0,87
			0,70	0,90	0,80

Примечание. *Дорожные одежды переходного типа по критерию растяжения при изгибе не рассчитывают*

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

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

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

Дорожные одежды на остановках, перекрестках, на подходах к пересечениям с железнодорожными путями и т. п. должны быть дополнительно проверены на однократное нагружение длительностью не менее 10 мин; на стоянках и обочинах – на продолжительное (более 10 мин) однократное нагружение, используя статические значения расчетных параметров (коэффициент на повторность не вводится). Расчет ведется по критериям сдвига в грунте и слабосвязных материалах.

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. табл. 1 прил. 3). При расчете слоев из слабосвязных материалов и грунта на сопротивление сдвигу модуль упругости асфальтобетонного покрытия должен соответствовать весенним повышенным температурам (см. п. 3.31 и табл. 2 прил. 3).

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

Для основных случаев проектирования требуемый коэффициент 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 сопротивления конструктивных асфальтобетонных слоев растяжению при изгибе и относительной влажности грунта рабочего слоя земляного полотна определяются с учетом заданного уровня надежности, принятого при проектировании дорожной одежды, через их нормативные значения по формуле

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

где M_p и $\overline{M}_p$ — соответственно расчетное и нормативное значения этой характеристики (прил. 3);

t — коэффициент нормированного отклонения $\overline{M}_p$ при допустимом уровне надежности (прил. 4);

ν_t — коэффициент вариации характеристики (прил. 4).

В качестве расчетных значений *деформационных* (модулей упругости) материалов конструктивных слоев, а также расчетных *прочностных* (угол внутреннего трения и сцепление) характеристик песчаных грунтов и песков допускается принимать их нормативные значения (таблицы прил. 2 и 3). Для глинистых грунтов их назначают через расчетную, определенную с заданной надежностью, относительную влажность грунта (таблицы прил. 2). При этом расчетная влажность определяется по методике прил. 2.

Общая процедура и критерии расчета на прочность

3.13. Расчет ведется в такой последовательности.

3.13.1. Рассчитывают дорожную одежду по критерию упругого прогиба на основе зависимости требуемого общего модуля упругости конструкции от суммарного числа приложений на-

грузки. По результатам назначаются толщина конструктивных слоев и их модули упругости таким образом, чтобы общий модуль упругости дорожной одежды был не ниже требуемого с учетом соответствующего коэффициента прочности (см. табл. 3.1).

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

❶ сдвигоустойчивости материалов конструктивных слоев и грунта возникающим в них касательным напряжениям. Он отражает условие ограничения накопления сдвиговых остаточных деформаций (формоизменения) под воздействием многократных кратковременных нагрузок;

❷ сопротивления материалов монолитных конструктивных слоев возникающим в них растягивающим напряжениям от подвижной многократной нагрузки. Он отражает сопротивление 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. В противном случае конструкцию уточняют.

3.14. Дорожные одежды переходного типа рассчитывают по упругому прогибу и сдвигоустойчивости.

Конструкции, предназначенные для движения транспортных средств большой грузоподъемности (статическая нагрузка на ось 110 кН и выше), по упругому прогибу не рассчитывают.

Конструкции дорожных одежд низшего типа назначают по региональным типовым решениям, разрабатываемым на основе практического опыта.

Расчет конструкции одежды обочин осуществляется только по критерию сдвига при длительно действующей нагрузке.

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 на основе упрощенных расчетных схем, выбираемых в зависимости от рассматриваемого расчетного критерия, и построенных номограммах. Реальные многослойные дорожные конструкции приводят к одно- или двухслойным моделям по методам, изложенным в пп. 3.27, 3.32 и 3.39.

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

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

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 МСН 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 (удельное давление) величиной p.

Значение расчетного удельного давления колеса на покрытие p и расчетного диаметра D, приведенного к кругу отпечатка расчетного колеса на поверхности покрытия, назначают с учетом параметров расчетного автомобиля. В качестве последнего используют наиболее тяжелые автомобили, доля которых в со-

ставе движения составляет не менее 10% (с учетом перспективы изменения к концу межремонтного срока).

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

Величину p принимают равной давлению воздуха в шинах, а диаметр расчетного отпечатка шины D определяют по 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 в шине, МПа.

(Значения D и p для расчетной нагрузки типа А приведены в прил. 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 коэффициент 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);
- ΣN_p — суммарное расчетное число приложения приведенной расчетной нагрузки к расчетной точке на поверхности конструкции за срок службы.

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

3.22. Величина N_p приведенной интенсивности на последний год 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 (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 $Q_{расч}$ (см. прил. 1).

Таблица.3.2

Число полос движения	Коэффициент $f_{пол}$ для полосы 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. 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 по (3.5). 2. 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 их больше трех.

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

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

или

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

где n— число марок автомобилей;

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

$T_{рдг}$— расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции (прил. 6);

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

K_c — коэффициент суммирования (см. табл. 3 прил. 6),

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

$T_{сл}$— расчетный срок службы (см. табл. 4 прил. 6);

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

Таблица 3.3

Тип дорожной одежды	Коэффициент k_n для дорог категории				
	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

$$E_{об} \geq E_{min} K_{пу}^{тр}, \quad (3.9)$$

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

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

$K_{пу}^{тр}$ — 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:

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

где ΣN_p — суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды, устанавливаемое в соответствии с п.3.23;

c — эмпирический параметр, для расчетной нагрузки на ось 100 кН c=3,55; 110 кН c= 3,25.

Примечания: 1. Формулой (3.10) следует пользоваться при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$. *2. Для V дорожно-климатической зоны требуемые модули 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.

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 конструкции осуществляют послойно, начиная с рабочего слоя.

Примечание. При толщине i-го слоя многослойной дорожной одежды (сверху вниз), превышающей 2D, *общий модуль упругости на поверхности i-го слоя*

$$E_{общ}^{(i)} = \frac{\left[1{,}05 - 0{,}1\frac{h_i}{D}\left(1 - \sqrt[3]{E_{общ}^{(i+1)} / E_i}\right)\right]E_i}{0{,}71 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{общ}^{(i+1)}}{E_i}}\,arctg\left(\frac{1{,}35h_э}{D}\right) + \frac{E_i}{E_{общ}^{(i+1)}}\frac{2}{\pi}arctg\frac{D}{h_э}}$$

где $\frac{h_э}{D} = \frac{2h_i}{D}\sqrt[3]{\frac{E}{6E_{общ}^{(i+1)}}}$;

i – номер рассматриваемого слоя дорожной одежды, считая сверху вниз (i=1, 2, 3);

h_i – толщина i-го слоя, см;

D – диаметр нагруженной площади, см;

$E_{общ}^{(i+1)}$ – общий модуль упругости полупространства, подстилающего i-й слой, МПа;

E_i – модуль упругости материала i-го слоя, МПа.

Таблица 3.4

Категория дороги	Суммарное минимальное расчетное число приложений расчетной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости, МПа, дорожной одежды типа		
		капитального	облегченного	переходного
I	750000	230	—	—
II	500000	220	—	—
III	375000	200	200	—
IV	110000	150	150	100
V	40000	—	100	50

3.28. Расчетные значения модулей упругости грунтов и материалов допускается принимать в соответствии с указаниями прил. 2 и 3; при содержании органических вяжущих во всех дорожно-климатических зонах при температуре 10°С – по табл. 2 прил. 3.

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

- ✧ Определяют требуемый минимальный общий модуль конструкции по (3.10).
- ✧ Назначают модули и предварительно толщину слоев конструкции (кроме основания).
- ✧ Устанавливают с помощью номограммы рис. 3.1. требуемые модули на поверхности каждого конструктивного слоя, выполняя расчет конструкции сверху вниз
- ✧ 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 с таким расчетом, 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

$$T \le \frac{T_{пр}}{K_{пс}^{тр}}, \qquad (3.11)$$

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

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

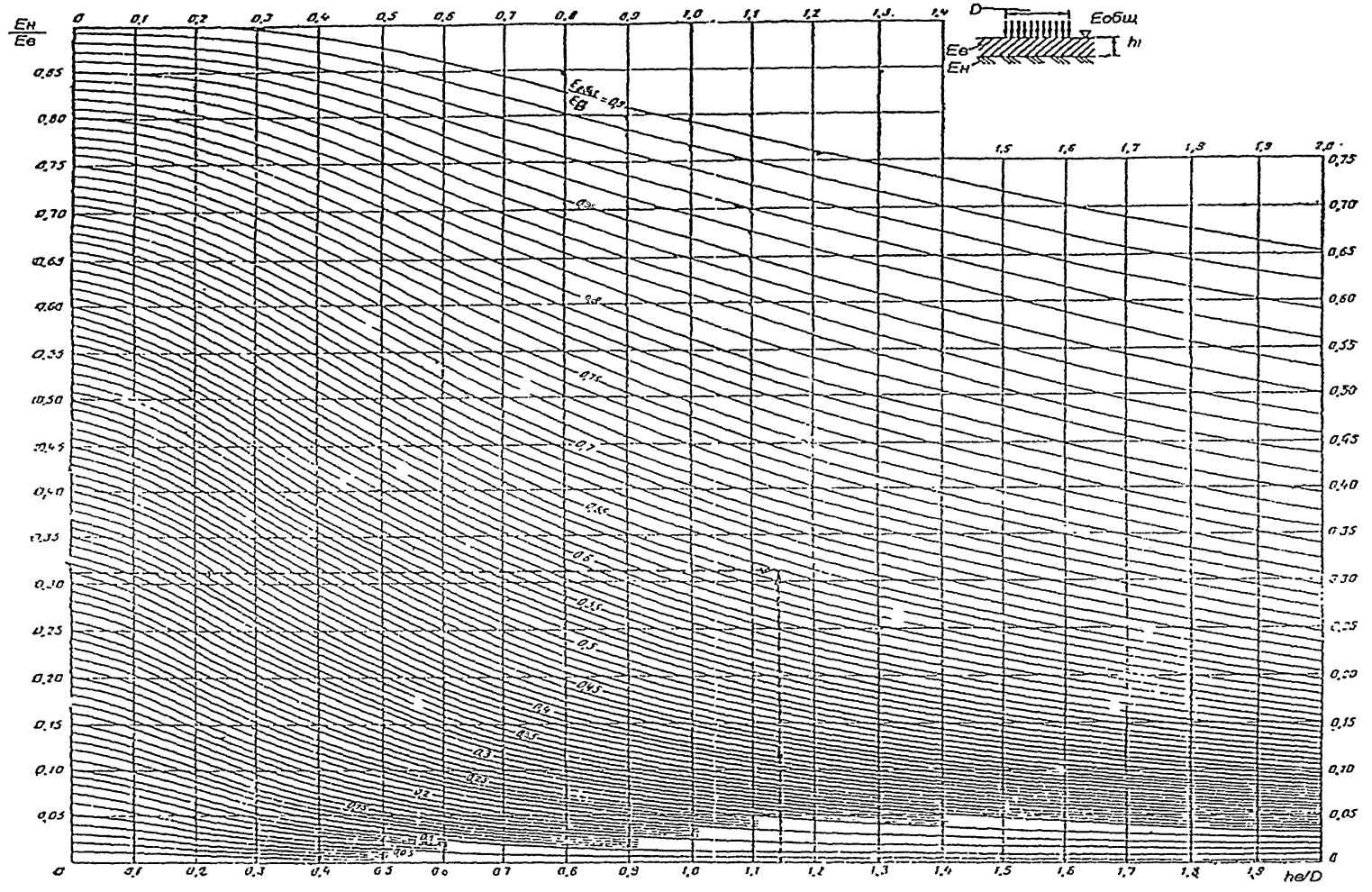


Рис 3 1 Номограмма для опрелеления общего модуля упругости $E_{общ}$ двухслойной системы

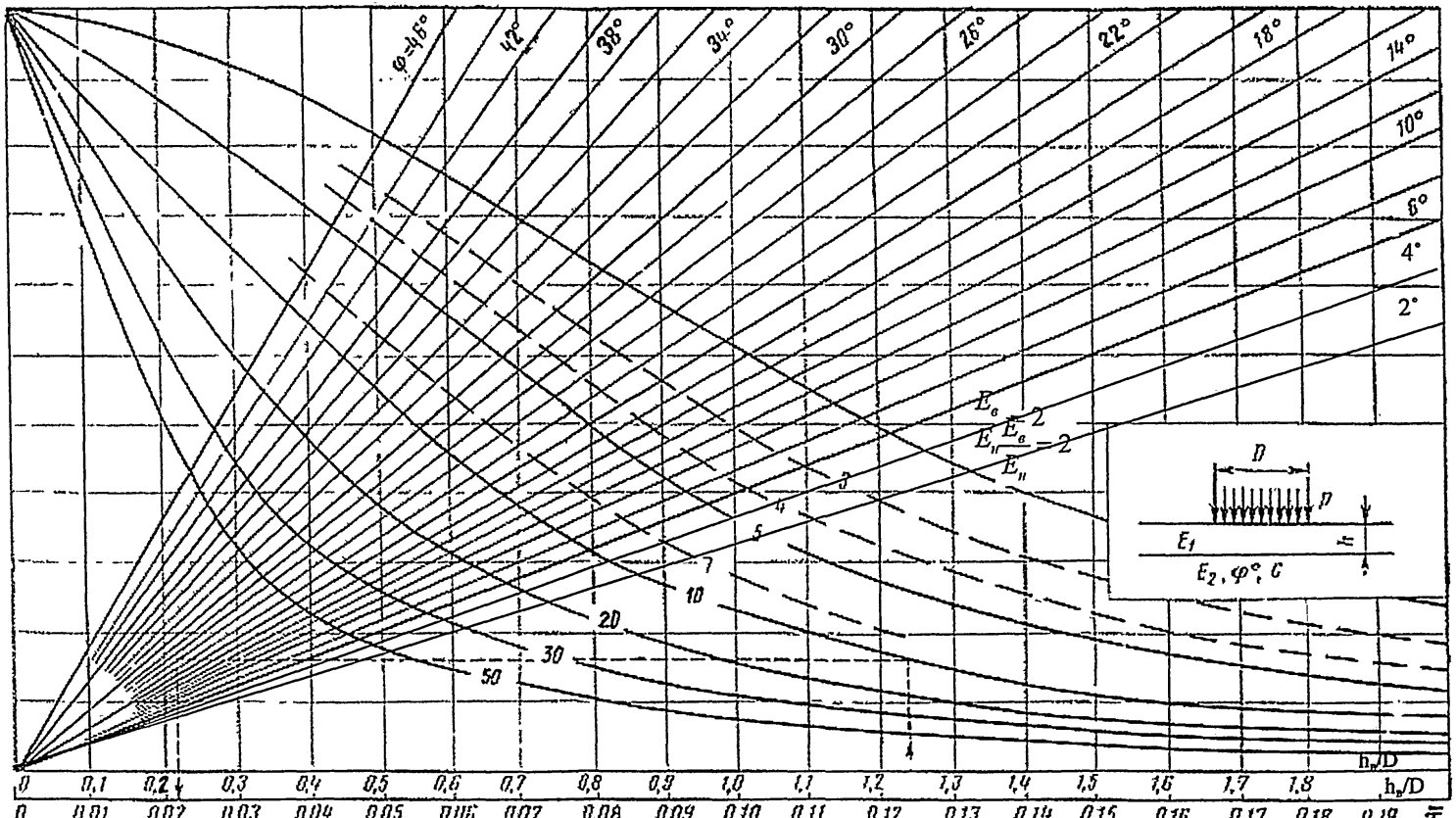


Рис.3.2. Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при $h_в/D$=0÷2.0).

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

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют как средневзвешенный по формуле

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

где k— 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 расчетные значения характеристик 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-климатическая зона	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

$$T = \overline{\tau}_н p, \qquad (3.13)$$

где $\overline{\tau}_н$ — активное удельное напряжение сдвига от единичной нагрузки, определяемое с помощью номограмм (рис. 3.2 и 3.3);

p — расчетное давление колеса на покрытие.

Примечание. Для номограмм при определении $\overline{\tau}_н$ величину φ принимают для случая воздействия динамической нагрузки (с учетом их числа) (см. табл.4 и 6 прил. 2).

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

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

где c_N— сцепление в грунте земляного полотна (или в промежуточном песчаном слое), принимаемое с учетом повторности нагрузки (см. табл. 4 или 6 прил. 2), МПа;

$z_{оп}$— 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;

$\varphi_{ст}$— расчетный угол внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки, град;

$k_д$— коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания.

При устройстве нижнего слоя несущего основания из укрепленных материалов или при укладке на границе «несущее основание—песчаный слой (или песчаный грунт)» разделяющей геотекстильной прослойки $k_д$ следует принимать равным:

✧ 4,5 — для песка крупного;

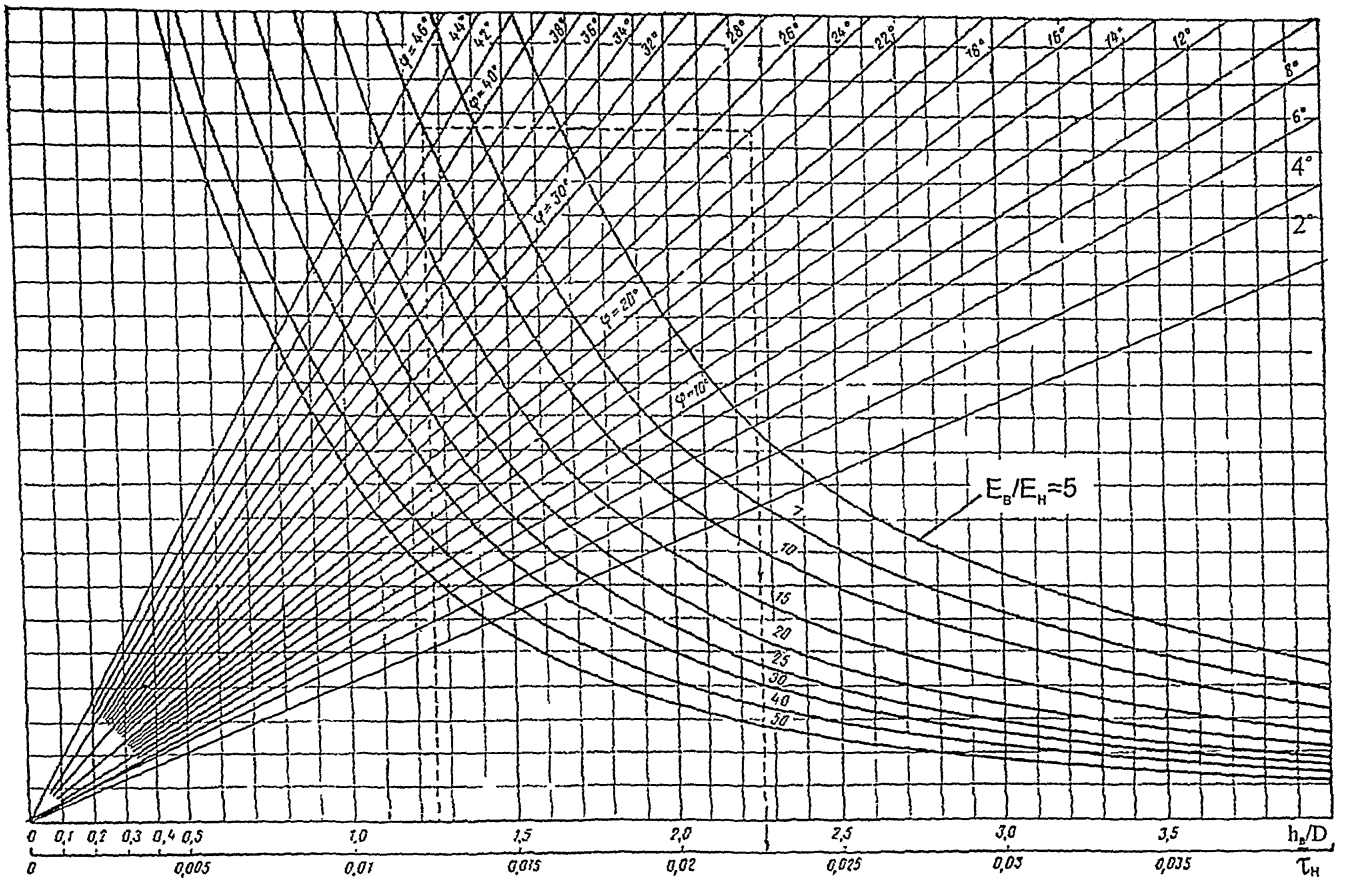


Рис.3.3 Номограмма для определения активного напряжения сдвига от временной нагрузки в нижнем слое двухслойной системы (при $h_в/D = 0 \div 4,0$)

- 4,0 — средней крупности;
- 3,0 — мелкого;
- $k_д$=2 — при устройстве нижнего слоя несущего основания из неукрепленных материалов и без разделительной прослойки;
- $k_д$=1 — для подстилающего дорожную одежду глинистого грунта земляного полотна.

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 ΣN_p. Эту величину устанавливают по формуле (3.6).

Входящую в формулу (3.6) величину $T_{рдг}$ расчетных дней в году, соответствующих расчетному состоянию прочности и деформируемости конструкции, определяют по специальным региональным справочным данным. Для условий России следует использовать данные справочного прил. 6 (рис. 1 и табл. 1) настоящих норм.

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

а) по табл. 2 прил. 3 назначают расчетные модули упругости для слоев из асфальтобетона, соответствующие максимально возможным температурам в ранний весенний (расчетный) период (в соответствии с п. 3.33); назначают по табл. 4 и 6 прил. 2 (с учетом расчетной влажности и общего числа воздействия нагрузки) расчетные прочностные характеристики φ и с грунта земляного полотна и песка промежуточного слоя одежды (если таковой имеется) с учетом требований п. 3.36. Остальные расчетные характеристики грунта и материалов те же, что и в расчете по упругому прогибу;

б) по рис. 3.2 или 3.3 определяют активные напряжения сдвига $\bar{\tau}_н$ от единичной временной нагрузки, для чего

многослойную конструкцию приводят к двухслойной модели (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 выражению (3.14) рассчитывают предельное напряжение сдвига;

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

е) при необходимости, изменяя толщину 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.) напряжения, возникающие при прогибе под действием повторных кратковременных нагрузок, не должны в течение заданного срока службы вызывать образование трещин от усталостного разрушения. Это возможно при условии

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

где σ_r — наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом.

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

R_N — прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений.

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 (Σh_i), а значение модуля упругости 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

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

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

$к_в$– коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном, $к_в$=0,85 (при расчете под однобаллонное колесо $к_в$=1,00);

p – расчетное давление (см. табл. 1 прил. 1).

(Порядок использования показан на рис. 3.4 пунктирными линиями со стрелками).

3.41. Прочность материала монолитного слоя на многократное растяжение при изгибе определяют по формуле

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

где R_o– нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе для расчетной низкой весенней температуры при однократном приложении нагрузки, принимаемое по табл. 1 прил. 3);

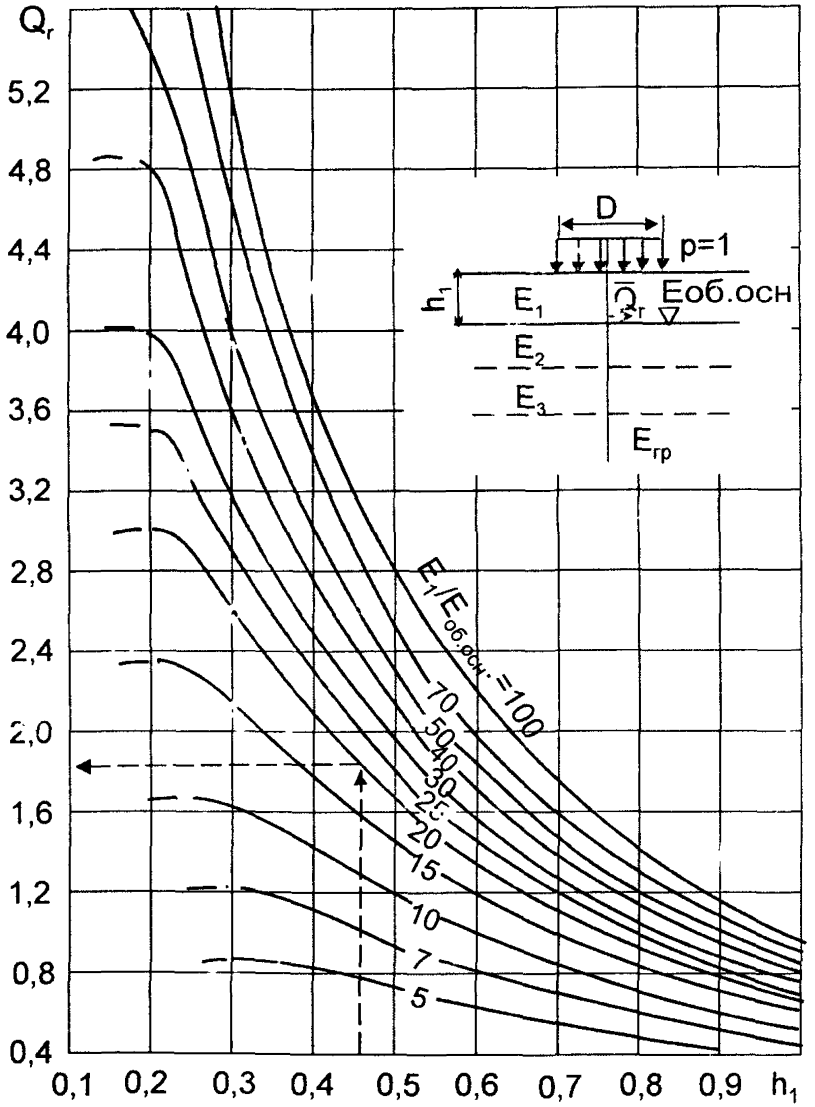


Рис.3.4. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\overline{\sigma_r}$ при изгибе в монолитном верхнем слое двухслойной системы

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

k_2 — то же, под воздействием погодно-климатических факторов (табл. 3.6);

v_R — коэффициент вариации прочности на растяжение (прил. 4);

t — коэффициент нормативного отклонения (см. прил. 4).

Таблица 3.6

Асфальтобетон расчетного слоя	Значение k_2
Высокоплотный	1,0
Плотный марки:	
I	0,95
II	0,90
III	0,80
Пористый и высокопористый	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. прил. 6);

m — показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя (см. табл. 1 прил. 3);

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 (см. табл. 1 прил. 3).

3.43. Расчет на усталостную прочность выполняют в следующем порядке:

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

б) используя полученные параметры, по номограмме рис. 3.4 находят $\overline{\sigma_r}$ и по формуле (3.16) вычисляют расчетное растягивающее напряжение;

в) рассчитывают 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;

г) 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 грунтовогидрологических условиях наряду с требуемой прочностью и устойчивостью должна быть обеспечена достаточная морозоустойчивость дорожных одежд с помощью

- использования непучинистых или слабопучинистых грунтов (табл. 4.1 и 4.2.) для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания;
- осушения рабочего слоя земляного полотна (см. разд. 5), в том числе устройства дренажа для увеличения расстояния от низа дорожной одежды до уровня подземных вод, гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек для перехода от 2-й или 3-й схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна к 1-й;
- использования для морозозащитного слоя непучинистых минеральных материалов, в том числе укрепленных малы-

ми дозами минеральных или органических вяжущих;

- ✧ укладки теплоизолирующих слоев, снижающих глубину промерзания грунта под дорожной одеждой или полностью исключающих его;
- ✧ устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (типа тощего бетона или других зернистых материалов, обработанных минеральным или органическим вяжущим).

Таблица 4.1

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

Группа грунта 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, содержащий до 2% частиц мельче 0,05 мм	I
Песок гравелистый, крупный, средней крупности и мелкий, содержащий до 15 %, частиц мельче 0,05 мм, 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

4.2. Конструкцию считают морозоустойчивой при условии

$$l_{пуч} \le l_{доп} \qquad (4.1)$$

где $l_{пуч}$ – расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;

$l_{доп}$ – допускаемое для данной конструкции пучение грунта (табл. 4.3)

Таблица 4.3

Тип дорожной одежды	Вид покрытия	Допустимая величина морозного пучения $l_{доп}$, см
Капитальный	Асфальтобетонное	4
Облегченный	Асфальтобетонное	6
Переходный	Переходное	10

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

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 одинаковую 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. 4.3 в зависимости от толщины дорожной одежды (включая дополнительные слои основания), группы грунта по степени пучинистости (см. табл. 4.3) и глубины промерзания ($z_{пр}$);

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

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

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

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

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

Таблица 4.4

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	$K_{пл}$ для грунта	
	песка пылеватого, супеси легкой и пылеватой, суглинка, глины	песка, кроме пылеватого, супеси легкой крупной
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
<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 и менее	0,7	0,8	0,9
$K_{вл}$	1,0	1,1	1,2	1,3

4.5. Если данные натурных наблюдений отсутствуют, то глубину промерзания дорожной конструкции можно 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).

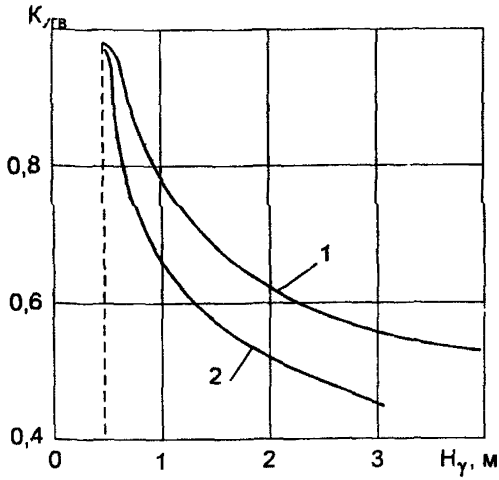


Рис. 4.1. Зависимость коэффициента $K_{угв}$ от расстояния от низа дорожной одежды до расчетного УГВ или УПВ: 1 – супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь легкая и легкая крупная

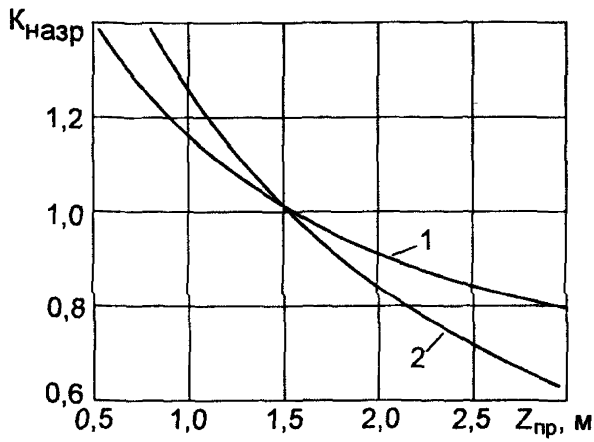


Рис.4.2. Зависимость коэффициента $K_{нагр}$ от глубины промерзания $z_{пр}$ от поверхности покрытия: 1 – супесь пылеватая и тяжелая пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь легкая и легкая крупная

4.6. При глубине промерзания дорожной конструкции $z_{пр} < 2$ м $l_{пуч.\ ср}$ устанавливают по графикам рис. 4.3; при $z_{пр} = 2{,}0 \div 3{,}0$ м – 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 $2{,}5 < z_{пр} < 3{,}0$.

4.7. Если при расчетном сроке службы до 10 лет полученная величина возможного пучения будет превышать требуемую (см. табл. 4.3), а при сроке службы более 10 лет будет превышать 80% от требуемой, то 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 осредненную 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 $h_{од}$.

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;
- ✧ схему увлажнения рабочего слоя земляного полотна (1, 2 или 3) и расчетная глубина залегания подземных вод от поверхности покрытия;
- ✧ наименование грунтов земляного полотна;
- ✧ расчетный срок службы дорожной одежды.

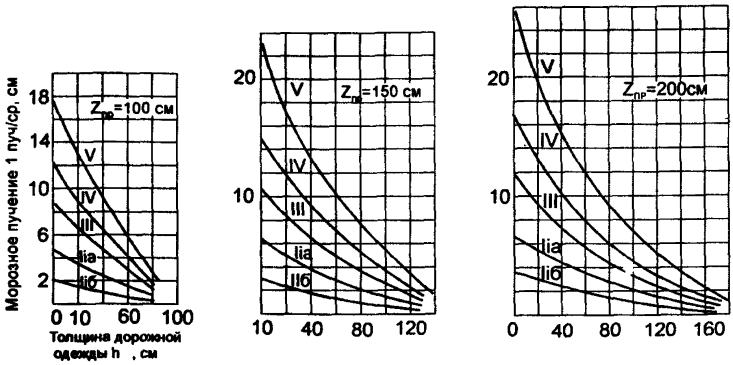


Рис. 4.3. Графики для определения осредненной величины морозного пучения $l_{пуч.ср}$

Примечания. 1. Кривую II–V выбирают в соответствии с табл. 4.2. 2. Кривую П а выбирают при 2 и 3-й схемах увлажнения рабочего слоя, кривую П б – при 1-й

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, (м²·К)/Вт;

$R_{од(тр)}$ – то же, в данных условиях;

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

При отсутствии фактически замеренных значений в расчет допускается включать $\lambda_{мз}$ по табл. 1 прил. 5.

Величина $R_{од(тр)}$ определяют в зависимости от номера изолинии на карте (рис. 4.5), соответствующей географическому положению рассматриваемого участка дороги. Если участок находится между изолиниями, то определяют по два значения $R_{од(тр)}$ и $h_{мз}$, соответствующих этим изолиниям. Искомую толщину

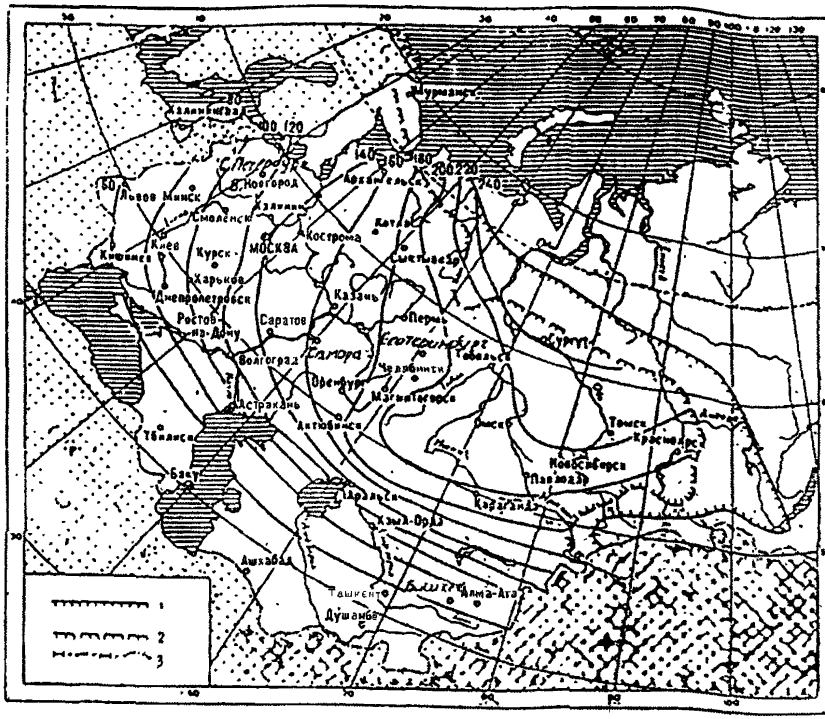


Рис.4.4. Карта изолиний глубины промерзания $z_{пр(ср)}$ грунтов на территории СНГ: 1–граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов; 2–то же, островного; 3 – границы стран СНГ

слоя определяют методом интерполяции в зависимости от расстояния от рассматриваемого участка дороги до соседних изолиний.

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

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

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/(м·К).

4.11. Величину требуемого термического сопротивления $R_{од(тр)}$ рассчитывают по выражению

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

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; принимается при 2-й и 3-й схемах увлажнения равным единице, а при 1-й – по табл. 4.8;

δ – понижающий коэффициент; для II_1, II_5 и III_5 дорожно-климатических подзон δ=1,0; для II_2, II_4 и II_6 δ=0,95; для III δ=0,90; для IV δ=0,85 (см. прил. 2).

4.12. Значение $R_{пр}$ определяют с помощью номограммы (рис. 4) методом итерации через отношение $l_{доп}/(C_{пуч}C_p)$ (горизонтальная ось номограммы). Значения $l_{доп}$, $C_{пуч}$, и C_p определяют соответственно по табл. 4.3, 4.9 и 4.10.

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

Расстояние H_y от низа дорожной одежды до уровня подземных вод, необходимое для использования номограммы, определяют, приняв за исходную полученную в соответствии с п. 4.7 ориентировочную толщину морозозащитного слоя $h_{мз}$ и вычислив при заданном $h_{мз}$ общую толщину дорожной одежды $h_{од}$.

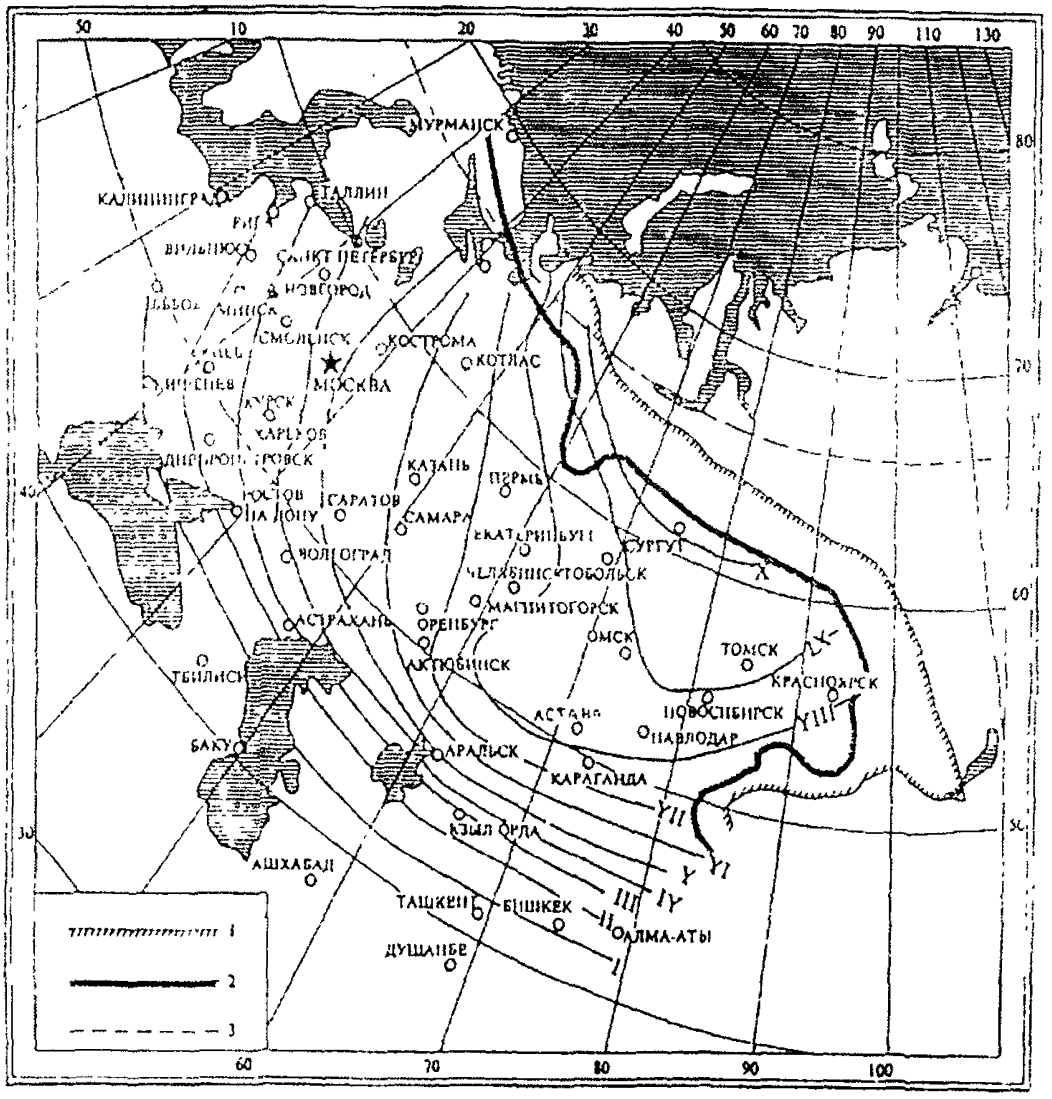


Рис 4 5. Карта с изолиниями для определения требуемых значений термического сопротивления дорожной одежды. I–X – номера изолиний; 1 – граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов; 2 – то же, островного; 3 – Северный полярный круг

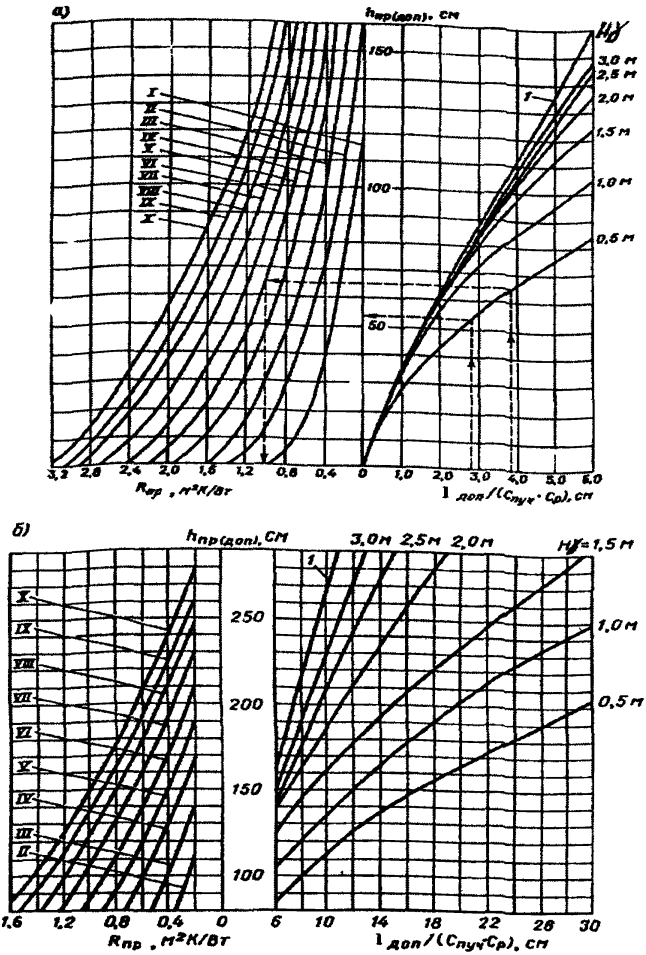


Рис.4.6. Номограмма для определения приведенного термического сопротивления дорожной одежды $R_{пр}$: I-X — номера изолиний на карте (см. рис.4.5); 1 — кривая расчета для 1 и 2-го типов увлажнения рабочего слоя земляного полотна; H_y – глубина залегания расчетного УГВ от низа дорожной одежды, включая морозозащитный слой

При глубине залегания подземных вод на участке дороги, отличающейся от указанных на номограмме, нужно определить два значения $R_{пр}$: при $H_у$ на номограмме больше данной величины и при $H_у$ – меньше ее. Искомое значение $R_{пр}$ устанавливают методом интерполяции между соответствующими величинами.

Таблица 4.7

Номер изолинии (см. рис. 4.5)	Значение коэффициента $K_{од}$ при сроке службы дорожной одежды, годы		
	менее 10	10	20
I–II	0,70	0,85	1,0
II–X	0,80	0,90	1,0

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

Таблица 4.8.

Номер изолинии (см. рис .4.5)	Значение коэффициента $K_{увл}$ при 1-й схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна
I	0,85
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

Номер изолинии (см рис. 4.5)	Значение показателя $C_{пуч}$ для грунтов:			
	слабо пучинистых	пучинистых	сильно пучинистых	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.

4.14. Толщину теплоизолирующего слоя рассчитывают, 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 $R_{од(о)}$.

4.15. Пенопласт, используемый для устройства теплоизолирующего слоя должен удовлетворять следующим требованиям: предел прочности при сжатии при 10%-ной линейной деформации – не менее 0,40 МПа, при изгибе – не менее 0,30 МПа; водопоглощение по объему – не более 0,45%, теплопроводность – не более 0,032 Вт/(м·К) (методы испытания по дей-

ствующим ГОСТам). Выбор нужной марки пенопласта следует проводить с учетом результатов опытной проверки.

Таблица 4.10

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

Примечание. При промежуточных значениях толщины величину $C_р$ следует принимать по интерполяции соответствующих величин.

Таблица 4.11

Грунт по степени пучинистости	Показатель $C_{пуч}$
Слабопучинистый	0,50
Пучинистый	1,0
Сильнопучинистый	1,5
Чрезмернопучинистый	2,0

4.16. Если рабочий слой земляного полотна включает два слоя из грунтов с различной пучинистостью (предусмотрено с целью сократить объемы привозного менее пучиноопасного грунта), то толщину морозозащитного слоя с верхней частью

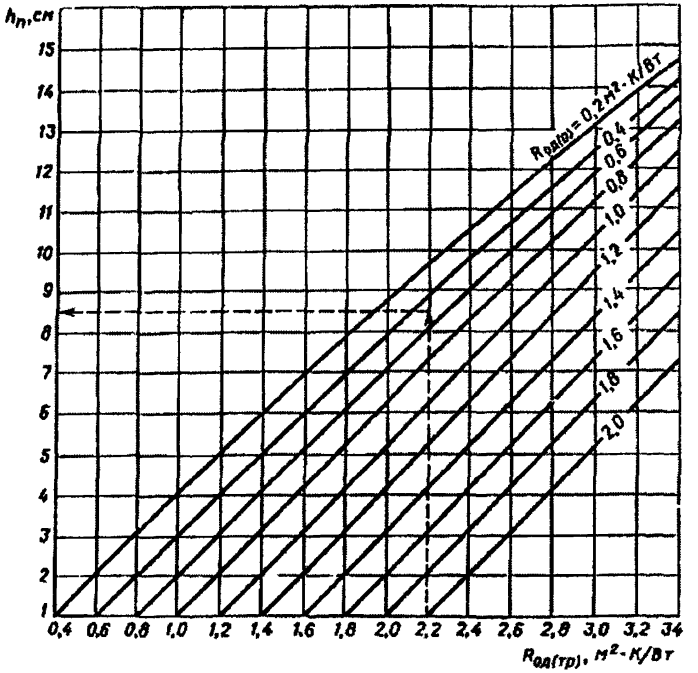


Рис. 4.7. График для определения необходимой толщины теплоизолирующего слоя из пенопласта.

рабочего слоя из менее пучиноопасного 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 при полной замене местного грунта привозным менее пучиноопасным, м;

$h_{мз2}$ – то же, при однослойной конструкции земляного полотна из местного пучиноопасного грунта, м;

$h_{пр(доп)}$ – допустимая глубина промерзания земляного полотна при полной замене местного грунта привозным менее пучиноопасным, 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 пп.4.9–4.13. Максимальное значение $\Delta\vartheta_{гр} = h_{мз1} + h_{пр(доп)}$.

Расчет толщины теплоизолирующего слоя при замене верхней толщи земляного полотна на менее пучиноопасный грунт следует проводить так же 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. прил. 7). Методику рекомендуется использовать в порядке накопления опыта ее применения. Пример применения методики приведен в прил. 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 в традиционных конструкциях дорожных одежд со слоями из зернистых материалов на земляном полотне из слабо фильтрующих грунтов (пылеватых песков, непылеватых песков с коэффициентом фильтрации менее 0,5 м/сут, глины) во II и III дорожно-климатических зонах для всех схем увлажнения рабочего слоя, в IV и V зонах — для 3-й схемы (табл. 5.1 прил. 2 СНиП 2.05.02-85).

5.2. Схему увлажнения на участках, где в придорожной полосе застаивается вода, устанавливают с учетом расстояния l_y от бровки земляного полотна до уреза застаивающейся осенью воды. Величину безопасного расстояния l_y можно определить

Таблица 5.1

Источник (схема) увлажнения	Условия отнесения к данному типу увлажнения
Атмосферные осадки (1)	Насыпь на участках местности 1-го типа по условиям увлажнения, а также 2 и 3-го типов 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; на участках 2-го типа при расстоянии от уреза поверхностной воды (отсутствующей не менее 2/3 летнего периода) более 5–10 м – для супесей, 2–5 м –легких пылеватых суглинков и 2 м – для тяжелых пылеватых суглинков и глин (меньшие значения – для грунтов с большим числом пластичности; большие – для различных грунтов). Выемки в песчаных и глинистых грунтах при уклоне 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. Применение специальных методов регулирования водно-теплового режима (капилляропрерывающие, гидро –и теплоизолирующие, армирующие прослойки, дренаж и т.п.), назначаемых по расчетам.
То же, кратковременно стоящие (до 30 сут) поверхностные воды (2)	Насыпи на участках 2-го типа при возвышении поверхности покрытия не ниже требуемого табл. 5.2 и не более чем в 2 раза превышающем их и при крутизне откосов не менее 1:1,5 и простом (без берм) поперечном профиле насыпи; на участках 3-го типа при применении специальных мероприятий по защите от грунтовых вод (капилляропрерывающие слои, дренаж), назначаемых специальным расчетом при выполнении предыдущих условий. Выемки 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.
То же, длительно (более 30 сут) стоящие поверхностные воды (3)	Насыпи на участках 3-го 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 уровень грунтовых вод расположен по глубине, не превышающей требований табл. 5.2 более чем в 1,5 раза

по специальной методике. При отсутствии фактических данных следует принимать: $l_y = 10$ м – для супесей, $l_y = 3$ м – для суглинков легких и пылеватых, $l_y = 2$ м – для суглинков тяжелых и глин.

Таблица 5.2

СНиП 2.05.02-85,табл. 21

Грунт рабочего слоя	Наименьшее возвышение поверхности покрытия, м, в дорожно-климатических зонах			
	II	III	IV	V
Песок мелкий, супесь легкая крупная и 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 0,5
Суглинки легкий и тяжелый, глины	2,2 1,6	1,8 1,4	1,5 1,1	1,1 0,8
Супесь тяжелая пылеватая, суглинки легкий пылеватый и тяжелый пылеватый	2,4 1,8	2,1 1,5	1,8 1,3	1,2 0,8

***Примечание.** 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.*

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

При устройстве всех слоев дорожной одежды из монолитных материалов в качестве плоскостного горизонтального дренажа после технико-экономического обоснования допускается применять (вместо дренирующего слоя) прослойку из геотекстильного материала толщиной не менее 4 мм с коэффициентом фильтрации не ниже 50 м/сут с выпуском полотнищ на откосы насыпи на высоту не менее 0,5 м. Выбор материала в этом случае производится по специальным указаниям.

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

а) дорогу разделяют на типичные участки по продольному профилю и природным условиям (характер рельефа местности, наличие водотоков, пересекающих дорогу, и др.) с учетом особенностей конструкции земляного полотна (насыпь высотой по СНиПу, выемка или насыпь высотой ниже требуемой, переходный участок от насыпи к выемке) и дорожной одежды (монолитные слои основания, морозозащитные или теплоизолирующие слои из укрепленных материалов), обеспеченности материалами для дренирующего слоя, дренажными трубами и геотекстильными материалами; возможности 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, предусматривая меры по ограничению притока воды в дорожную конструкцию;

в) намечают варианты дренажных конструкций;

г) обосновывают расчетом толщину дренирующего слоя для данных условий или определяют коэффициент фильтрации для дренирующего материала 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 следует 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. При выборе конкретного мероприятия по регулированию притока проводится технико-экономическое сравнение вариантов.

Комбинированный плоскостной горизонтальный дренаж – это универсальное мероприятие 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‰, а также с затяжными продольными уклонами, превышающими поперечные; в местах вогнутых вертикальных кривых и на участках 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 под дорожной одеждой на всю ее ширину, обеспечивая его выход 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 самих слоев, а также не допускать замерзание 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. При одновременном выполнении слоем дренирующих и морозозащитных функций целесообразны материалы с коэффициентом фильтрации 1–2 м/сут.

Расчет дренирующего слоя

5.9. При расчете дренажной конструкции определяется требуемая толщина дренирующего слоя из дискретных материалов. В районах сезонного промерзания грунтов учитываются два расчетных этапа работы дренажных конструкций:

- ✧ первый – для периода, когда основание дорожной одежды под серединой проезжей части уже оттаяло, дренирующий слой у ее краев находится в мерзлом состоянии, а водоотводящие устройства не работают;
- ✧ второй для времени, когда дренирующий слой полностью оттаял и водоотводящие устройства начали нормально функционировать.

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

- ✧ осушение;
- ✧ осушение с периодом запаздывания отвода воды;
- ✧ поглощение.

5.11. Полную толщину дренирующего слоя определяют по формуле

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

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

$h_{зап}$ – дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала, $h_{зап}$ = 0,10÷0,12 м для песков крупных, $h_{зап}$ = 0,14÷0,15 м – средней крупности и $h_{зап}$ = 0,18÷0,20 м – мелких.

Во всех случаях полную толщину дренирующего слоя следует принимать не менее 0,20 м.

5.12. Для дренирующего слоя, работающего по принципу осушения $h_{нас}$ устанавливают по номограммам рис. 5.1 и 5.2 в зависимости от длины пути фильтрации L и расчетной величины притока воды q_p в дренирующий слой на 1 м^2, определяемого по формуле

$$q_p = q\, K_{пк}\, K_г\, K_{вог} K_р :1000, \text{ м}^3/\text{м}^2, \qquad (5.2)$$

где q – осредненное (табличное) значение притока воды в дренирующий слой при традиционной конструкции дорожной одежды (табл.5.3);

$K_{пк}$ – 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, а при встречных уклонах – по эмпирической формуле (5,2');

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

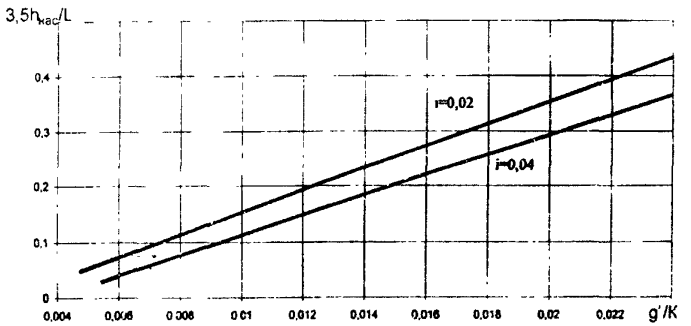


Рис 5.1 Расчет толщины $h_{нас}$ дренирующего слоя из песков мелких, средней крупности и крупнозернистых с коэффициентом фильтрации менее 10 м/сут При односкатном поперечном профиле $q'=q_pB$ м^3/м; при двускатном $q'=0,5q_pB$ м^3/м. B–ширина проезжей части, м; L–длина пути фильтрации, равная половине ширины дренирующего слоя при двускатном профиле и полной его ширине – при односкатном

$$K=1+[K_ф(T_{зап}+1)(i_1+i_2)]/2_n\,, \qquad (5.2')$$

(здесь $K_ф$ – коэффициент фильтрации, м/сут; $T_{зап}$ – время запаздывания, сут; i_1 и i_2 – абсолютная величина уклонов, доли единицы; n – пористость дренирующего слоя, доли единицы).

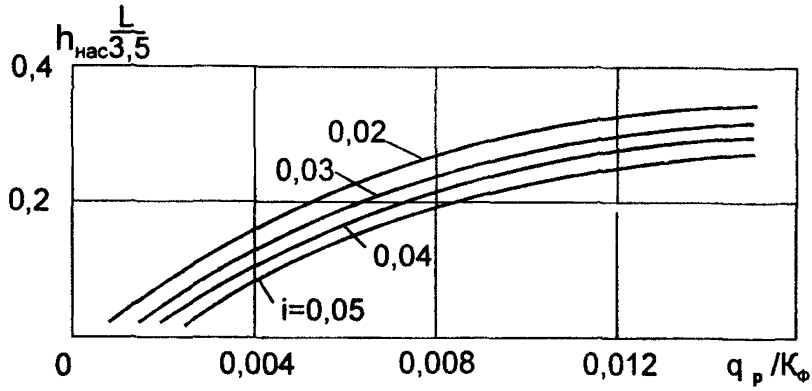


Рис.5.2. Расчет дренирующего слоя из крупных песков с коэффициентом фильтрации более 10 м/сут. L– см. рис. 5.1; i– поперечный уклон низа дренирующего слоя; $K_ф$– коэффициент фильтрации, м/сут

Таблица 5.3

Дорожно-климатическая зона	Схема увлажнения рабочего слоя	Объем воды, поступающей в основание дорожной одежды из грунта			
		супеси легкой и песка пылеватого	суглинка и глины	суглинка пылеватого	супеси пылеватой
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 л/м², поступающей в основание за весь расчетный период, в знаменателе (q) – за сутки. Для насыпей из непылеватых грунтов высотой более требуемой СНиП (см. табл. 5.2) во II дорожно-климатической зоне принимают q = 1,5 л/(м²·сут). 2. При наличии разделительной полосы для участков насыпей, проходящих в нулевых отметках высотой меньше требуемой СНиП во II дорожно-климатической зоне расчетные значения q повышают на 20%.*

Таблица 5.4

Дорожно-климатическая зона	Схема увлажнения	$K_{пк}$ для грунтов		$K_г$ для пылеватых грунтов
		непылеватых	пылеватых	
II	1	1,5	1,5	1,0/1,0
	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
IV и V	3	1,5	1,3	1,1/1,0

Примечания: 1. Для непылеватых грунтов $K_г$ = 1,0. 2. В числителе — для дорог I и II категорий, в знаменателе — III и IV.

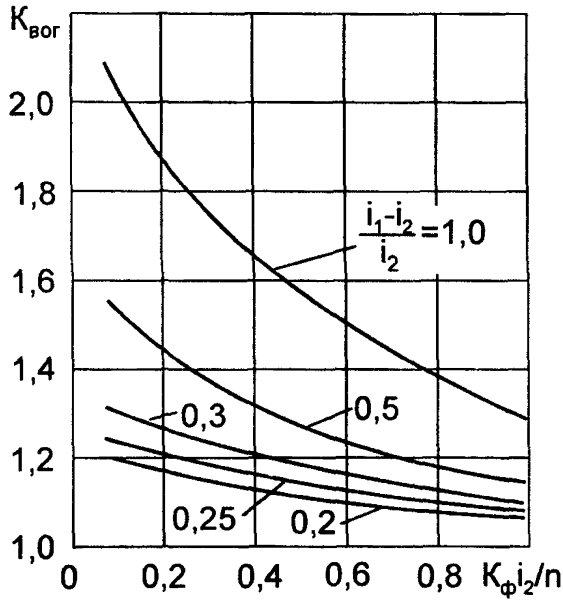


Рис.5.3 Номограмма для определения коэффициента $K_{вог}$ увеличения объема воды в дренирующем слое в местах изменения вогнутого профиля. i_1, i_2 – продольные уклоны выше и ниже перелома профиля; $K_ф$ – коэффициент фильтрации, м/сут.; n – коэффициент пористости дренирующего слоя.

Таблица 5.5

Коэффициент уменьшения притока воды в дренирующий слой K_p

Мероприятие	Схема увлажнения	K_p для грунта		
		супеси	легкого суглинка	тяжелого суглинка, глины
Укрепление обочин (по отношению к неукрепленным)	1	0,70	0,75	0,80
	2, 3	0,895	0,9	0,95
Монолитные слои основания с остаточной пористостью материала до 5%	1	0,80	0,80	0,80
	2, 3	0,90	0,90	0,90

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

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

где Q – расчетное количество воды, накапливающейся в дренирующем слое за весь расчетный период, л/м2 (см. табл.5.3):

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

n — пористость материала, доли единицы.

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

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

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

где $T_{зап}$ — средняя продолжительность запаздывания начала работы водоотводящих устройств, для II дорожно-климатической зоны $T_{зап}$=4÷6 сут, для III $T_{зап}$=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 5.2).

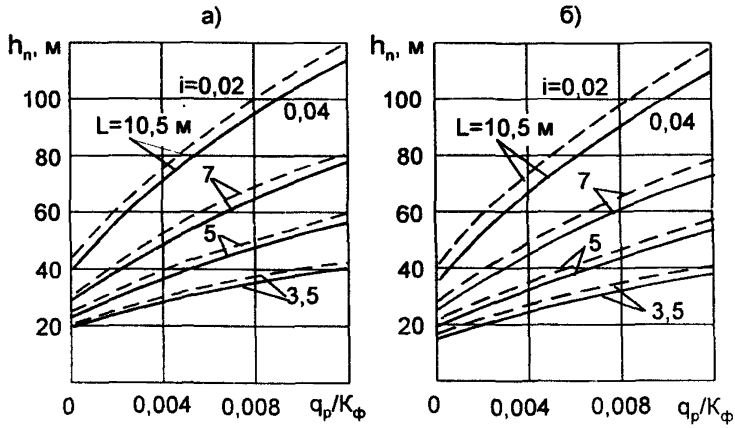


Рис. 5.4. Номограмма для расчета дренирующего слоя в конструкции с прикромочным дренажом: а – мелкий песок; б – песок средней крупности.

Таблица 5.6.

Толщина дренирующего слоя, см	Значение $\varphi_{зим}$ для II дорожно-климатической зоны при пористости n			
	0,4	0,36	0,32	0,28
До 20	0,40	0,50	0,60	0,70
20—40	0,35	0,40	0,50	0,60
Более 40	0,30	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 количества воды, поступающей за расчетный период.

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

Приложение 1
(обязательное)

РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ

1. При проектировании дорожных одежд за расчетные принимают нагрузки, соответствующие предельным нагрузкам на ось расчетного двухосного автомобиля

Если в задании на проектирование расчетная нагрузка не оговорена специально, то за расчетную принимают нагрузку, соответствующую расчетному автомобилю группы А (табл. 1).

Таблица 1

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка, кН		Расчетные параметры нагрузки	
	на ось	на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$	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: Над чертой — для движущегося колеса, под чертой — для неподвижного.

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

3. Суммарный коэффициент приведения $S_{m\ сум}$ определяют по формуле

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

где n— число осей у данного транспортного средства, приводимого к расчетной нагрузке;

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

1. Коэффициенты S_n приведения нагрузок определяют по формуле

$$S_n = \left(\frac{Q_{дп}}{Q_{драсч}} \right)^{\beta} \quad (2)$$

где $Q_{дп}$ и $Q_{драсч}$ — номинальная и расчетная динамические нагрузки от колеса на покрытие;

β — показатель степени; для капитальных дорожных одежд β=4,4, облегченных — β=3,0, переходных — β=2,0.

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

$$Q_{дп} = K_{дин} \cdot Q_п, \quad (3)$$

где $K_{дин}$ — динамический коэффициент, $K_{дин}$ = 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 K_c, вычисляемый по формуле

$$K_c = a - в\sqrt{Б_т - c}, \quad (4)$$

где $Б_т$ — расстояние между крайними осями тележки, м;

а, в, с — параметры, определяемые в зависимости от капитальности дорожной одежды и числа осей тележки по табл. 2.

Таблица 2.

Тип тележки	*а*	*в*	*с*
Двухосная	1,7/1,52	0,43/0,36	0,5/0,5
Трехосная	2,0/1,60	0,46/0,28	1,0/1,0

***Примечание.** В числителе — для дорожных одежд капитального и облегченного типов, в знаменателе — для переходных.*

6. Суммарный коэффициент приведения определяют в такой последовательности:

- ✧ назначают расчетную нагрузку и определяют параметры $Q_{расч}$, P и D;
- ✧ для каждой марки автомобиля в составе перспективного движения по паспортным данным устанавливают величину номинальной статической нагрузки на колесо для всех осей транспортного средства Q_n;
- ✧ умножив полученные значения Q_n и $Q_{расч}$ на динамический коэффициент, находят величины номинальной динамической нагрузки $Q_{дп}$ от колеса для каждой оси и расчетной динамической нагрузки $Q_{драсч}$;
- ✧ по формуле (2) рассчитывают коэффициент приведения S_n номинальной нагрузки от колеса каждой из осей к расчетной;
- ✧ по формуле (1) вычисляют суммарный коэффициент приведения нагрузки от рассматриваемого типа автомобиля к расчетной нагрузке.

7. Допускается приближенно принимать суммарный коэффициент приведения $S_{т\ сум}$ по данным табл. 3.

Таблица 3

Тип автомобиля	Коэффициент приведения $S_{т\ сум}$ к расчетной нагрузке		
	A_1	A_2	A_3
Легкие грузовые грузоподъемностью 1–2 т	0,005	0,003	0,0015
Средние грузовые грузоподъемностью 2–5 т	0,2	0,13	0,063
Тяжелые грузовые грузоподъемностью 5–8 т	0,7	0,46	0,22
Очень тяжелые грузовые грузоподъемностью более 8 т	1,25	0,82	0,40
Автобусы	0,7	0,46	0,22
Тягачи с прицепами	1,5	0,99	0,47

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 (дол от влажности на границе текучести W_m) при суммарной толщине слоев дорожной одежды $Z_1 \geq 0{,}75$ м определяют по формуле

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

где $\overline{W}_{таб}$ – среднее многолетнее значение относительной (доли от границы текучести) влажности грунта 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 (табл. 1) в зависимости от дорожно-климатических зоны и подзоны (рис. 2), схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта;

$\Delta_1 \overline{W}$ – поправка на особенности рельефа территории (табл. 2);

$\Delta_2 \overline{W}$ – поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин (табл. 3);

Δ_3 – поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды (рис. 1);

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности по табл. 2 прил. 4.

Таблица 1

Дорожно-климатическая зона-подзона	Схема увлажнения рабочего слоя	Среднее значение влажности $\overline{W}_{таб}$, доли W_T грунта			
		супеси легкой	песка пылеватого	суглинка легкого, тяжелого и тяжелого пылеватого, глины	супеси пылеватой, тяжелой пылеватой, суглинка легкого пылеватого
1	2	3	4	5	6
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-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-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-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-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-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-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-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
III-III_1	1	0,55	0,57	0,60	0,63
	2–3	0,59	0,61	0,63	0,67
III-III_2	1	0,58	0,60	0,63	0,66
	2–3	0,62	0,64	0,66	0,70
III-III_3	1	0,55	0,57	0,60	0,63
	2–3	0,59	0,61	0,63	0,67

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6
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. Указанными значениями $\overline{W}_{таб}$ *можно пользоваться только при обеспечении возвышения земляного полотна в соответствии со СНиП. Для участков, где оно не обеспечивается (например, в нулевых местах и в выемках с близким залеганием грунтовых вод)* $\overline{W}_{таб}$ *назначается по данным прогнозов, но не менее чем на 0,03 выше табличных значений.*

Таблица 2

Номер пп.	Тип местности по рельефу	Поправка $\Delta_1 \overline{W}$
1	Равнинные районы	0,00
2	Предгорные районы (до 1000 м выше уровня моря)	0,03
3	Горные районы (более 1000 м выше уровня моря)	0,05

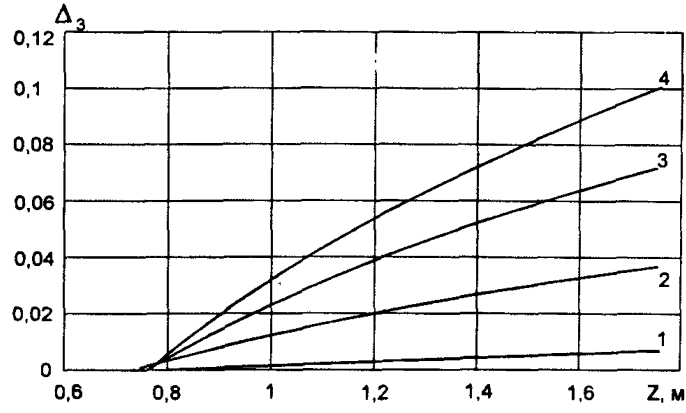


Рис.1. Графики для определения поправки на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды: 1 – для исходной относительной влажности 0,75 $W_т$; 2 – то же, 0,8 $W_т$; 3 – то же, 0,85 $W_т$; 4 – то же, 0,9 $W_т$. Исходная влажность определяется первым слагаемым в формуле (1)

Таблица 3

Номер пп.	Конструктивная особенность	Поправка $\Delta_2 \overline{W}$ в дорожно-климатических зонах			
		II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6
1	Основание дорожной одежды, включая слои на границе раздела с земляным полотном, из укрепленных материалов				
	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
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 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 $\Delta_2 \overline{W}$ по пп. № 1 и 2 следует принимать только при 1-й схеме увлажнения рабочего слоя, а по пп. № 5 — при 2 и 3-й схемах

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

Таблица 4

Расчетные значения сдвиговых характеристик глинистых грунтов в зависимости от расчетного числа приложений расчетной нагрузки и расчетной относительной влажности

Расчетная относительная влажность	Сцепление, МПа/угол внутреннего трения, град, при суммарном числе приложения нагрузки ΣN_p				
	1	10^3	10^4	10^5	10^6
Суглинки и глины					
≤0,60	0,030 24	0,030 20	0,016 14,5	0,014 11	0,012 9
0,65	0,024 21	0,019 15	0,013 11	0,011 8	0,009 7
0,70	0,019 18	0,013 11,5	0,009 8,5	0,007 6,5	0,006 5,5
0,75	0,015 15	0,009 10	0,006 7,5	0,005 5	0,004 4
0,80	0,011 13	0,007 8	0,005 5	0,003 3	0,002 2,5
0,90	0,008 11,5	0,004 6,5	0,004 3,5	0,002 2,2	0,001 2
Супеси и пески пылеватые					
0,60	0,014 36	0,012 24	0,008 18	0,006 14	0,005 12
0,65	0,013 3[illegible]	0,010 23,5	0,008 17	0,006 14	0,004 12
0,70	0,012 35	0,009 23,5	0,006 17	0,005 14	0,004 12
0,75	0,011 35	0,008 23	0,005 17	0,004 14	0,00[illegible] 12
0,80	0,010 34	0,007 23	0,005 17	0,004 14	0,003 12
0,85	0,009 34	0,007 22	0,004 15	0,003 12	0,003 10
0,90	0,008 33	0,004 21	0,003 12,5	0,003 10	0,003 8

Примечание. Значение сдвиговых характеристик при $\Sigma N_p=1$ используется при статическом действии нагрузки, при $\Sigma N_p>10^6$ – принимать для нагрузки 10^6

Таблица.5

Расчетные 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
Песок:										
крупный						130				
средней крупности						120				
мелкий						100				
однородный пылеватый						75				
	96	90	84	78	72	66	60	54	48	43
Супесь:										
легкая пылеватая,	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
тяжелая пылеватая	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
легкая крупная						65				
Суглинок:										
легкий, тяжелый,	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
легкий пылеватый, тяжелый пылеватый				54	46	38	32	27	26	25
Глины				50	41	34	29	25	24	23

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

Таблица 6

Расчетные значения сдвиговых характеристик песков и песчаных слоев в зависимости от расчетного числа приложения расчетной нагрузки

Песок с содержанием пылевато-глинистой фракции, %	Сцепление, МПа/угол внутреннего трения, град, при суммарном приложении нагрузки ΣN_p				
	1	10^3	10^4	10^5	10^6
Крупный					
0	35 0,004	33 0,003	32 0,003	31 0,003	29 0,003
5	34 0,005	31 0,004	30 0,004	29 0,003	28 0,003
Средней крупности					
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
Мелкий					
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 0,003

Примечания: 1. Значения характеристик даны для условий полного заполнения пор водой. 2. При $\Sigma N_p > 10^6$ расчетные значения следует принимать для нагрузки 10^6. 3. Для супеси легкой крупной величины принимать как для песка мелкого с содержанием пылевато-глинистой фракции 8%

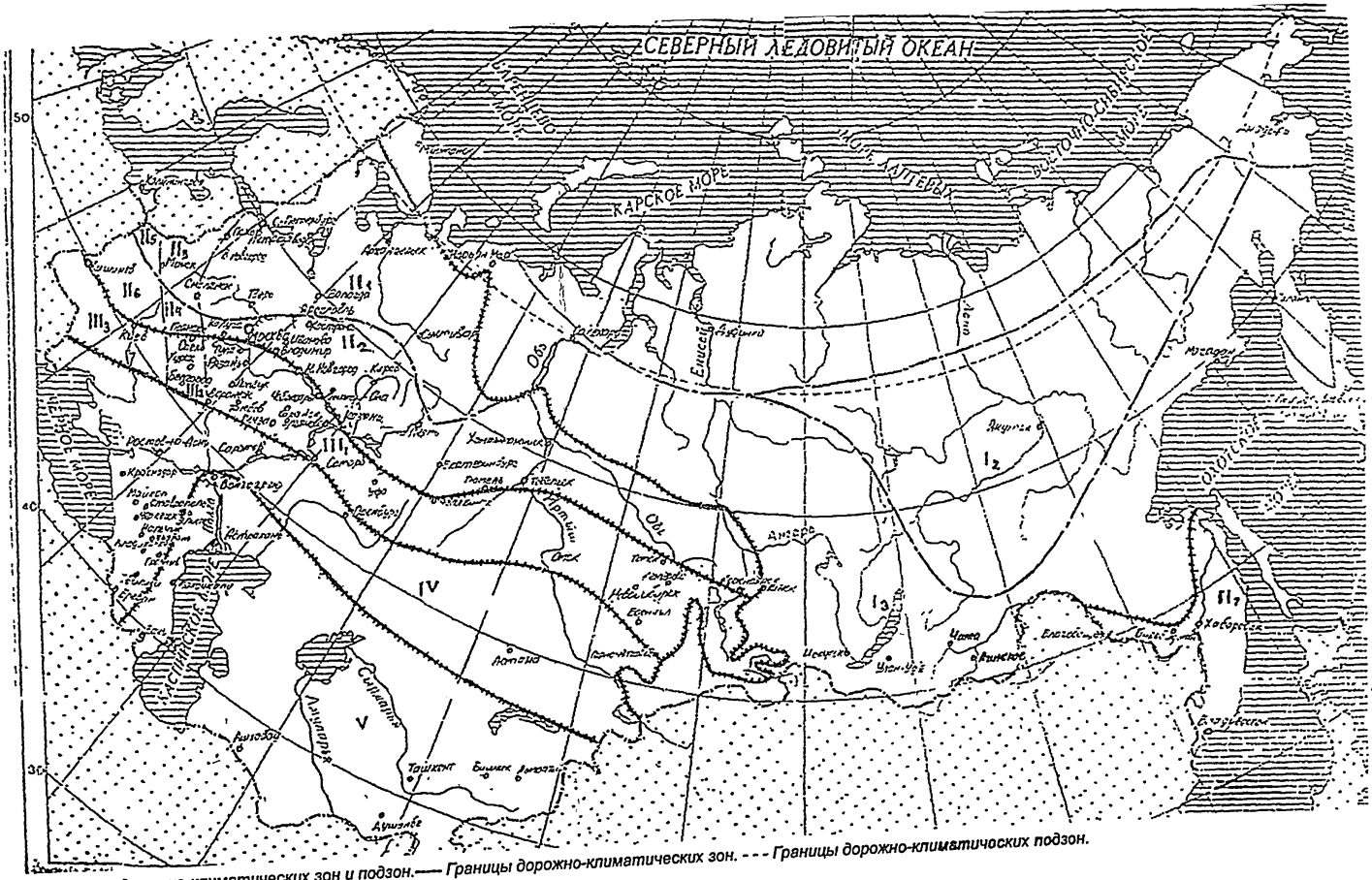
В. Дорожно-климатические зоны и подзоны

Таблица 7

Зона и подзона	Примерные географические границы
1	2
I	Севернее линии Нивский–Сосновка–Новый Бор–Щельябож–Сыня–Суеватпуль–Белоярский–Ларьяк–Усть-Озерное–Ярцево–Канск–Выезжий Лог–Усть–Золотая–Сарыч–Сеп–Новоселово–Артыбаш–Иню–государственная граница–Симоново–Биробиджан–Болонь–Многовершиный. Включает зоны тундры, лесотундры и северо-восточную часть лесной зоны с распространением вечномерзлых грунтов
I_1	Севернее линии Нарьян-Мар–Салехард–Курейка–Трубка Удачная–Верхоянск–Дружина–Горный Мыс–Марково
I_2	Восточнее линии устье р. Нижняя Тунгуска–Ербогачен, Ленск–Бодайбо–Богдарин и севернее линии Могоча–Сковородино–Зея–Охотск–Палатка–Слаутсткое. Ограничена с севера подзоной I_1
I_3	От южной границы вечной мерзлоты до южной границы подзоны I_2
II	От границы зоны I до линии Львов–Житомир–Тула–Нижний Новгород–Ижевск–Томск–Канск. На Дальнем Востоке от границы зоны I до государственной границы. Включает зону лесов с избыточным увлажнением грунтов
II_1	С севера и востока ограничена зоной I, с запада – подзоной II_3, с юга – линией Рославль–Клин–Рыбинск–Березники–Ивдель
II_2	С севера ограничена подзоной II_1, с запада – подзоной II_4, с юга – зоной III, с востока и юга – границей зоны I
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	С севера ограничена подзоной II_3, с запада – подзоной II_6, с юга – границей с зоной III, 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 зоной III, с востока – линией Минск–Бобруйск–Гомель

Продолжение табл. 7

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


СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН
КАРСКОЕ МОРЕ
ЛАПТЕВЫХ
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ
ЧУКОТСКОЕ МОРЕ
БЕЛОЕ МОРЕ
БАЛТИЙСКОЕ МОРЕ
ЧЕРНОЕ МОРЕ
АЗОВСКОЕ МОРЕ
КАСПИЙСКОЕ МОРЕ
АРАЛЬСКОЕ МОРЕ
Обь
Енисей
Лена
Амур
Волга
Дон
Днепр
Москва
Ленинград
Горький
Киров
Свердловск
Челябинск
Омск
Новосибирск
Красноярск
Иркутск
Чита
Хабаровск
Владивосток
Якутск
Тюмень
Тобольск
Ханты-Мансийск
Сургут
Надым
Ташкент
Фрунзе
Алма-Ата
Ашхабад
Баку
Тбилиси
Ереван
Ростов-на-Дону
Воронеж
Харьков
Минск
Рига
Таллин
Мурманск
Архангельск
Петрозаводск
Вологда
Пермь
Уфа
Оренбург
Саратов
Куйбышев
Казань
Горький
Калининград
Смоленск
Брянск
Тула
Калуга
Рязань
Владимир
Ярославль
Кострома
Иваново
Курск
Белгород
Воронеж
Липецк
Тамбов
Пенза
Ульяновск
Самара
Астрахань
Волгоград
Элиста
Грозный
Краснодар
Ставрополь
Сочи
Симферополь
Севастополь
Одесса
Кишинев
Львов
Ужгород
Житомир
Винница
Полтава
Сумы
Чернигов
Гомель
Могилев
Витебск
Брест
Гродно
Вильнюс
Каунас
Клайпеда
Калининград
Псков
Новгород
Вологда
Архангельск
Мурманск
Петрозаводск
Сыктывкар
Ухта
Воркута
Салехард
Игарка
Норильск
Дудинка
Якутск
Чита
Хабаровск
Комсомольск-на-Амуре
Магадан
Анадырь
Петропавловск-Камчатский
Южно-Сахалинск
Улан-Удэ
Кызыл
Барнаул
Бийск
Горно-Алтайск
Кемерово
Новокузнецк
Прокопьевск
Междуреченск
Абакан
Чита
Благовещенск
Биробиджан
Находка
Владивосток
Уссурийск
Арсеньев
Партизанск
Артем
Спасск-Дальний
Лесозаводск
Дальнегорск
Охотск
Тикси
Певек
Анадырь
Усть-Кут
Братск
Усть-Илимск
Тайшет
Нижнеудинск
Зима
Черемхово
Усолье-Сибирское
Иркутск
Ангарск
Шелехов
Слюдянка
Байкальск
Северобайкальск
Улан-Удэ
Гусиноозерск
Кяхта
Закаменск
Улан-Удэ
Петровск-Забайкальский
Могоча
Сковородино
Тында
Зея
Свободный
Белогорск
Райчихинск
Шимановск
Завитинск
Архара
Облучье
Биробиджан
Амурзет
Ленинское
Смидович
Хабаровск
Комсомольск-на-Амуре
Николаевск-на-Амуре
Советская Гавань
Вяземский
Оха
Ноглики
Поронайск
Долинск
Холмск
Невельск
Корсаков
Южно-Сахалинск
Александровск-Сахалинский
Углегорск
Анива
Курильск
Северо-Курильск
Петропавловск-Камчатский
Елизово
Вилючинск
Усть-Камчатск
Ключи
Ключевская
Шипунский
Усть-Большерецк
Мильково
Палана
Оссора
Тиличики
Корф
Эссо
Вывенка
Анадырь
Беринговский
Провидения
Уэлен
Лаврентия
Мыс Дежнева
Мыс Шмидта
Певек
Чаунская
Билибино
Зырянка
Среднеколымск
Верхоянск
Оймякон
Усть-Нера
Депутатский
Черский
Нижнеколымск
Усть-Куйга
Тикси
Хатанга
Дудинка
Норильск
Игарка
Туруханск
Енисейск
Лесосибирск
Дивногорск
Красноярск
Ачинск
Канск
Зима
Тайшет
Нижнеудинск
Тулун
Черемхово
Усолье-Сибирское
Иркутск
Ангарск
Шелехов
Слюдянка
Байкальск
Северобайкальск
Улан-Удэ
Гусиноозерск
Кяхта
Закаменск

Приложение 3
(справочное)

НОРМАТИВНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Слои из асфальтобетона

Таблица 1

Характеристики асфальтобетонов при расчете на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками

Асфальтобетон	Расчетный модуль упругости E, МПа	m	α	Нормативное сопротивление растяжению при изгибе R_o, МПа
Высокоплотный на битуме				
БНД 40/60	8600	6,0	5,0/5,6	10,0
БНД 60/90	6000	5,5	5,2/5,9	9,8
БНД 90/130	4600	5,0	5,4/6,3	9,5
БНД 130/200	3500	4,5	5,8/6,8	9,3
БНД 200/300	2500	4,3	5,9/7,1	9,0
Плотный на битуме				
БНД 40/60	6000	6,0	5,0/5,6	10,00
БНД 60/90	4500	5,5	5,2/5,9	9,80
БНД 90/130	3600	5,0	5,4/6,3	9,50
БНД 130/200	2600	4,5	5,8/6,8	9,30
БНД 200/300	2000	4,3	5,9/7,1	9,00
Пористый на битуме				
БНД 40/60	3600	4,5	5,8/6,8	8,30
БНД 60/90	2800	4,3	5,9/7,1	8,00
БНД 90/130	2200	4,0	6,3/7,6	7,80
БНД 130/200	1800	3,75	6,6/8,2	7,60
БНД 200/300	1400	3,7	6,7/8,2	7,10
Высокопористый на битуме				
БНД 40/60	3000	4,3	5,9/7,1	5,50/6,50*
БНД 60/90	2100	4,0	6,3/7,6	5,65/6,20
БНД 90/130	1700	3,8	6,5/7,9	5,50/—
Холодный				
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

) Для песчаного асфальтобетона.* ***Примечание.* *В числителе — для II дорожно-климатической зоны, в знаменателе — для III–V.*

Таблица 2.

Значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов различных составов при расчете конструкции по допускаемому упругому прогибу и условию сдвигоустойчивости

Материал	Битум	Кратковременный модуль упругости Е, МПа, при температуре покрытия, °С				
		10	20	30	40	50 (60)
Плотный и высокоплотный асфальтобетн	Вязкий БНД/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
	Жидкий: 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	Вязкий БНД/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
То же, пористый	–	2000	300	400	350	300
Асфальтобетон холодный Бх Вх Гх Дх	–	1300 1100 900 750	–	–	–	–

Примечания. 1. Значение Е пористого и высокопористого асфальтобетона – для песчаных смесей. При температуре 30 – 50°С Е для мелкозернистых смесей следует увеличить на 10%, крупнозернистых смесей – на 20%.

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

Таблица 3

Расчетные значения модуля упругости асфальтобетонов при расчете на длительную нагрузку

Асфальтобетон	Тип смеси	Значение E при статической нагрузке, МПа, и температуре, °С			
		20	30	40	50
Плотный	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
Пористый и высокопористый	Крупнозернистая	360	320	280	250
	Мелкозернистая	290	250	220	200
	Песчаная	250	220	200	190
Холодный	Бх	180	–	–	–
	Вх	170	–	–	–
	Гх	160	–	–	–
	Дх	150	–	–	–

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

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

Таблица 4

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

Материал слоя	Расчетный модуль упругости E, МПа
2	3
Щебеночно-гравийно-песчаная смесь и крупнообломочный грунт, обработанные жидкими органическими вяжущими или вязкими, в т.ч. эмульгированными	450/350*)
жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными или эмульгированными совместно с минеральными	950/700*)

Продолжение табл. 4

1	2
Пески гравелистый, крупный, средний/песок мелкий, супесь легкая и пылеватая, суглинок легки обработанные:	
жидкими органическими вяжущими или вязкими, в т.ч. эмульгированными	430/280
жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными или эмульгированными совместно с минеральными	700/600

**) Над чертой – оптимального состава, под чертой – неоптимального*

Таблица 5

Конструктивные слои из черного щебня

Материал	Расчетное значение модуля упругости, Е, МПа
Черный щебень, уложенный по способу заклинки	600-900
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 6

Конструктивные слои из смесей щебеночно-гравийно-песчаных и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими, согласно ГОСТ 23558-94

Материал	Расчетный модуль упругости Е, МПа
Щебеночно-гравийно песчаная смесь, крупнообломочный грунт (оптимальные/неоптимальные), обработанные цементом и соответствующие марке	
20	500/400
40	600/550
60	800/700
75	870/830
100	1000/950

То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим и соответствующие марке	
20	450/350
40	550/500
60	750/650
75	870/780
100	950/910
Пески гравелистые, крупные, средние/пески мелкие и пылеватые, супесь легкая и тяжелая, суглинок легкий, обработанные цементом и соответствующие марке	
20	400/250
40	550/400
60	700/550
75	870/750
100	950/870
То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим и соответствующие марке	
20	300/200
40	450/300
60	600/450
75	730/600
100	870/750

Таблица 7

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

Материал основания дорожной одежды	Расчетный модуль упругости Е, МПа
Подобранные оптимальные смеси из высокоактивных материалов с максимальной крупностью зерен до 40 мм, уплотненных при оптимальной влажности	650-870
То же, из активных материалов	480-700
Рядовые неоптимальные смеси из высокоактивных материалов с максимальной крупностью 70 мм	450-650
То же, из активных материалов	370-480

Примечание. К высокоактивным относятся материалы, имеющие в возрасте 90 сут прочность при сжатии от 5 до 10 МПа, к активным — материалы с прочностью при сжатии от 2,5 до 5 МПа. Расчетное значение модуля упругости выбирается с учетом реального состава местного материала и практического опыта его использования.

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

Таблица 8

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

Материал слоя	Расчетный модуль упругости E, МПа
Щебеночная/гравийная смеси (С) покрытий непрерывной гранулометрии (ГОСТ 25607) при максимальном размере зерен	
$С_1$–40 мм	300/280
$С_2$–20 мм	290/265
То же, для оснований	
$С_3$–120 мм	280/240
$С_4$–80 мм	275/230
$С_5$–80 мм	260/220
$С_6$–40 мм	250/200
$С_7$–20 мм	240/180
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 9

Щебеночные основания, устраиваемые методом заклинки ГОСТ 25607-94

Материал заклинки щебня фракционированного 40-80 (80-120) мм	Расчетный модуль упругости, E, МПа
Фракционированный мелкий щебень	450 350
Известняковая мелкая смесь или активный мелкий шлак	400 300
Мелкий высокоактивный шлак	450 400
Асфальтобетонная смесь	500 450
Цементопесчаная смесь М75 при глубине пропитки 0,25-0,75 h слоя	450-700 350-600

Примечание. Над чертой — из легкоуплотняемого щебня; под чертой — из трудноуплотняемого.

Д. Механические характеристики теплоизолирующих слоев

Таблица 10

Материал	Расчетный модуль упругости E, 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% (% 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% (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 уноса	200
Цементогрунт, обработанный битумной эмульсией	–

Приложение 4
(справочное)

НАЗНАЧЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица 1

Рекомендуемые значения коэффициента вариации

Номер пп.	Характеристика	ν
1	Относительная влажность грунта рабочего слоя, прочность асфальтобетонных слоев на растяжение при изгибе	0,10

Таблица 2

Коэффициенты нормированного отклонения

$K_н$	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,98
t	0,52	0,68	0,84	1,06	1,32	1,71	2,19

Приложение 5
(справочное)

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Таблица 1

Материал, грунт	Плотность ρ, кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(мК)
2	3	4
Асфальтобетон горячий плотный	2400	1,40
То же, пористый	2300	1,25
Тоже, высокопористый, в том числе битумопесчаная смесь (ТУ 218 РСФСР)	2200-1900	1,1−1,0
Аглопоритовый щебень, обработанный вязким битумом	800	0,23
Керамзитовый гравий, обработанный вязким битумом	1100	0,64
Гравий (щебень) с легким заполнителем, обработанные вязким битумом	2000	0,52
Супесь, укрепленная 10%-ной эмульсией	1700-1900	1,45
Цементобетон	2400	1,74
Песок разномерный, укрепленный 6-10% цемента	2100	1,86
Песок мелкий, одномерный, укрепленный 10% цемента	2100	1,62
Цементогрунт состава: песок − 75% (массы), керамзит − 25%, цемент − 5%	1500-1600	0,58-0,70
Цементогрунт состава: песок − 97-98%, гранулы полистирола − 3-2% , цемент − 7-6%	1300-1500	0,41-0,58
Битумоцементогрунт состава: перлитовый щебень − 25-20%, песок 75-80%, цемент 3-4%, битум 12-10% (массы песка, перлита и цемента)	1400	0,52-0,58
Цементогрунт состава: супесь или песок 70-80%, аглопорит 30-20%, цемент 6%	1700-1800	0,64-0,75
Шлакобетон	1600	0,58

Продолжение табл. 1

2	3	4
Керамзитобетон	1400	0,75
Стиропорбетон	1000-1100	0.23
Слабопрочные известняки, укрепленные известью	2000	1,16
Суглинок, укрепленный 6-12% цемента	1750-1900	1,45
Суглинок, укрепленный 2-5% цемента и 6-2% известью	1800-1900	1,33
Супесь, укрепленная 8-10% цемента	1700-1900	1,51
Пенопласт	38,5-60	0,03-0,052
Пеноплэкс	38,5-50	0,03-0,032
Каменноугольная золошлаковая смесь, укрепленная 6-8% цемента	1600	0,7
Шлак топочный	800	0,46
Щебень из гранита	1800	1,86
Щебень из известняка	1600	1,39
Гравий	1800	1,86
Песок крупный талый	2000	1,74
То же, мерзлый	2000	2,32
Песок средней крупности талый	1950	1,91
То же, мерзлый	1950	2,44
Песок мелкий талый	1850	1,91
То же, мерзлый	1850	2,32
Песок пылеватый талый	1750	1,80
То же, мерзлый	1750	2,20
Супесь талая	2100	1,80
То же, мерзлая	2100	2,03
Суглинок и глина талые	2000	1,62
То же, мерзлые	2000	1,97
Лессы талые	1500	1,51
То же, мерзлые	1500	2,09
Одномерный гранитный щебень, обработанный вязким битумом	1850	1,28
Гравийно-песчаная смесь	2000	2,10
Гравийно-песчаная смесь, укрепленная 10% цемента	2000	2,02

Приложение 6
(справочное)

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

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

1. Входящее в выражения (3.6) и (3.7) разд. 3 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 значения (рис. 1 и табл.1).

Таблица 1

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

Номер района (карта рис. 1)	Примерная географическая граница района	Рекомендуемое $T_{рдг}$
1	2	3
1	Зона распространения вечномерзлых грунтов севернее 70-й параллели	70
2	Севернее линии Онега–Архангельск–Мезень–Нарьян-Мар–шестидесятый меридиан–до побережья Европейской части	145

[1] *Расчетным считается день, в течение которого состояние грунта земляного полотна по влажности и температура асфальтобетонных слоев обеспечивают возможность накопления остаточной деформации в грунте земляного полотна или малосвязных слоях дорожной одежды.*

1	2	3
3	Севернее линии Минск–Смоленск–Калуга–Рязань–Саранск–сорок восьмой меридиан до линии Онега–Архангельск–Мезень–Нарьян-Мар	125
4	Севернее линии Львов–Киев–Белгород–Воронеж–Саратов–Самара–Оренбург–шестидесятый меридиан до линии районов 2 и 3	135
5	Севернее линии Ростов-на-Дону–Элиста–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 краев, Камчатской обл.), ограниченные с севера 70-й параллелью, с юга – 46-й	130-150 (меньшие для центральной части)
8	Хабаровский и Приморский края, Камчатская область	140

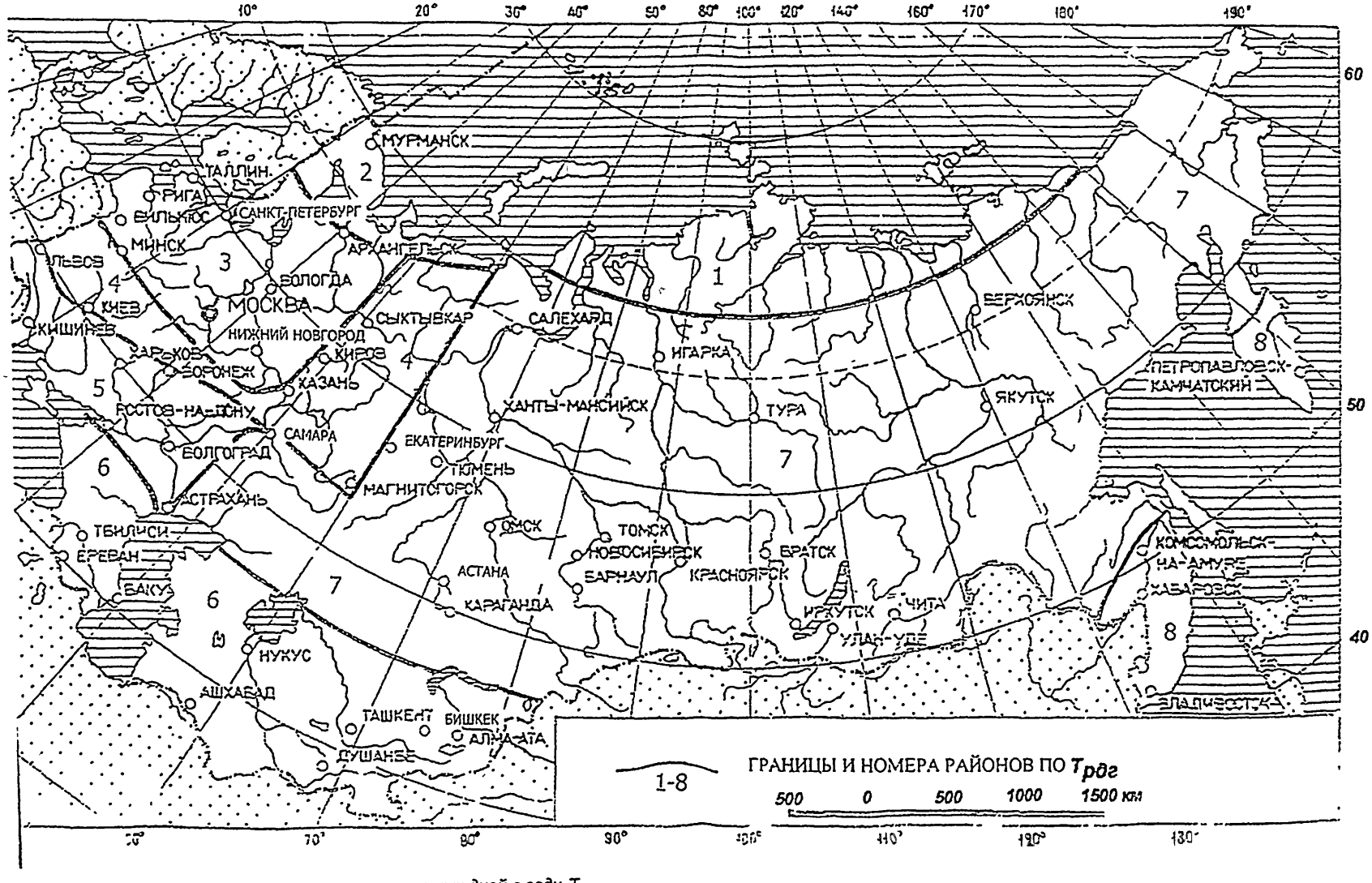
Примечание. Величину $T_{рдг}$ на границе районов следует принимать по наибольшему из значений.

2. При отсутствии региональных норм расчетный срок службы дорожной одежды допускается назначить в соответствии с рекомендациями табл. 2.

Таблица 2

Рекомендуемый расчетный срок службы конструкции

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



Карта районирования по количеству расчетных дней в году, Трдг

3. Значение коэффициента суммирования K_c следует принимать по табл. 3 (при отсутствии других данных).

Таблица 3

Показатель изменения интенсивности движения q по годам	Значение K_c при сроке службы дорожной одежды $T_{сл}$, годы			
	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

7.1. 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:

❶ Начальная влажность и плотность образца должна быть равномерно распределены по его объему.

❷ При увлажнении образца через нижнюю поверхность не допускается изменение влажности на его верхней поверхности при подходе к ней фронта увлажнения.

❷ Увлажнение образца должно происходить безнапорно.

Выполнение этих условий достигается за счет применения прибора конструкции Г.И. Собко (рис. 1).

Коэффициент влагопроводности грунта нарушенной структуры следует определять по следующей методике.

- ✧ отбирается проба грунта массой 2 кг, высушивается и размельчается;
- ✧ определяются вид грунта, его оптимальная влажность и максимальная плотность;
- ✧ высушенный и размельченный грунт увлажняется до оптимальной влажности;

- ✧ увлажненный грунт загружается в цилиндр-грунтонос, который навинчивается на трубку, и вращением рукояти с винтом уплотняется до требуемого коэффициента уплотнения;
- ✧ форма для фильтра наполняется крупным песком и тщательно выравнивается по внутреннему обрезу формы;
- ✧ 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_H;
- ✧ цилиндр-грунтонос навинчивается на трубку так, чтобы уплотняющий штамп с датчиком влажности свободно опускался на поверхность грунтового образца;
- ✧ к разъему трубки подсоединяется контактный шнур измерительного блока, производится его включение. Регулировочной ручкой измерительного блока стрелка миллиамперметра выводится на нулевую отметку;
- ✧ снимается днищевая крышка, и трубка с цилиндром-грунтоносом устанавливается в форму для фильтра. Включается таймер.

Срабатывание датчика влажности, сопровождаемое звуковым и световым сигналами, свидетельствует о завершении увлажнения, после чего по водомерной шкале отмечается конечный уровень воды H_K в питающем сосуде. По разнице показателей H_H и H_K определяется количество впитавшейся в образец грунта воды (q).

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

Коэффициент влагопроводности $K_{ВЛ}$ грунта вычисляется по зависимости

$$K_{вл} = \frac{4}{3{,}14 \cdot d^4 \cdot t} \cdot \left[- \frac{q}{\rho_d (W_{ПВ} - W_0)} \right]^2 \qquad (1)$$

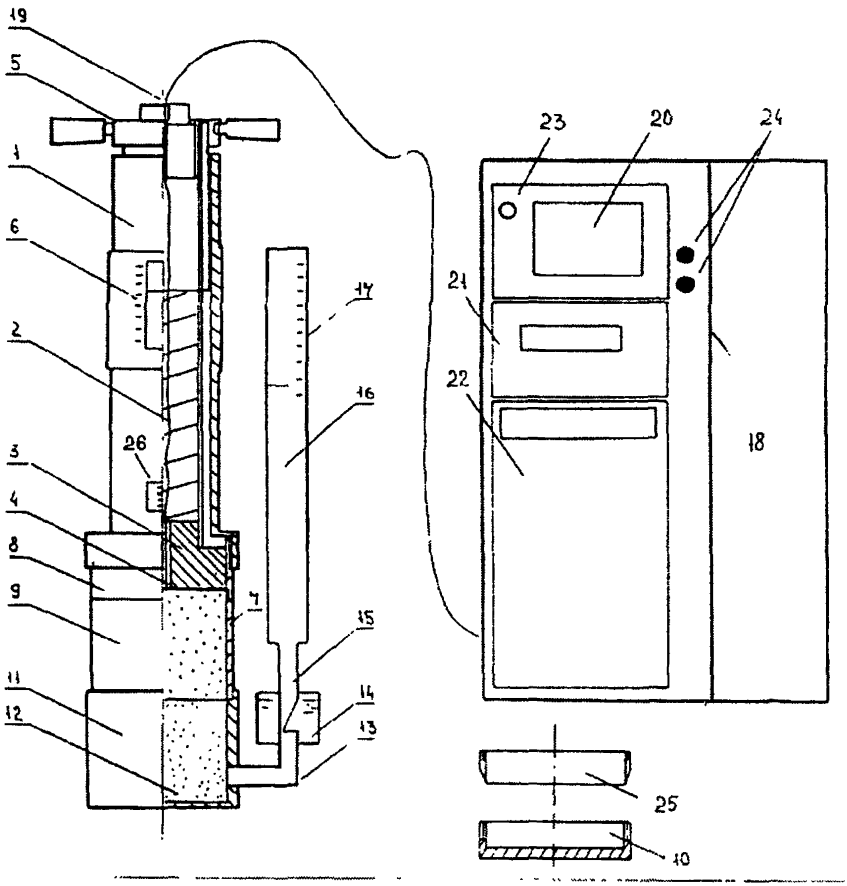


Рис.1. Схема прибора для определения коэффициента влагопроводности грунта:1 – трубка; 2 – тарированная пружина; 3 – уплотняющий штамп; 4-плоский электрический датчик влажности; 5 – рукоятка с винтом; 6 – измерительная шкала пружины; 7 – разъемный цилиндр-грунтонос; 8 – верхняя насадка цилиндра-грунтоноса; 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 – микроЭВМ; 23 – световой индикатор; 24 – регулировочные ручки измерительного моста; 25 – режущая кромка для отбора проб грунта ненарушенной структуры; 26 – нижняя шкала трубки.

где $W_{ПВ}$ – влажность, соответствующая полной влагоемкости, доли единицы:

$$W_{ПВ} = 1/\rho_d - 1/\rho_s, \qquad (2)$$

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

ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3; $\rho_s = 2{,}68$ – для супесей; $\rho_s = 2{,}70$ – для суглинков; $\rho_s = 2{,}72$ – для глин;

t – время увлажнения, ч;

q – количество впитавшейся воды, г;

W_0 – начальная влажность грунта, доли единицы;

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

Для получения значения $K_{ВЛ}$ с требуемой доверительностью необходимо провести не менее пяти испытаний при обработке измерений в такой последовательности:

- ✧ вычисляется среднее экспериментальное значение коэффициента влагопроводности ($K_{ВЛСР}$) по результатам *n* испытаний;
- ✧ рассчитывается среднеквадратичное отклонение (S);
- ✧ устанавливается верхняя граница для коэффициента влагопроводности, соответствующая одностороннему доверительному интервалу при уровне значимости $\alpha = 0{,}05$, по формуле

$$K_{ВЛ,S} = K_{ВЛСР} + t_{n-1,a} \cdot S / \sqrt{n}, \qquad (3)$$

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

7.2. 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 (), выражаемая суммой градусо-суток отрицательной температуры воздуха;
- ✧ коэффициент влагопроводности ($K_{вл}$).

В табл. 2 приведены значения $t_{вл}$,$t_{пр}$, и σ для 65 пунктов России. При отсутствии в перечне нужного пункта значение этих характеристик берется для ближайшего по географическому расположению пункта.

Таблица 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 пылевтый	0,13–0,14	0,09	140
Глина пылеватая	0,19–0,21	0,16	150

Примечание. *$h_{кр}$ – критическая глубина, при которой процесс пучения прекращается. Если $h_{пр} > h_{кр}$, то в расчет вводят $h_{кр} = h_{пр}$*

Величина $W_{осср}$ определяется по формуле

$$W_{осср} = W_o + W_{отн}\,(W_{пв} - W_o) \qquad (4)$$

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

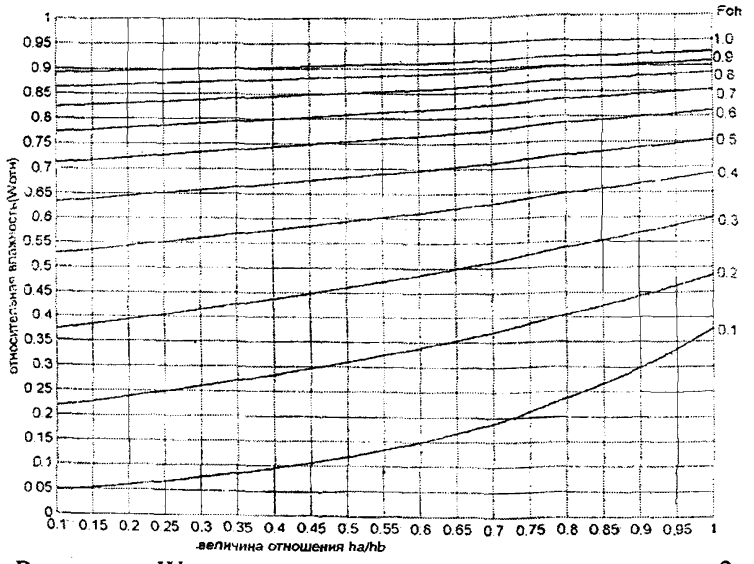
$W_{пв}$ – влажность полной влагоемкости грунта (весовая), доли единицы;

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

Значение $W_{пв}$ вычисляется из соотношения:

$$W_{ПВ} = 1/\rho_d - 1/\rho_s, \qquad (5)$$

Рис. 2. Номограмма определения для $W_{отн}$, при F_{oh} = 0,1÷ до 1.



Величина $_{\Delta}W_{отн}$ устанавливается по номограмме рис. 2 в зависимости от параметра

$$F_{oh} = \frac{K_{ВЛ} \cdot t_{ВЛ}}{h_{в}^{2}} \qquad (6)$$

Параметр $h_в$ принимается по данным изысканий (обследований), а h_A, необходимый для использования номограммы рис 2, определяется по формуле

$$h_A = 160 - h_{ДО}, \qquad (7)$$

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

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

$$W_{весср} = W_h + (W_{осср} - W_h)C \qquad (8)$$

где W_h – влажность грунта по жидкой фазе в зоне первичного льдовыделения (при температуре грунта от минус 0,5 до минус 1,0 °С). Значения W_h для разных грунтов приведены в табл. 1;

С – коэффициент, определяемый по графику рис. 3 в зависимости от величины критерия зимнего влагонакопления Z, вычисляемого, в свою очередь, из соотношения

$$Z = \frac{\alpha}{2\sqrt{K_{ВЛ}}} \qquad (9)$$

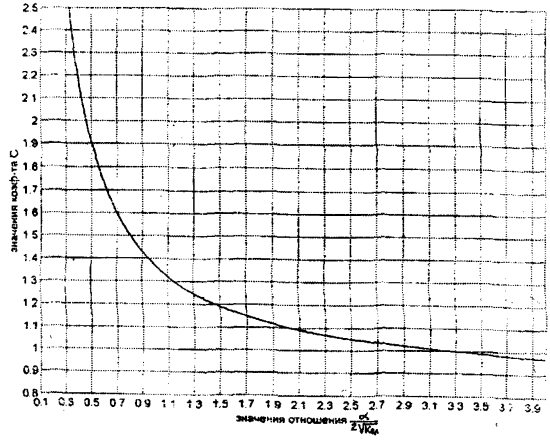


Рис. 3. График коэффициента С для расчета весенней влажности

Характеристика скорости промерзания грунта земляного полотна α определяется из сотношений:

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

а) для автомобильных дорог I–II категорий

$$\alpha = 3{,}24 + \sigma^{0{,}079} - 0{,}05 \cdot h_s \qquad (10)$$

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

σ – характеристика суровости зимнего периода, определяемая для соответствующего региона из табл. 2;

б) для автомобильных дорог III–IV категорий

$$\alpha = 3{,}24 + \sigma^{0{,}079} - 0{,}013 \cdot h_s \qquad (11)$$

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

❷ При коэффициенте влагопроводности грунта 2,1–5,0 см²/ч:

а) для дорог I–III категорий

$$\alpha = 1{,}24 + 0{,}72 \cdot \ln \sigma - 0{,}05 \cdot h_s; \qquad (12)$$

б) для дорог IV–V категорий

$$\alpha = 1{,}24 + 0{,}72 \cdot \ln \sigma - 0{,}013 \cdot h_s \qquad (13)$$

При $F_{oh} > 1$ $W_{отн}$ практически не зависит от h_a/h_b, поэтому приводим значения $W_{отн}$ в зависимости от F_{oh} в табличной форме

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}, равном или превышающем 2,1, можно принять $W_{отн} = 1$.

Грунты с коэффициентом 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 $h_{пуч}$ поверхности дорожного покрытия ведется с использованием зависимости

$$h_{пуч} = \frac{h_{ПР} \cdot \rho_d}{d}\left[1{,}09 \cdot \left(W_{ВЕССР} - W_{НЗ}\right) - \left(W_{ПВ} - W_{НЗ}\right)\right] \qquad (14)$$

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

d – плотность воды, г/см³;

$W_{НЗ}$ – влажность (весовая), соответствующая незамерзающей воде (см. табл. 1);

$W_{ПВ}$ – влажность (весовая) полной влагоемкости, вычисляемая по соотношению (5).

Полная глубина промерзания грунта $h_{пр}$ определяется:

а) при отсутствии теплоизолирующих слоев в составе дорожной одежды

$$h_{пр} = \alpha \sqrt{t_{пр} \cdot 24}\,; \qquad (15)$$

б) при их наличии

$$h_{пр} = (150{,}6 + 0{,}0027 \cdot \sigma) - (13{,}93 - 0{,}0067 \cdot \sigma)\, h_s \cdot \beta \qquad 16)$$

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

$\beta = 0{,}25$ – то же, из местных материалов.

Величину отношения $W_{весср} / W_т$ (где $W_т$ – влажность грунта земляного полотна на границе текучести) в соответствии с данной методикой можно использовать в качестве расчетной относительной влажности при определении прочностных и деформационных характеристик грунта рабочего слоя.

Таблица 2

Климатические характеристики регионов России

Пункт	$t_{вл}$	$t_{пр}$	σ
1	2	3	4
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

1	2	3	4
Иваново	720	254	48.36
Ивдель (Свердловская обл.)	1296	182	47.17
Ижевск	384	251	58.63
Иркутск	1512	264	98.42
Йошкар-Ола	240	259	59.26
Казань	384	263	53.02
Калининград	1776	245	52.92
Калуга	1320	225	10.44
Кандалакша	768	211	30.38
Кингисепп (Ленинградская обл.)	1272	239	30.21
Киселевск (Кемеровская обл.)	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
Мезень	624	274	65.76
Минусинск	264	261	86.86
Москва	1248	170	28.02
Мурманск	912	255	35.90
Великий Новгород	1680	151	28.03
Нижневартовск	720	275	94.59
Нижний Новгород	1440	182	26.21
Нолинск (Кировск.обл.)	312	254	57.71
Норск (Амурская обл.)	1704	260	132.29
Огурцово (Новосибирская обл.)	192	271	81.52
Оренбург	0	240	56.83
Парабель (Томская обл.)	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 (Тверская обл.)	1008	241	40.10
Родино (Алтайский край)	0	248	70.23
Рыбинск	1152	231	41.40

1	2	3	4
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 (Приморский 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

Примечание. $t_{вл}$ *— продолжительность периода осеннего влагонакопления ч;* $t_{пр}$ *— продолжительность периода промерзания, сут;* σ *— сумма градусо-часов отрицательной температуры, умноженная на 0,001*

Приложение 8
(справочное)

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1.

Требуется запроектировать дорожную одежду со следующими исходными данными:

- ✧ автомобильная дорога категории I располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской обл.;
- ✧ заданный срок службы дорожной одежды $T_{сл}$=15 лет;
- ✧ заданная надежность $K_н$= 0,98;
- ✧ нагрузка типа A_1 (см. прил. 1 табл. 1);
- ✧ интенсивность движения на конец срока службы $N_р$=3200 авт/сут; приращение интенсивности q=1,04;
- ✧ грунт рабочего слоя земляного полотна — супесь пылеватая, относится к сильнопучинистым грунтам;
- ✧ материалы основания — щебеночно-гравийная песчаная смесь, обработанная цементом марки 40, и песок средней крупности;
- ✧ схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 3;
- ✧ мероприятия по уменьшению увлажнения рабочего слоя — дренаж с продольными трубчатыми дренами.

Расчет конструкции на прочность

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

$$\Sigma N_р = 0{,}7\ N_р\ \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}}\ T_{рдг}\ k_п,$$

где K_c=20,0 (см. прил. 6 табл. 3);
$T_{рдг}$=125 дней (см. прил. 6 табл.1);
$k_п$=1,49 (см. табл. 3.3).
Отсюда

$$\Sigma N_p = 0{,}7 \cdot 3200 \cdot \frac{20{,}0}{1{,}04^{14}} \cdot 125 \cdot 1{,}49 = 4\ 820\ 000 \text{ авт.}$$

2. Определяем расчетную влажность грунта рабочего слоя по формуле (1) прил. 2:

$$W_p = (\overline{W}_{табл} + \Delta_1\overline{W} - \Delta_2\overline{W})(1 + 0{,}1t) - \Delta_3,$$

где $\overline{W}_{табл} = 0{,}72$ (см. прил. 2 табл. 1);

$\Delta_1\overline{W} = 0{,}00$ (см. прил. 2 табл. 2);

$\Delta_2\overline{W} = 0{,}05$ (см. прил. 2 табл. 3);

$\Delta_3 = 0{,}00$, так как $\overline{W}_{табл} < 0{,}75W_m$ (см. прил. 2 рис. 1);

$t = 2{,}19$ (см. прил. 4 табл. 2)

Получаем

$$W_p = (0{,}72 - 0{,}05)(1 + 0{,}1 \cdot 2{,}19) = 0{,}817W_m.$$

3. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения расчетных параметров:

- ✧ для расчета по допускаемому упругому прогибу (см. прил. 2 табл. 5, прил. 3 табл. 2 и 6);
- ✧ для расчета по условию сдвигоустойчивости (см. прил. 2 табл. 4 и 6, прил. 3 табл. 2 и 6);
- ✧ для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (см. прил. 3 табл. 1).

Материал слоя	h, см	E, МПа, при расчете по		Расчет на растяжение при изгибе			
		допустимому упругому прогибу	по сдвигоуст.	E, МПа	R_o, МПа	α	m
Асфальтобетон плотный на битуме марки БНД 60/90	4	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5

1	2	3	4	5	6	7	8
То же, пористый на битуме марки БНД 60/90	8	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
То же, высокопористый на битуме марки БНД 60/90	18	2000	1200	2100	5,65	6,3	4,0
Оптимальная ЩГПС обработанная цементом марки 40	30	600	600	600	—		—
Песок средней крупности	40	120	120	120	—	—	—
Супесь пылеватая $W_p=0,817W_т$	—	30,3	30,3	30,3	—	—	—

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

$$\textbf{1)}\ \frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{гр}}{E^{пес}}=\frac{30,3}{120}=0,25;$$

по табл. 1 прил. 1 p=0,6 МПа, D=37 см;

$$\frac{h_в}{D}=\frac{h^{пес}}{D}=\frac{40}{37}=1,08;$$

$$\frac{E_{общ}}{E_в}=\frac{E^{пес}_{общ}}{E^{пес}}=0,58; \qquad E^{пес}_{общ}=0,58\cdot 120=69,6 \text{ МПа}.$$

$$\textbf{2)}\ \frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{пес}_{общ}}{E^{щеб}}=\frac{69,6}{600}=0,116; \qquad \frac{h_в}{D}=\frac{h^{щеб}}{D}=\frac{30}{37}=0,81;$$

$$\frac{E_{общ}}{E_в}=\frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{щеб}}=0,33; \qquad E^{щеб}_{общ}=0,33\cdot 600=198 \text{ МПа}.$$

3) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{а/б_3}}=\frac{198}{2000}=0{,}10;$ $\frac{h^{а/б_3}}{D}=\frac{18}{37}=0{,}49;$

$\frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_3}}=0{,}22;$ $E^{а/б_3}_{общ}=0{,}22\cdot2000=440$ МПа.

4) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_2}}=\frac{440}{2000}=0{,}22;$ $\frac{h^{а/б_2}}{D}=\frac{8}{37}=0{,}22;$

$\frac{E^{а/б_2}_{общ}}{E^{а/б_2}}=0{,}28$ $E^{а/б_2}_{общ}=0{,}28\cdot2000=560$ МПа.

5) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{а/б_2}_{общ}}{E^{а/б_1}}=\frac{560}{3200}=0{,}175;$ $\frac{h^{а/б_1}}{D}=\frac{4}{37}=0{,}11;$

$\frac{E_{общ}}{E^{а/б_1}}=0{,}19;$ $E_{общ}=0{,}19\cdot3200=608$ МПа.

Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.10):

$E_{тр}=98{,}65\ [\lg(\Sigma N_р)-3{,}55]=98{,}65\ [\lg 4\ 820\ 000-3{,}55]=309$ МПа.

Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}}{E_{ТР}}=\frac{608}{309}=1{,}97.$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу 1,50 (см. табл.3.1).

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

5. Рассчитываем конструкцию по условию сдвигоустойчивости в грунте.

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

$$T=\bar{\tau}_{н.р.}$$

Для определения $\tau_н$ предварительно назначенную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели.

В качестве ее нижнего слоя принимаем грунт (супесь пылеватую) со следующими характеристиками (при $W_р=0{,}817W_т$ и $\Sigma N_р$= 4 820 000 авт): $E_н$= 30,3 МПа (табл. 5 прил. 2); φ_N=11,4° и c_N=0,003 МПа (табл. 4 прил. 2).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), в которой значения модуля упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. 2 прил. 3 при расчетной температуре 20°С (см. табл.3.5):

$$E_в=\frac{1800\cdot 4+1200\cdot(8+18)+600\cdot 30+120\cdot 40}{100}=612 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_B}{E_H}=\frac{612}{30{,}3}=20{,}2$ и $\frac{h_B}{D}=\frac{100}{37}=2{,}70$ и при φ_N=11,4° с помощью номограммы (см. рис. 3.3) находим активное удельное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$= 0.0063 МПа.

По формуле (3.13) Т=0,0063·0,6 =0,00378 МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14):

где C_N=0,003 МПа;

$K_д$=1,0;

$Z_{оп}$=4+8+18+30+40=100 см;

$\varphi_{ст}$=34° (табл. 4 прил. 2);

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^3;

0,1 — коэффициент для перевода в МПа;

$$T_{пр}=0{,}003+0{,}1\cdot 0{,}002\cdot 100\cdot \operatorname{tg}34°=0{,}0165;$$

$$K_{пр}=\frac{0{,}0165}{0{,}00378}=4{,}4,$$ что больше $K_{пс}^{тр}$=1,10 (см. табл. 3.1).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в грунте.

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: $E_{общ}^{пес}$=60 МПа (п. 3.32), φ_N=27° и c_N=0,002 МПа (см. табл. 6 прил. 2).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. 2 прил. 3 при расчетной температуре 20°С (см. табл.3.5):

$$E_в = \frac{1800 \cdot 4 + 1200 \cdot 8 + 1200 \cdot 18 + 600 \cdot 30}{60} = 940 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_B}{E_H} = \frac{940}{69,6} = 13,5$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{60}{37} = 1,62$ и при φ_N=27° с помощью номограммы (см. рис. 3.2) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,012 МПа.

По формуле (3.13) T=0,012·0,6 = 0,0072 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+18+30=60 см;

$\varphi_{ст}$=32° (табл. 6 прил. 2);

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^3;

0,1 — коэффициент для перевода в МПа;

$$T_{пр} = 4 \cdot (0,002+0,1 \cdot 0,002 \cdot 60 \cdot \operatorname{tg} 32°) = 0,038;$$

$$K_{пс}=\frac{0,038}{0,0072}=5,3.$$

По табл. 3.1 $K_{пс}^{тр}=1,10$.

Следовательно, условие по сдвигоустойчивости в песчаном слое основания выполнено.

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

Расчет выполняем в следующем порядке:

а) приводим конструкцию к двухслойной модели, в которой нижний слой — часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. слои основания и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем по номограмме рис. 3.1. как общий модуль для двухслойной системы:

$$E_н = E_{общ}^{щеб} = 198 \text{ МПа}.$$

К верхнему слою относим все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя устанавливаем по формуле (3.12):

$$E_в=\frac{4500\cdot 4+2800\cdot 8+2100\cdot 18}{30}=2607 \text{ МПа};$$

б) по отношениям $\frac{h_B}{D}=\frac{30}{37}=0,81$ и $\frac{E_B}{E_H}=\frac{2607}{198}=13,2$ по номограмме рис. 3.4 определяем $\bar{\sigma}_r=0,77$.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (3.16):

$$\sigma_r=0,77\cdot 0,6\cdot 0,85=0,393 \text{ МПа}.$$

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

при $R_o=5,65$ МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (см. табл. 1 прил. 3)

ν_R=0,10 (см. табл. 1 прил.4):

t=2,19 (см. табл. 2 прил.4);

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

ΣN_p = 4 820 000 авт; m=4; α=6,3 (см. табл. 1 прил.3);

$$k_1=\frac{6,3}{\sqrt[4]{4820000}}=0,134;$$

k_2=0,80(см.табл.3.6);

$$R_N=5,65\cdot0,134\cdot0,80(1-0,1\cdot2,19)=0,473;$$

г) $K_{nc}=\frac{R_N}{\sigma_r}=\frac{0,473}{0,393}=1,20$, что больше, чем K_{nc}^{mp}=1,10 (см. табл. 3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

Проверка на морозоустойчивость.

Дополнительные условия:

Расчет выполняют для насыпи высотой 1,5 м при глубине залегания грунтовых вод 0,5 м от дневной поверхности (соответственно на глубине 1,0 м от низа дорожной одежды).

Расчет.

1. По карте (см. рис. 4.4) находим среднюю глубину промерзания $z_{пр(ср)}$ = 1,40 м для условий г. Москвы и по формуле (4.3) определяем глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$:

$$z_{пр} = z_{пр(ср)}1,38 = 1,4\cdot1,38 = 1,93 \text{ м} \approx 2\text{м}.$$

2. Для глубины промерзания 2 м по номограмме рис. 4.3 по кривой VI для сильнопучинистых грунтов (супесь пылеватая)

определяем величину морозного пучения для осредненных условий при толщине дорожной одежды 1 м:

$$l_{пуч(ср)} = 5 \text{ см}.$$

По рис. 4.1 при расчетном расстоянии от уровня грунтовых вод до низа дорожной одежды $H_y = 1,5 - 1,0 + 0,5 = 1,0$ м находим $K_{УГВ} = 0,78$. По табл. 4.4 для $K_{упл} = 0,98$ (капитальная дорожная одежда) рассчитываем $K_{пл} = 1,0$. По табл. 4.5 для супеси определяем $K_{гр}=1,1$. По рис. 4.2 при глубине промерзания $Z = 2$ м находим для супеси пылеватой $K_{нагр} = 0,92$.

По табл. 4.6 при расчетной влажности $W_p \approx 0,8\ W_т$ определяем $K_{вл} = 1,2$.

По формуле (4.2) находим величину пучения для данной конструкции:

$$l_{пуч} = l_{пуч(ср)} \cdot K_{УГВ} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл} = 5,0 \cdot 0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,92 \cdot 1,2 = 4,6 \text{ см}.$$

Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения (согласно табл. 4.3) составляет 4 см, а полученная величина составляет более 80% от допустимой, следует в соответствии с п.4.7 назначить морозозащитный слой и рассчитать его толщину.

3. Предварительно ориентировочно определяем необходимую толщину морозоустойчивой дорожной конструкции.

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

$$l_{пуч.ср} = l_{доп}/(K_{УГВ} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл}) = 4/(0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 0,92 \cdot 1,2) = 4,2 \text{ см}.$$

По номограмме рис. 4.3 определяем для $l_{пуч.ср} = 4,2$ см требуемую толщину дорожной одежды $h_{од} \approx 1,10$ м. Для обеспечения морозоустойчивости требуется предусмотреть морозозащитный слой: $h_{мрз} = 1,1\text{-}1,0 = 0,1$м.

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

Материал	Толщина слоя $h_{од\ (i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(м·К) (табл. 1 прил.5)
Асфальтобетон плотный	0,04	1,40
То же, пористый	0,08	1,25
То же, высокопористый	0,18	1,05
Оптимальная ЩГПС	0,30	2,10
Песок средней крупности	0,40	$\lambda_{ср} = (\lambda_м + \lambda_т)/2 = (2,44 + 1,91)/2 = 2,18$*

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

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{n} h_{од\ (i)} / {}_{од(i)} = 0,04:1,40 + 0,08:1,25 + 0,18:1,05 + 0,30:2,10 + 0,40/2,18 = 0,59,\ (м^2\ К)/Вт.$$

5. По карте рис. 4.5 определяем номер изолинии – V.

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

По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 1,10$ м для сильнопучинистого грунта, задаваясь допустимой глубиной промерзания грунта под дорожной одеждой $h_{пр(доп)} < 100$ см, методом интерполяции определяем $C_р = 0,64$.

7. Вычисляем отношение $l_{доп}/(C_{пуч} \cdot C_р)=4/(1,35 \cdot 0,64)=4,6$ см.

8. По номограмме рис. 4.6 методом интерполяции определяем приведенное термическое сопротивление $R_{пр} = 0,80$ (м² К/Вт).

9. По табл. 4.7 при сроке службы 15 лет методом интерполяции определяем $K_{од} = 0,95$; при 3-й схеме увлажнения принимаем $K_{увл} = 1,0$ (п. 4.11); для II_2 дорожно-климатической подзоны $\delta = 0,95$ (п. 4.11).

По формуле (4.8)

$$R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta = 0,72\ (м^2\ К)/Вт.$$

10. По формуле (4.6)

$$h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot {}_{мрз} = (0,72 - 0,59) \cdot 2,18 = 0,28\ м.$$

Поскольку разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ превышает 5 см, выполняем расчет $h_{мз} = 30$ см.

11. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од}$ = 1,30 см при $h_{пр(доп)}$ < 100см методом интерполяции определяем $C_р$ = 0,62.

12. Вычисляем отношение

$$l_{доп}/(C_{пуч} \cdot C_р) = 4/(1,35 \cdot 0,62) = 4,8 \text{ см}.$$

13. По номограмме рис. 4.6 определяем $R_{пр}$ = 0,78 ($м^2$ К/Вт.

По формуле (4.8) $R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta$ = 0,70 ($м^2$ К)/Вт.

14. По формуле (4.6) $h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot {}_{мрз}$ = (0,70 − 0,59)·2,18=0,25.

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

Пример 2.

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- ✧ автомобильная дорога II категории располагается во II дорожно-климатической зоне в Московской обл.;
- ✧ заданный срок службы дорожной одежды $T_{сл}$=12 лет;
- ✧ заданная надежность $K_н$= 0,95;
- ✧ нагрузка типа A_1 (см. табл. 1 прил. 1);
- ✧ интенсивность движения на конец срока службы $N_р$=1500 авт/сут; приращение интенсивности q=1,04;
- ✧ грунт рабочего слоя земляного полотна — супесь пылеватая, относится к сильнопучинистым грунтам;
- ✧ материалы основания — щебеночно-гравийная песчаная смесь C_3 и песок средней крупности;
- ✧ схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна − 3;
- ✧ мероприятия по уменьшению увлажнения рабочего слоя — дренаж с продольными трубчатыми дренами.

Расчет конструкции на прочность

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

$$\Sigma N_p = 0{,}7\ N_p\ \frac{K_c}{q^{(T_{cs}-1)}}\ T_{рдг}\ k_п\ ,$$

где K_c=15,2 (табл. 3 прил. 6).

$T_{рдг}$=125 сут (табл. 1 прил.6);

$k_п$=1,49 (см. табл. 3.3).

Отсюда

$$\Sigma N_p = 0{,}7 \cdot 1500 \cdot \frac{15{,}2}{1{,}04^{11}} \cdot 125 \cdot 1{,}49 = 1\ 931\ 000 \text{ авт.}$$

2. Определяем расчетную влажность грунта рабочего слоя по формуле (1) прил. 2:

$$W_p = (\overline{W}_{табл} + \Delta_1\overline{W} - \Delta_2\overline{W})(1 + 0{,}1t) - \Delta_3\,,$$

где $\overline{W}_{табл} = 0{,}72$ (табл. 1 прил.2);

$\Delta_1\overline{W} = 0{,}00$ (табл. 2 прил.2);

$\Delta_2\overline{W} = 0{,}05$ (табл. 3 прил.2);

$\Delta_3 = 0{,}00$, так как $\overline{W}_{табл} < 0{,}75W_m$ (рис. 1 прил. 2);

$t = 1{,}71$ (табл. 2 прил.4).

Отсюда

$$W_p = (0{,}72 - 0{,}05)(1 + 0{,}1 \cdot 1{,}71) = 0{,}785\,W_m.$$

3. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения параметров:

- ✧ для расчета по допускаемому упругому прогибу (табл. 5 прил. 2, табл. 2 и 8 прил.3);
- ✧ для расчета по условию сдвигоустойчивости (табл. 4 и 6 прил. 2, табл. 2 прил. 2 и табл. 8 прил.3);
- ✧ для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (табл. 1 прил. 3).

Материал	h слоя, см	E, МПа, при расчете по		Расчет на растяжение при изгибе			
		допустимому упругому прогибу	условию сдвигоустойчивости	E, МПа	$R_{и}$, МПа	α	m
Асфальтобетон плотный на битуме марки БНД 90/130	4	2400	1200	3600	9,50	5,4	5,0
То же, пористый	8	1400	800	2200	7,80	6,3	4,0
То же, высокопористый	15	1400	800	1700	5,50	6,5	3,8
ЩГПС C_3	30	280	280	280	—	—	—
Песок средней крупности	30	120	120	120	–	–	–
Супесь пылеватая W_p=0,785$W_т$	—	34	34	34	—	—	–

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

1) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{ср}}{E^{пес}}=\frac{34}{120}$=0,28;

по табл. 1 прил. 1 p=0,6 МПа, D=37 см:

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

$$\frac{E_{общ}}{E_в}=\frac{E^{пес}_{общ}}{E^{пес}}=0,55; \qquad E^{пес}_{общ}=0,55\cdot 120=66 \text{ МПа}.$$

2) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E_{общ}^{пес}}{E^{щеб}}=\frac{66}{280}=0{,}24;$ $\frac{h_в}{D}=\frac{h^{щеб}}{D}=\frac{30}{37}=0{,}81;$

$\frac{E_{общ}}{E_в}=\frac{E_{общ}^{щеб}}{E^{щеб}}=0{,}50;$ $E_{общ}^{щеб}=0{,}50\cdot280=140$ МПа.

3) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E_{общ}^{щеб}}{E^{а/б_3}}=\frac{140}{1400}=0{,}10;$ $\frac{h^{а/б_3}}{D}=\frac{15}{37}=0{,}41;$

$\frac{E_{общ}^{а/б_3}}{E^{а/б_3}}=0{,}20;$ $E_{общ}^{а/б_3}=0{,}20\cdot1400=280$ МПа.

4) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E_{общ}^{а/б_3}}{E^{а/б_2}}=\frac{280}{1400}=0{,}20;$ $\frac{h^{а/б_2}}{D}=\frac{8}{37}=0{,}22;$

$\frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_2}}=0{,}25;$ $E_{общ}^{а/б_2}=0{,}25\cdot1400=350$ МПа.

5) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E_{общ}^{а/б_2}}{E^{а/б_1}}=\frac{350}{2400}=0{,}15;$ $\frac{h^{а/б_1}}{D}=\frac{4}{37}=0{,}11;$

$\frac{E_{общ}}{E^{а/б_1}}=0{,}16;$ $E_{общ}=0{,}16\cdot2400=384$ МПа.

Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.10):
$E_{тр}=98{,}65\ [\lg(\Sigma N_р)-3{,}55]=98{,}65\ [\lg 1\,931\,000-3{,}55]=270$ МПа.

Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}}{E_{ТР}}=\frac{384}{270}=1{,}42.$$

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

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

5. 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 принимаем грунт (супесь пылеватую) со следующими характеристиками (при $W_р = 0{,}785 W_т$ и $\Sigma N_р = 1\,931\,000$ авт.):

$E_н = 34$ МПа (табл. 5 прил. 2); $\varphi_N = 12°$ и $c_N = 0{,}004$ МПа (табл. 4 прил. 2).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), в которой значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. 2 прил. 3 при расчетной температуре 20°С (см. табл. 3.5):

$$E_в = \frac{1200 \cdot 4 + 800 \cdot (8 + 15) + 280 \cdot 30 + 120 \cdot 30}{87} = 404{,}6 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_B}{E_H} = \frac{404{,}6}{34} = 11{,}9$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{87}{37} = 2{,}35$ и при $\varphi_N = 12°$ с помощью номограммы (см. рис. 3.3) находим удельное активное напряжение сдвига:

$$\bar{\tau}_н = 0{,}0112 \text{ МПа}.$$

По формуле (3.13) $T = 0{,}0112 \cdot 0{,}6 = 0{,}00672$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14),

где $c_N = 0{,}003$ МПа,

$K_д = 1{,}0$:

$Z_{оп} = 4+8+15+30+30 = 87$ см;

$\varphi_{ст}$=34,3° (табл. 4 прил.2);
$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^3;
0,1 — коэффициент для перевода в МПа;

$$T_{пр}=0,003+0,1\cdot0,002\cdot87\cdot tg34,3°=0,0149 МПа;$$

$$K_{пр}=\frac{0,0149}{0,00672}=2,21,$$ что больше $K_{пс}^{тр}$=1,0 (см. табл. 3.1).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в грунте.

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 присваивают следующие характеристики: $E_{общ}^{пес}$=66 МПа (п. 3.32); φ_N=27° и c_N=0,002 МПа (табл. 6 прил. 2).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), в которой значения модуля упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. 2 прил. 3 при расчетной температуре 20°С (см. табл. 3.5).

$$E_в=\frac{1200\cdot4+800\cdot8+800\cdot15+280\cdot30}{57}=554,4 МПа.$$

По отношениям $\frac{E_B}{E_H}=\frac{554,4}{66}=8,4$ и $\frac{h_B}{D}=\frac{57}{37}=1,54$ и при φ_N=27° с помощью номограммы (см. рис. 3.2) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,0167 МПа.

По формуле (3.13) T=0,0167·0,6 = 0,010 МПа.

в) Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в песчаном слое определяем по формуле (3.14):
где c_N=0,002 МПа, $K_д$=2,0:

$Z_{оп}$=4+8+15+30=57 см.;

$\varphi_{ст}$=32° (табл. 6 прил. 2)

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^3;

0,1 — коэффициент для перевода в МПа;

$$T_{пр}= 2 \cdot (0,002+0,1 \cdot 0,002 \cdot 57 \cdot tg32°)=0,018;$$

$$K_{пс}=\frac{0,018}{0,010}=1,80.$$

По табл.3.1 $K_{пс}^{тр}$=1,0.

Следовательно, условие по сдвигоустойчивости в песчаном слое основания выполнено.

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

Расчет выполняем в следующем порядке:

а) Приводим конструкцию к двухслойной модели, в которой нижний слой — часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т.е. щебеночный и песчаный слои основания и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем по номограмме рис.3.1. как общий модуль для двухслойной системы:

$$E_н = E_{общ}^{щеб} = 140 \text{ МПа}.$$

К верхнему слою относим все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя устанавливаем по формуле (3.12)

$$E_в=\frac{3600 \cdot 4 + 2200 \cdot 8 + 1700 \cdot 15}{27}=2130 \text{ МПа}$$

б) По отношениям $\frac{h_B}{D}=\frac{27}{37}=0,73$ и $\frac{E_B}{E_H}=\frac{2130}{140}=15,2$ по номограмме рис. 3.4 определяем $\bar{\sigma}_r=0,90$.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (3.16):

$$\sigma_r=0,90\cdot0,6\cdot0,85=0,46 \text{ МПа}$$

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

при $R_0=5,5$ МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (табл. 1 прил. 3);

$$\nu_R=0,10 \text{ (табл. 1 прил.4);}$$

$$t=1,71 \text{ (табл. 2 прил.4);}$$

по формуле (3.18)

$$k_1=\frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}$$

$\sum N_p$ = 1 931 000 авт.; m=3,8; α=6,5 (табл. 1 прил. 3);

$$k_1=\frac{6,5}{\sqrt[3,8]{1931000}}=0,144;$$

$$k_2=0,80 \text{ (табл. 3.6);}$$

$$R_N=5,5\cdot0,144\cdot0,80(1-0,1\cdot1,71)=0,525.$$

г) $K_{пр}=\frac{R_N}{\sigma_r}=\frac{0,525}{0,46}=1,14$, что больше, чем $K_{пр}^{тр}=1,0$ (см. табл. 3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

Проверка на морозоустойчивость.

Дополнительные условия:

Расчет выполняют для насыпи высотой 1,5 м при глубине залегания грунтовых вод 0,5 м от дневной поверхности (соответственно на глубине 1,1 м от низа дорожной одежды).

Расчет.

1. По карте рис. 4.4. находим среднюю глубину промерзания $z_{пр(ср)}$ = 1,40 м для условий г. Москвы и по формуле (4.3) определяем глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$.

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

2. Для глубины промерзания 2 м по номограмме рис. 4.3 по кривой VI для сильнопучинистых грунтов (супесь пылеватая) определяем величину морозного пучения для осредненных условий при толщине дорожной одежды 0,9 м:

$$l_{пуч(ср)} = 5{,}8 \text{ см}.$$

По рис. 4.1 при расчетном расстоянии от уровня грунтовых вод до низа дорожной одежды $H_\gamma = 1{,}5 - 0{,}9 + 0{,}5 = 1{,}1$ м находим $K_{УГВ} = 0{,}75$. По табл. 4.4 для $K_{упл} = 0{,}98$ (капитальная дорожная одежда) определяем $K_{пл} = 1{,}0$. По табл. 4.5 для супеси устанавливаем $K_{гр}$=1,1. По рис. 4.2 при глубине промерзания Z = 2 м находим для супеси пылеватой $K_{нагр} = 0{,}92$. По табл. 4.6 при расчетной влажности $W_р \approx 0{,}8\ W_т$ определяем $K_{вл} = 1{,}2$.

По формуле 4.2 рассчитываем величину пучения для данной конструкции:

$$l_{пуч} = l_{пуч(ср)}\, K_{УГВ} K_{пл}\, K_{гр}\, K_{нагр}\, K_{вл} = 5{,}8\ 0{,}75\ 1{,}0\ 1{,}1 0{,}92\ 1{,}2 = 5{,}3 \text{ см}.$$

Поскольку для дорожной одежды данного типа допустимая величина морозного пучения согласно табл. 4.3 составляет 4 см, а полученная величина составляет более 80% от допустимой, следует в соответствии с п.4.7 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 устанавливаем величину морозного пучения для осредненных условий, при которой пучение для данной конструкции не превышает 4 см:

$$l_{пуч.ср} = l_{доп}/(K_{угв}K_{пл}\ K_{гр}\ K_{нагр}\ K_{вл}) = 4/(0{,}75\ 1{,}0\ 1{,}1\ 0{,}92\ 1{,}2) = 4{,}4 \text{ см};$$

По номограмме рис. 4.3 определяем для $l_{пуч.ср} = 4{,}4$ см требуемую толщину дорожной одежды $h_{од} \approx 1{,}1$ м. Для обеспечения морозоустойчивости требуется предусмотреть морозозащитный слой:

$$h_{мрз} = 1{,}1 - 0{,}9 = 0{,}2\text{м}.$$

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

Материал	Толщина слоя $h_{од\ (i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(м К) (табл. 1 прил. 5)*
Асфальтобетон плотный	0,04	1,40
То же, пористый	0,08	1,25
То же, высокопористый	0,15	1,05
ЩГПС	0,30	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 $\lambda_м$.*

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

$$+0{,}30/2{,}02 + 0{,}30{:}2{,}18 = 0{,}51\ (\text{м}^2\ \text{К})/\text{Вт}.$$

5. По карте рис.4.5 определяем номер изолинии – V.

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

6. По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 1{,}10$ м для сильнопучинистого грунта, задаваясь допустимой

глубиной промерзания грунта под дорожной одеждой $h_{пр(доп)} <$ 100 см методом интерполяции определяем $C_р = 0,64$.

7. Вычисляем отношение

$$l_{доп}/(C_{пуч}\ C_р) = 4/(1,35 \cdot 0,64) = 4,6 \text{ см}.$$

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 $K_{од} = 0,92$; $K_{увл} = 1,0$ (п. 4.11); $\delta = 0,95$.
По формуле (4.8)

$$R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta = 0,68, \ (м^2\ К)/Вт.$$

10. По формуле (4.6)

$$h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot {}_{мрз} = (0,68 - 0,52) \cdot 2,18 = 0,35 \text{ м}.$$

Поскольку разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ превышает 5 см, выполняем расчет при $h_{мз} = 35$ см.

11. По табл. 4.10 находим при общей толщине дорожной одежды 1,25 методом интерполяции определяем $C_р = 0,625$.

12. Вычисляем отношение

$$l_{доп}\ /(\ C_{пуч} \cdot C_р) = 4/(1,35 \cdot 0,625) = 4,7 \text{ см}.$$

13. По номограмме рис. 4.6 определяем

$$R_{пр} = 0,77 \ (м^2\ К/Вт);$$

По формуле (4.8)

$$R_{од(тр)} = R_{пр} \cdot K_{од} \cdot K_{увл} \cdot \delta = 0,68 \ (м^2\ К)/Вт.$$

14. По формуле (4.6)

$$h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мрз} = (0,67 - 0,52) \cdot 2,18 = 0,33 \text{ м}.$$

Поскольку разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ не превышает 5 см, принимаем $h_{мз} = 35$ см.

Пример 3

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- ✧ автомобильная дорога III категории располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской обл.;
- ✧ заданный срок службы дорожной одежды $T_{сл}$=10 лет;
- ✧ заданная надежность $K_н$= 0,90;
- ✧ нагрузка типа A_1 (прил. 1 табл. 1);
- ✧ интенсивность движения на конец срока службы $N_р$=700 авт/сут; приращение интенсивности q=1,02;
- ✧ грунт рабочего слоя земляного полотна — супесь пылеватая, относится к сильнопучинистым грунтам;
- ✧ материалы основания — щебеночно-гравийная песчаная смесь $С_3$ и песок средней крупности;
- ✧ схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 3;
- ✧ мероприятия по уменьшению увлажнения рабочего слоя — отсутствуют.

Расчет конструкции на прочность

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

$$\Sigma N_р = 0{,}7\ N_р\ \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}}\ T_{рдг}\ k_п,$$

где K_c=10,9 (прил. 6 табл. 3).

$T_{рдг}$=125 дней (табл.1 прил. 6);

$k_п$=1,32 (см. табл. 3.3)

$$\Sigma N_р = 0{,}7 \cdot 700 \cdot \frac{10{,}9}{1{,}02^9} \cdot 125 \cdot 1{,}32 = 738\ 000 \text{ авт.}$$

2. Определяем расчетную влажность грунта рабочего слоя по формуле (1) прил. 2:

$$W_p = (W_{табл} + \Delta_1 W - \Delta_2 W)(1 + 0{,}1t) - \Delta_3,$$

где $\overline{W}_{табл} = 0{,}72$ (прил. 2 табл. 1);

$\Delta_1 \overline{W} = 0{,}00$ (прил. 2 табл. 2);

$\Delta_2 \overline{W} = 0{,}00$ (прил. 2 табл. 3);

$\Delta_3 = 0{,}00$, так как $\overline{W}_{табл} < 0{,}75 W_m$ (прил. 2 рис. 1);

$t = 1{,}32$ (прил. 4 табл. 2);

$$W_p = 0{,}72\ (1 + 0{,}1 \cdot 1{,}32) = 0{,}815\ W_m.$$

3. Предварительно назначаем конструкцию и расчетные значения расчетных параметров:
для расчета по допускаемому упругому прогибу (прил. 2 табл. 5, прил. 3 табл. 2 и 8);
для расчета по условию сдвигоустойчивости (прил. 2 табл. 4 и 6, прил. 3 табл. 2 и 8);
для расчета на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе (прил. 3 табл. 1)

Материал	h слоя, см	E, МПа, при расчете по		Расчет на растяжение при изгибе			
		допустимому упр.прогибу	по сдвигоустойчивости	E, МПа	R_o, МПа	α	m
Асфальтобетон плотный на битуме марки БНД 60/90	5	3200	1800	450	9,8	5,2	5,5
То же, пористый	10	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
ЩГПС C_3	26	280	280	280	—	—	—
Песок средней крупности	30	120	120	120	—	—	—
Супесь пылеватая $W_p = 0{,}815 W_T$	—	30,5	30,5	30,5	—	—	—

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

1) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{L^{p}}{E^{пес}} = \frac{30,5}{120} = 0,25;$

по табл. 1 прил. 1 р=0,6 МПа, D=37 см;

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

$\frac{E_{общ}}{E_в} = \frac{E^{пес}_{общ}}{E^{пес}} = 0,52$ $\qquad E^{пес}_{общ} = 0,52 \cdot 120 = 62,4$ МПа.

2) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{пес}_{общ}}{E^{щеб}} = \frac{62,4}{280} = 0,22;$ $\qquad \frac{h_в}{D} = \frac{h^{щеб}}{D} = \frac{26}{37} = 0,70;$

$\frac{E_{общ}}{E_в} = \frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{щеб}} = 0,45;$ $\qquad E^{щеб}_{общ} = 0,45 \cdot 280 = 126$ МПа.

3) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{а/б_3}} = \frac{126}{2000} = 0,063;$ $\qquad \frac{h^{а/б_3}}{D} = \frac{10}{37} = 0,27;$

$\frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_3}} = 0,11;$ $\qquad E^{а/б_3}_{общ} = 0,11 \cdot 2000 = 220$ МПа.

4) $\frac{E_н}{E_в} = \frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_2}} = \frac{220}{3200} = 0,07;$ $\qquad \frac{h^{а/б_2}}{D} = \frac{5}{37} = 0,135;$

$\frac{E^{а/б_2}_{общ}}{E^{а/б_2}} = 0,008;$ $\qquad E_{общ} = 0,25 \cdot 1400 = 256$ МПа.

Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.10):

$E_{тр} = 98,65\ [\lg(\Sigma N_р) - 3,55] = 98,65\ [\lg 738\ 000 - 3,55] = 229$ МПа.

Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}}{E_{ТР}} = \frac{256}{229} = 1{,}12.$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу – 1,10 (см. табл.3.1).

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

5. 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.

Нижний слой – грунт (супесь пылеватая) со следующими характеристиками (при $W_р = 0{,}815W_т$ и $\Sigma N_р = 738\ 000$ авт): $E_н = 30{,}5$ МПа (табл. 5 прил. 2); $\varphi_N = 11{,}4°$ и $c_N = 0{,}003$ МПа (табл. 4 прил. 2).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), где значения модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. 2 прил. 3 при расчетной температуре 20°С (см. табл. 3.5):

$$E_в = \frac{1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 10 + 280 \cdot 26 + 120 \cdot 30}{71} = 449 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_B}{E_H} = \frac{449}{30{,}5} = 14{,}7$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{71}{37} = 1{,}92$ и при $\varphi_N = 11{,}4°$ с помощью номограммы (см. рис.3.3) находим удельное активное напряжение сдвига:

$$\bar{\tau}_н = 0{,}0138 \text{ МПа}.$$

По формуле (3.13)

$$T=0{,}0138\cdot 0{,}6=0{,}00828 \text{ МПа}.$$

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14),
где c_N=0,003 МПа;
$K_д$=1,0;
$Z_{оп}$=5+10+26+30=71 см;
$\varphi_{ст}$=34° (табл. 4 прил. 2);
$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^3;
0,1 — *коэффициент для перевода в МПа:*

$$T_{пр}=0{,}003+0{,}1\cdot 0{,}002\cdot 71\cdot \operatorname{tg}34^\circ=0{,}0126 \text{ МПа}.$$

$$K_{пс}=\frac{0{,}0126}{0{,}00828}=1{,}52,$$ что больше $K_{пс}^{тр}$=0,94 (см. табл. 3.1).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в грунте.

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 присваивают следующие характеристики: $E_{общ}^{пес}$=62,4 МПа (п. 3.32); φ_N=27° и c_N=0,002 МПа (табл. 6 прил. 2).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12), в которой значения модуля упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, назначаем по табл. 2 прил. 3 при расчетной температуре 20°С (см. табл.3.5):

$$E_в=\frac{1800\cdot 5+1200\cdot 10+280\cdot 26}{41}=690 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_B}{E_H}=\frac{690}{62,4}=11,05$ и $\frac{h_B}{D}=\frac{41}{37}=1,11$ и при $\varphi_N=27°$ с помощью номограммы (см. рис. 3.2) находим удельное активное напряжение сдвига:

$$\bar{\tau}_н = 0,024 \text{ МПа}.$$

По формуле (3.13)

$$T=0,024 \cdot 0,6 = 0,0144 \text{ МПа}.$$

в) Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в песчаном слое определяем по формуле (3.14),
где $c_N=0,002$ МПа;
$K_д=2,0$;
$Z_{оп}=5+10+26=41$ см.
$\varphi_{ст}=32°$ (табл. 6 прил. 2);
$\gamma_{ср}=0,002$ кг/см^3;
0,1 — коэффициент для перевода в МПа:

$$T_{пр}= 2 \cdot (0,002+0,1 \cdot 0,002 \cdot 41 \cdot tg32°)=0,0142 \text{МПа}.$$

$$K_{пс}=\frac{0,0142}{0,0144}=0,99.$$

По табл. 3.1 $K_{пс}^{тр}=0,94$.

Следовательно, условие по сдвигоустойчивости в песчаном слое основания выполнено.

7. 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 — часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев, т. е. щебеночный и песчаный слои основания и грунт рабочего слоя. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем по номограмме рис. 3.1. как общий модуль для двухслойной системы:

$$E_н = E_{общ}^{щеб} = 126 \text{ МПа}.$$

К верхнему слою относим все асфальтобетонные слои.

Модуль упругости верхнего слоя устанавливаем по формуле (3.12)

$$E_в = \frac{4500 \cdot 5 + 2800 \cdot 10}{15} = 3367 \text{ МПа}.$$

б) По отношениям $\frac{h_B}{D} = \frac{15}{37} = 0{,}41$ и $\frac{E_B}{E_H} = \frac{3367}{126} = 26{,}7$ по номограмме рис. 3.4 определяем $\bar{\sigma}_r = 2{,}32$ МПа.

Расчетное растягивающее напряжение вычисляем по формуле (3.16):

$$\sigma_r = 2{,}32 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}85 = 1{,}18 \text{ МПа}.$$

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

при $R_o = 8{,}0$ МПа для нижнего слоя асфальтобетонного пакета (табл. 1 прил. 3)

$$\nu_R = 0{,}10 \text{ (табл. 1 прил. 4)};$$

$$t = 1{,}32 \text{ (табл. 2 прил. 4)};$$

по формуле (3.18)

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}$$

$\Sigma N_p = 738\,000$ авт.; $m = 4{,}3$; $\alpha = 5{,}9$ (табл. 1 прил. 3);

$$k_1 = \frac{5{,}9}{\sqrt[4{,}3]{738000}} = 0{,}255;$$

$$k_2 = 0{,}80 \text{ (см. табл. 3.6)};$$

$$R_N=8,0\cdot0,255\cdot0,80(1-0,1\cdot1,32)=1,42.$$

г) $K_{nc}=\frac{R_N}{\sigma_r}=\frac{1,42}{1,18}=1,20,$

что больше, чем $K_{nc}^{mp}=0,94$ (см. табл. 3.1).

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

Проверка на морозоустойчивость.

Дополнительные условия:

Расчет выполняют для насыпи высотой 1,5 м при глубине залегания грунтовых вод 0,5 м от дневной поверхности (соответственно на глубине 1,3 м от низа дорожной одежды).

Расчет.

1. По карте рис. 4.4. находим среднюю глубину промерзания $z_{пр(ср)}$ = 1,40 м для условий г. Москвы и по формуле (4.3) определяем глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$:

$$z_{пр}=z_{пр(ср)}\cdot1,38=1,4\cdot1,38=1,93\text{ м}\approx2\text{м}.$$

2. Для глубины промерзания 2 м по номограмме рис. 4.3 по кривой VI для сильнопучинистых грунтов (супесь пылеватая) определяем величину морозного пучения для осредненных условий при толщине дорожной одежды 0,7 м

$$l_{пуч(ср)}=7\text{ см}.$$

По рис.4.1 при расчетном расстоянии от уровня грунтовых вод до низа дорожной одежды $H_т$ = 1,5–0,7+0,5 = 1,3 м находим $K_{УГВ}$ = 0,7. По табл. 4.4 для $K_{упл}$ = 0,97 (дорожная одежда облегченного типа) определяем $K_{пл}$ = 1,2. По табл. 4.5 для супеси находим $K_{гр}$=1,1. По рис. 4.2 при глубине промерзания Z = 2 м находим для супеси пылеватой $K_{нагр}$ = 0,92. По табл. 4.6 при расчетной влажности $W_р\approx 0,8\ W_т$ определяем $K_{вл}$ = 1,2.

По формуле 4.2 рассчитываем величину пучения для данной конструкции:

$$l_{пуч}=l_{пуч(ср)}\ K_{УГВ}\ K_{пл}\ K_{гр}\ K_{нагр}\ K_{вл}=7\ 0,7\ 1,2\ 1,1\ 0,92\ 1,2=7,1\text{см}.$$

Поскольку для дорожной одежды облегченного типа допустимая величина морозного пучения согласно табл. 4.3 составляет 6 см, а полученная величина составляет более 80% от допустимой, следует в соответствии с п.4.7 назначить морозозащитный слой и выполнить расчет его толщины.

3. Предварительно определяем ориентировочную толщину морозозащитного слоя при допустимой величине морозного пучения $l_{доп} = 6$ см.

Для этого устанавливаем величину морозного пучения для осредненных условий, при которой пучение для данной конструкции не превышает 6 см:

$$l_{пуч.ср} = l_{доп}/(K_{УГВ}\ K_{пл}\ K_{гр}\ K_{нагр}\ K_{вл}) = 6/(0{,}7\ 1{,}2\ 1{,}1\ 0{,}92\ 1{,}2) = 5{,}9 \text{ см}.$$

По номограмме рис. 4.3 определяем требуемую толщину дорожной одежды $h_{од} \approx 0{,}85$ м. Для обеспечения морозоустойчивости требуется предусмотреть морозозащитный слой толщиной $h_{мрз} = 0{,}85 - 0{,}7 = 0{,}15$м.

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

Материал	Толщина слоя, $h_{од\ (i)}$, м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{од(i)}$, Вт/(мК) (табл. 1 прил. 5)
Асфальтобетон плотный	0,05	1,40
То же, пористый	0,10	1,25
ЩГПС	0,26	2,02
Песок средней крупности	0,30	$\lambda_{ср} = (\lambda_{м} + \lambda_{т})/2 = (2{,}44 + 1{,}91)/2 = 2{,}18$*

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

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{n} h_{о\ (i)}/\lambda_{од(i)} = 0{,}05/1{,}40 + 0{,}10/1{,}25 + 0{,}26/2{,}02 + 0{,}30/2{,}18 =$$

$$= 0{,}38\ (м^2\ К)/Вт;$$

5. По карте рис. 4.5 определяем номер изолинии – V;

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

По табл. 4.10 при общей толщине дорожной одежды $h_{од} = 0,85$ м для сильнопучинистого грунта, задаваясь допустимой глубиной промерзания грунта под дорожной одеждой $h_{пр(доп)} > 100$ см, методом интерполяции определяем $C_р = 0,615$.

7. Вычисляем отношение

$$l_{доп}/(C_{пуч} \cdot C_р) = 6/(1,35 \cdot 0,615) = 7,2 \text{ см}.$$

8. По номограмме рис. 4.6 (нижняя часть) определяем методом интерполяции приведенное термическое сопротивление

$$R_{пр} = 0,50 \text{ (м}^2 \text{ К)/Вт}.$$

9. По табл. 4.7 при сроке службы 10 лет определяем $K_{од} = 0,9$; при 3-й схеме увлажнения принимаем $K_{увл} = 1,0$ (п. 4.11); для II_2 дорожно-климатической подзоны $\delta = 0,95$ (п. 4.11).

По формуле (4.8)

$$R_{од(тр)} = R_{пр} K_{од} \cdot K_{увл} \delta = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = 0,43 \text{ (м}^2 \text{ К)/Вт}.$$

10. По формуле (4.6)

$h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)}) \cdot \lambda_{мрз} = (0,43 - 0,38) \cdot 2,18 = 0,11$ м.

Поскольку разница между полученным и заданным значениями $h_{мз}$ не превышает 5 см, принимаем $h_{мз} = 0,15$ м.

Пример 4

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- автомобильная дорога IV категории располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской обл.;
- заданный срок службы дорожной одежды $T_{сл}$=5 лет;
- заданная надежность $K_н$= 0,80;
- нагрузка типа A_1 (прил. 1 табл. 1);
- интенсивность движения на конец срока службы $N_р$=150 авт/сут; приращение интенсивности q=1,00;

- ✧ грунт рабочего слоя земляного полотна — суглинок легкий;
- ✧ материалы основания — щебень фракционированный с заклинкой мелким щебнем и песок средней крупности;
- ✧ схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 3;
- ✧ мероприятия по уменьшению увлажнения рабочего слоя — отсутствуют.

Расчет конструкции на прочность

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

$$\Sigma N_p = 0{,}7\ N_p\ \frac{K_c}{q^{(T_{cc}-1)}}\ T_{рдг}\ k_n,$$

где K_c= 5,0 (прил. 6 табл. 3);

$T_{рдг}$=125 дней (табл. 1 прил. 6);

k_n=1,16 (табл. 3.3).

$$\Sigma N_p = 0{,}7 \cdot 150 \cdot \frac{5{,}0}{1{,}00^4} \cdot 125 \cdot 1{,}16 = 76\ 125 \text{ авт.}$$

2. Определяем расчетную влажность грунта рабочего слоя по формуле 1 прил.2):

$$W_p = (\overline{W}_{табл} + \Delta_1\overline{W} - \Delta_2\overline{W})(1 + 0{,}1t) - \Delta_3,$$

где $\overline{W}_{табл} = 0{,}67$ (прил. 2 табл. 1);

$\Delta_1\overline{W} = 0{,}00$ (прил. 2 табл. 2);

$\Delta_2\overline{W} = 0{,}00$ (прил. 2 табл. 3);

$\Delta_3 = 0{,}00$, т.к. $\overline{W}_{табл} < 0{,}75W_m$ (прил. 2 рис. 1);

$t = 0{,}84$ (прил. 4 табл. 2);

$$W_p = 0{,}67\ (1 + 0{,}1 \cdot 0{,}84) = 0{,}73\ W_m.$$

3. Предварительно назначаем конструкцию и значения расчетных параметров:
для расчета по допускаемому упругому прогибу (прил. 2 табл. 5, прил 3 табл. 4 и 9);
для расчета по условию сдвигоустойчивости (прил. 2 табл. 4 и 6, прил. 3 табл. 4 и 9);

Материал слоя	h слоя, см	E, МПа, при расчете	
		по допустимому упругому прогибу	по сдвигоустойчивости
ЩГПС оптимального состава, обработанная органическим вяжущим	10	450	450
Щебень фракционированный с заклинкой мелким щебнем	34	450	450
Песок средней крупности	40	120	120
Суглинок легкий W_p=0,73$W_т$	—	37,4	37,4

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

1) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{гр}}{E^{пес}}=\frac{37,4}{120}=0,31;$

по прил. 1 табл. 1 p=0,6 МПа, D=37 см;

$\frac{h_в}{D}=\frac{h^{пес}}{D}=\frac{40}{37}=1,08;$

$\frac{E_{общ}}{E_в}=\frac{E^{пес}_{общ}}{E^{пес}}=0,64;$ $E^{пес}_{общ}=0,64\cdot120=76,8$ МПа.

2) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{пес}_{общ}}{E^{щеб}}=\frac{7608}{450}=0,17$ $\frac{h_в}{D}=\frac{h^{щеб}}{D}=\frac{34}{37}=0,92;$

$$\frac{E_{общ}}{E_в}=\frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{щеб}}=0{,}45 \qquad E^{щеб}_{общ}=0{,}45\cdot450=202{,}5 \text{ МПа}.$$

3) $\frac{E_н}{E}=\frac{E^{щеб}_{общ}}{E^{а/б_3}}=\frac{202{,}5}{450}=0{,}45;$ $\frac{h^{а/б_3}}{D}=\frac{10}{37}=0{,}27;$

$\frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_3}}=0{,}53;$ $E^{а/б_3}_{общ}=0{,}53\cdot450=238{,}5$ МПа.

4) $\frac{E_н}{E_в}=\frac{E^{а/б_3}_{общ}}{E^{а/б_2}}=\frac{220}{3200}=0{,}07;$ $\frac{h^{а/б_2}}{D}=\frac{5}{37}=0{,}135;$

$\frac{E^{а/б_2}_{общ}}{E^{а/б_2}}=0{,}008$ $E_{общ}=0{,}25\cdot1400=256$ МПа.

Требуемый модуль упругости определяем по формуле (3.10):

$E_{тр}=98{,}65\ [\lg(\Sigma N_р)-3{,}55]=98{,}65\ [\lg 76\,125-3{,}55]=134{,}3$ МПа.

Рассчитываем коэффициент прочности по упругому прогибу:

$$\frac{E_{общ}}{E_{тр}}=\frac{238{,}5}{134{,}3}=1{,}82.$$

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу – 1,02 (табл.3.1).

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

5. 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 $W_p=0{,}73W_т$ и ΣN_p= 76 125 авт): $E_н$= 37,4 МПа (табл. 5 прил. 2); φ_N=6,0° и c_N=0,006 МПа (табл. 4 прил.2).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12):

$$E_в=\frac{450\cdot 10+450\cdot 34+120\cdot 40}{84}=292{,}9 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_B}{E_H}=\frac{292{,}9}{37{,}4}=7{,}83$ и $\frac{h_B}{D}=\frac{84}{37}=2{,}27$ и при φ_N=6,0° с помощью номограммы (см. рис. 3.3) находим удельное активное напряжение сдвига:

$$\bar{\tau}_н = 0{,}0174 \text{ МПа}.$$

По формуле (3.13)

$$T=0{,}0174\cdot 0{,}6 =0{,}010 \text{ МПа}.$$

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (3.14),
где c_N=0,006 МПа;
$K_д$=1,0;
$Z_{оп}$=10+34+40=84 см.
$\varphi_{ст}$=16,5° (табл. 4 прил. 2);
$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^3;
0,1 — коэффициент для перевода в МПа

$$T_{пр}=0{,}006+0{,}1\cdot 0{,}002\cdot 84\cdot \operatorname{tg}16{,}5°=0{,}011 \text{МПа}.$$

$K_{пс}=\frac{0{,}011}{0{,}010}=1{,}05$, что больше $K_{пс}^{тр}$=0,87 (см. табл.3.1).

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в грунте.

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 присваивают следующие характеристики: $E_{общ}^{пес}$=76,8 МПа (п. 3.32); φ_N=28,2° и c_N=0,003 МПа (табл. 6 прил. 2).

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (3.12):

$$E_в = \frac{450 \cdot 10 + 450 \cdot 34}{44} = 450 \text{ МПа}.$$

По отношениям $\frac{E_B}{E_H} = \frac{450}{76,8} = 5,9$ и $\frac{h_B}{D} = \frac{44}{37} = 1,19$ и при φ_N=28,2° с помощью номограммы (см. рис. 3.2) находим удельное активное напряжение сдвига: $\bar{\tau}_н$ = 0,028 МПа.

По формуле (3.13)

$$T = 0,028 \cdot 0,6 = 0,0168 \text{ МПа}.$$

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в песчаном слое определяем по формуле (3.14),

где c_N=0,003 МПа;

$K_д$=2,0;

$Z_{оп}$=10+34=44 см.

$\varphi_{ст}$=32° (табл.П.2.6)

$\gamma_{ср}$=0,002 кг/см^3

0,1 — коэффициент для перевода в МПа.

$$T_{пр} = 2 \cdot (0,003 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 44 \cdot tg32°) = 0,0170 \text{МПа}.$$

$$K_{пс}=\frac{0,0170}{0,0168}=1,01.$$

По табл. 3.1 $K_{пс}^{пр}=0,87$, *следовательно, условие по сдвигоустойчивости в песчаном слое основания выполнено.*

Таким образом, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

Проверка на морозоустойчивость

Дополнительные условия:

Насыпь высотой 1,3 м при глубине залегания грунтовых вод 0,5 м от дневной поверхности (соответственно на глубине 1,0 м от низа дорожной одежды).

Расчет.

1. По карте рис. 4.4 находим среднюю глубину промерзания $z_{пр(ср)}$ = 1,40 м для условий г. Москвы и по формуле (4.3) определяем глубину промерзания дорожной конструкции $z_{пр}$:

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

2. Для глубины промерзания 2 м по номограмме рис. 4.3 (кривая III) для пучинистых грунтов (суглинок легкий) определяем величину морозного пучения для осредненных условий при толщине дорожной одежды 0,8 м:

$$l_{пуч(ср)} = 4,5 \text{ см}.$$

По рис.4.1 при расчетном расстоянии от уровня грунтовых вод до низа дорожной одежды H_{γ} = 1,3−0,8 + 0,5= 1,0 м находим $K_{УГВ}$ = 0,78. По табл. 4.4 для $K_{упл}$ = 0,95 (дорожная одежда переходного типа) определяем $K_{пл}$ = 1,2. По табл. 4.5 для суглинка легкого находим $K_{гр}$=1,3. По рис. 4.2 при глубине промерзания Z = 2 м находим для супеси пылеватой $K_{нагр}$ = 0,92. По табл. 4.6 при расчетной влажности $W_р \approx$ 0,8 $W_т$ устанавливаем $K_{вл}$ = 1,2.

По формуле 4.2 находим величину пучения для данной конструкции:

$l_{пуч} = l_{пуч(ср)} \cdot K_{УГВ} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл} = 4,5 \cdot 0,78 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 0,92 \cdot 1,2 = 5,1$ см.

Поскольку для данного типа дорожной одежды допустимая величина морозного пучения согласно табл. 4.3 составляет 10 см, конструкция морозоустойчива.

Пример 5

Оценка возможности работы морозозащитного слоя как дренирующего

Исходные данные

1. Участок дороги III 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 $K_ф$ = 2,1 м/сут, пористость n = 0, 32.

4. Схема увлажнения рабочего слоя – 3.

5. Грунт насыпи и естественного основания – супесь пылеватая.

6. Уклон дренирующего слоя i = 0,03.

Расчет.

1. Поскольку коэффициент фильтрации песка достаточно высок, дренирующий слой рассчитывают на осушение.

По табл.5.3 находят удельный приток воды во II дорожно-климатической зоне для 3-й схемы увлажнения q = 3.5 л/м^{2}сут. По табл. 5.4 $K_{пк}$ = 1.6; $K_г$ =1.2 Ввиду отсутствия переломов продольного профи я на участке, а также специальных мероприятий по уменьшению притока $K_{вог}$=1; $K_р$=1.

2. По формуле (5.2) расчетный приток воды в дренирующий слой составляет

$$q_р = q \cdot K_{пк} \cdot K_г : 1000 = 3,51,61,0:1000 = 0,0056 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{сут}).$$

3. Для расчета используют номограмму рис. 5.1.

Для двускатного профиля

$$q' = q_р\ B/2 = 0{,}0056\ 7 : 2 = 0{,}0196\ м^3/м^2;$$

$$q' / K_ф = 0{,}0196 : 2{,}1 = 0{,}0093.$$

По номограмме для отношения $q_р/K_ф$ находят величину $3{,}5h_{нас}/L = 0{,}07$,

где L – путь фильтрации, для двускатного профиля он составляет половину длины дренирующего слоя; $L = B/2 + a + \delta$;

B – ширина проезжей части;

a – ширина обочины;

δ – средняя длина участка дренирующего слоя, расположенного 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.

$h_р = (q_р\ T_{зап}/n + 0{,}3h_{зап}):(1-\varphi_{зим}) = (0{,}0056 \cdot 6 : 0{,}27 + 0{,}3 \cdot 0{,}20) : (1 - 0{,}45) = 0{,}3$ м.

Расчет окончен.

Пример 6

Определение расчетной влажности грунта насыпи без испытаний

Исходные данные.

1. Участок дороги III категории расположен в Московской обл.
2. Высота насыпи составляет 1,5 м, толщина дорожной одежды совместно с дренирующим (морозозащитным) слоем – 1,10 м.

3. Конструкция дорожной одежды следующая:

Материал	Толщина слоя h, м
Асфальтобетон плотный	0,04
То же, пористый	0,08
То же, высокопористый	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 частью с трубчатыми дренами.
5. Грунт насыпи и естественного основания – супесь пылеватая.
6. Схема увлажнения грунта рабочего слоя – 3.

Расчет

Расчетную влажность определяют по формуле (1) прил. 2:

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

По табл. 1 прил. 2 для условий II_2 дорожно-климатической подзоны, 3-й схемы увлажнения определяем $\bar{W}_{таб} = 0{,}72$.

По табл. 2 прил. 2 поправка $\Delta_1 \bar{W} = 0$.

По табл. 3 прил. 2 поправка $\Delta_2 \bar{W} = 0{,}05$ (за счет дренажа с продольными трубчатыми дренами).

По графику рис. 1 прил. 2 поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды $\Delta_3 = 0{,}003$.

По табл. 2 прил. 4 для уровня надежности 0,95 коэффициент нормированного отклонения $t = 1{,}71$.

$$W_p = (0{,}72 - 0{,}05)\,(1 + 0{,}1 \cdot 1{,}71) - 0{,}003 = 0{,}78 \approx 0{,}8 \text{ (доли от } W_т).$$

Расчет окончен.

Пример 7

Определение величины морозного пучения без специальных мероприятий и с применением термоизолирующего слоя (метод И.А. Золотаря)

Исходные данные.

1. Автомобильная дорога II категории расположена в Нижегородской обл.

2. Грунт земляного полотна – супесь тяжелая пылеватая.

3. Глубина выемки составляет 100см.

4. Расчетный уровень грунтовых вод – на глубине 120 см от поверхности земляного полотна.

5. Экспериментально установленное значение коэффициента влагопроводности $K_{ВЛ} = 5$ см^2/ч.

6. Начальная влажность $W_0 = 0{,}12$, предел текучести $W_т = 0{,}18$, плотность сухого грунта $\rho_d = 1{,}66$ г/см^3.

7. Суммарная толщина дорожной одежды с асфальтобетоннм покрытием равна 60 см.

Решение.

1. Из табл. 2 прил. 7 находим для Нижнего Новгорода $t_{вл} = 1440$ ч, $t_{пр} = 182$ сут, $\sigma = 26{,}21$.

2. Вычисляем по зависимости (6) прил. 7 значение критерия осеннего влагонакопления:

$$F_{ОН} = K_{ВЛ} \cdot t_{вл}/h^2 = 5 \cdot 1440/ 120^2 = 0{,}50.$$

3. Определяем параметр $h_{AB} = h_A / h_B$. В соответствии с формулой (7) прил. 7 $h_A = 160 - 60 = 100$ см. Тогда $h_{AB} = 100/120 = 0{,}83$.

4. По графику рис. 2 прил. 7 находим $\Delta W_{отн} = 0{,}73$.

5. Используя выражение (5) прил. 7 и приняв $\rho_s = 2{,}68$, получим $W_{ПВ} = 1/1{,}66 - 1/2{,}68 = 0{,}23$.

6. По зависимости (4) прил. 7 находим $W_{осср} = 0{,}12 + 0{,}73 \cdot (0{,}23 - 0{,}12) = 0{,}20$.

7. По зависимости (12) прил. 7 вычисляем скорость 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 выражение (9) прил. 7, вычисляем критерий зимнего влагонакопления Z:

$$Z = 3{,}59 / (2 \cdot \sqrt{5}) = 0{,}80.$$

9. По графику рис. 3 прил. 7. находим C = 1,50.

10. Для супеси тяжелой пылеватой из табл. 1 прил. 7 устанавливаем $W_h = 0{,}09$ и $W_{нз} = 0{,}06$.

11. С помощью (8) прил. 7 находим $W_{ВЕССР} = 0{,}09 + (0{,}20 - 0{,}09) \cdot 1{,}50 = 0{,}26$.

12. По зависимости (15) прил. 7 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 $h_{пр} > h_{кр}$, принимаем в соответствии с данными таблицы 1 прил. 7. $h_{пр} = 130$ см.

13. Вычисляем по формуле (14) прил. 7 вероятную величину морозного пучения $h_{пуч}$.

$$h_{пуч} = 130 \cdot (1{,}66/1{,}0) \cdot [1{,}09 \cdot (0{,}26-0{,}06) - (0{,}23-0{,}06)] = 10{,}4 \text{ см}.$$

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, $h_{AB} = 92/120 = 0{,}77$.

4. По графику рис. 2 прил. 7 определяем $\Delta W_{отн} = 0{,}72$.

6. Находим $W_{ОССР} = 0{,}12 + 0{,}72 \cdot (0{,}23-0{,}12) = 0{,}20$.

7. По зависимости (12) прил. 7 вычислим характеристику скорости промерзания:

$$\alpha = 1{,}24 + 0{,}72 \cdot \ln \sigma - 0{,}05 \cdot 8 = 3{,}19.$$

8. Используя (9) прил. 7, вычислим критерий зимнего влагонакопления Z:

$$Z = 3{,}19 / (2 \cdot \sqrt{5}) = 0{,}71.$$

9. По графику рис. 3 прил. 7 находим C = 1,57.

11. С помощью (8) прил. 7 устанавливаем $W_{ВЕССР}$ = 0,09 + (0,20 − 0,09) · 1,57 = 0,26.

12. По зависимости (16) прил. 7 находим глубину промерзания грунта $h_{пр}$.

$$h_{пр} = 151 - (13{,}93 - 0{,}0067 \cdot 26{,}21) \cdot 8 = 41 \text{ см}.$$

13. Вычисляем по формуле (14) прил. 7 вероятную величину морозного пучения $h_{пуч}$:

$$h_{пуч} = 41 \cdot (1{,}66/1{,}0) \cdot [1{,}09 \cdot (0{,}26-0{,}6)-(0{,}23-0{,}6)] = 3{,}3 \text{ см}.$$

Расчет окончен.

СПИСОК УЧАСТНИКОВ В РАЗРАБОТКЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТРАСЛЕВЫХ ДОРОЖНЫХ НОРМ

Руководители работ и ответственные исполнители: канд. техн. наук В.М. Юмашев и д-р техн. наук В.Д. Казарновский (Союздорнии).

В подготовке текста МОДН участвовали сотрудники **Союздорнии:** д-р техн. наук В.И. Рувинский и канд. техн. наук Е.С. Пшеничникова (расчет на морозоустойчивость и осушение); кандидаты технических наук И.В. Лейтланд и А.Е. Мерзликин (расчет на прочность); В.С. Исаев, Г.Н. Кирюхин, В.М Смирнов, инженеры В.А. Зельманович, М.Л. Попов (расчетные характеристики дорожно-строительных материалов и грунтов).

Кроме материалов Союздорнии, использованы материалы организаций-соисполнителей:

Санкт-Петербургского филиала Союздорнии (д-р техн. наук Ю.М. Васильев, кандидаты технических наук П.И. Теляев, А.О. Салль, А.М. Симановский, Т.Н. Полтаранова, инж. В.А. Мазуров) – расчет дорожной одежды на прочность по критериям сдвига и растяжения при изгибе и расчет на морозоустойчивость;.

Омского филиала Союздорнии (кандидаты технических наук А.С. Пилипенко, Б.В.Белоусов) – расчетные характеристики грунтов с учетом многократной нагрузки;

МАДИ (ТУ) (доктора технических наук А.П. Васильев, В.П. Носов, Ю.М. Яковлев, кандидаты технических наук М.С. Коганзон, В.К. Апестин, П.П. Петрович, М.Г. Горячев, инж. Е.В. Жустарева) – вопросы расчета по упругому прогибу;

ГП «Росдорнии» (д-р технических наук В.А. Кретов, кандидаты технических наук А.И. Дудаков, В.М. Ольховиков, А.В. Руденский, Г.С. Бахрах, инж. А.М. Стрижевский) – расчетные характеристики дорожно-строительных материалов и воздействие от транспортной нагрузки;

Военной академии тыла и транспорта (д-р техн. наук И.А. Золотарь) – расчет на морозоустойчивость.

Принимались во внимание замечания и предложения, полученные от **Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ)** (доктора технических наук А.В. Смирнов, В.Н. Шестаков, кандидаты технических наук А.А. Малышев, А.Г. Малофеев, В.В. Сиротюк, В.В. Сычев, инженеры А.С. Александров, И.А. Брагинец).

Учитывались также **опубликованные материалы исследований, выполненных в период 1985-1995 гг.** под руководством проф. В.А. Семенова (учет статистического характера показателей механических свойств) и проф. А.Я. Тулаева (расчет на осушение), проф. Б.С. Радовского (вопросы усталостного сопротивления асфальтобетонных слоев), а также канд. техн. наук Ю.В. Бутлицкого и проф. Б.Б. Каримова (особенности водно-теплового режима и расчетные параметры дорожных одежд в V дорожно-климатической зоне и в горной местности).

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Общие положения	3
2.	*Конструирование дорожной одежды* ..	7
	Задачи и принципы конструирования	7
	Конструирование покрытий и оснований дорожных одежд капитального типа	13
	Конструирование покрытий и оснований дорожных одежд облегченного и переходного типов	14
	Конструирование дополнительных слоев основания	15
	Особенности конструирования дорожных одежд со слоями из малопрочных материалов и побочных продуктов промышленности	19
	Повышение прочности и стабильности рабочего слоя земляного полотна	21
	Учет региональных особенностей ..	21
	Принципы назначения конструкций дорожных одежд при проектировании, реконструкции существующих дорог	22
3	Расчет дорожных одежд на прочность ..	23
	Основные положения	23
	Общая процедура и критерии расчета на прочность	28
	Расчет напряжений и деформаций ..	30
	Расчетные параметры подвижной нагрузки ..	30
	Расчет конструкции в целом по допускаемому упругому прогибу	33
	Расчет по условию сдвигоустойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев .	36
	Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе .	40

4. Проверка дорожной конструкции на морозоустойчивость .. 44
5. Проектирование устройств по осушению дорожных одежд 59
Основные положения 59
Расчет дренирующего слоя ... 63
Приложения:
1. Расчетные нагрузки .. 71
2. Определение расчетных характеристик грунта рабочего слоя земляного полотна при расчете дорожной одежды на прочность . 74
3. Нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик конструктивных слоев из различных дорожно-строительных материалов 83
4. Назначение статистических параметров 90
5. Теплофизические характеристики конструктивных слоев из различных дорожно-строительных материалов 91
6. Параметры для определения расчетного суммарного числа приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды . 93
7. Методика определения и использования коэффициента влагопроводности грунта при проектировании дорожной одежды .. 96
8. Примеры расчета . 107
9. Список участников разработки 150

Редактор Ж. Иноземцева
Корректор Л. Крылова

Подписано к печати 18.09.2002 Формат 60x84/16
Печать офсетная. Бумага офсетная №1. 9,7 печ. л.
Тираж 500 экз. Заказ 22-02

Участок оперативной печати Союздорнии
143900, Московская обл., г. Балашиха-6,
ш. Энтузиастов, 79

СПИСОК ОПЕЧАТОК В ФОРМУЛАХ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
24	Формула (3.1-а)	$K_{пу}=l_{доп}/l=E_{об}/E_{об}^{тр}$	$K_{пу}=l_{доп}/l=E_{общ}/E_{min}$
	3-я снизу	$E_{об}$ и $E_{об}^{тр}$	$E_{общ}$ и E_{min}
25	Формула (3.1-б)	$E_{пс.у}$ =	$E_{пс\ пр}$ =
34	Формула (3.9)	$E_{об} \geq$	$E_{общ} \geq$
	2-я сверху	$E_{об}$	$E_{общ}$
44	4-я сверху	$\frac{E_в}{E_{пр}}$	$\frac{E_в}{E_Н}$
110	12-я снизу	$E_{тр}$=	E_{min}=
	10-я снизу	$\frac{E_{общ}}{E_{тр}}$	$\frac{E_{общ}}{E_{min}}$
111	3-я снизу	$K_{пр}$=	$K_{пс}$=
112	9-я сверху	$E^{пес}_{общ}$=	$E_Н=E^{пес}_{общ}$=
114	8-я сверху	г) $K_{пс}$=..	г) $K_{пр}$=..
		чем $K^{тр}_{пс}$= 1,10	чем $K^{тр}_{пр}$= 1,10
120	5-я снизу	$E_{тр}$=	E_{min}=
	3-я снизу	$\frac{E_{общ}}{E_{тр}}$	$\frac{E_{общ}}{E_{min}}$
130	2-я снизу	$E_{тр}$=	E_{min}=
131	1-я сверху	$\frac{E_{общ}}{E_{тр}}$	$\frac{E_{общ}}{E_{min}}$
135	2-я сверху	г) $K_{пс}$=	г) $K_{пр}$
140	7-я сверху	$E_{тр}$=	E_{min}=
	9-я сверху	$\frac{E_{общ}}{E_{тр}}$	$\frac{E_{общ}}{E_{min}}$
143	1-я сверху	$K_{пс}$=	$K_{пр}$=
144	3-я снизу	$q_р$= q· $K_{пк}$· $K_г$:1000= =3,5 · 1,6 · 1 : 1000= =0,0056	$q_р$= q· $K_{пк}$· $K_г$ · $K_р$: 1000=3,5 · 1,6 · 1,2 · 1:1000=0,00672

gost.e-ecolog.ru