



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
1006—
2025

Дороги автомобильные общего пользования

ЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ

Правила проектирования

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 418 «Дорожное хозяйство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 июня 2025 г. № 16-пнст

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 мес до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: 125319 Москва Ленинградский проспект, 64, и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: 123112 Москва, Пресненская набережная, д. 10, стр. 2.

В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

II

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	3
4 Сокращения	6
5 Общие положения	6
6 Конструирование жестких дорожных одежд	8
6.1 Конструирование дорожных одежд с монолитными цементобетонными покрытиями	8
6.2 Цементобетонные покрытия с защитными слоями	13
6.3 Конструирование дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями на цементобетонном основании	13
6.4 Конструирование колеиных покрытий	14
6.5 Конструирование дорожных одежд со сборными покрытиями из плит ПАГ и 1ПДН	15
7 Расчет жестких дорожных одежд	16
7.1 Расчет монолитных цементобетонных покрытий	16
7.2 Расчет асфальтобетонных покрытий на цементобетонном основании	22
7.3 Расчет сборных покрытий из плит	23
7.4 Расчет монолитных железобетонных дорожных одежд	25
7.5 Расчет конструкции дорожной одежды по условию сдвигуустойчивости грунта рабочего слоя земляного полотна и конструктивных слоев из малосвязных материалов	28
7.6 Проверка дорожной конструкции на морозоустойчивость	31
7.7 Осушение дорожных одежд и грунта земляного полотна	31
Приложение А (справочное) Нормативные и расчетные характеристики цементобетона	41
Приложение Б (справочное) Расчетные характеристики грунта рабочего слоя земляного полотна	43
Приложение В (справочное) Расчетные характеристики конструктивных слоев жестких дорожных одежд из различных дорожно-строительных материалов	50
Приложение Г (рекомендуемое) Примеры расчета конструкции дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием	55
Приложение Д (рекомендуемое) Примеры расчета сборных покрытий из плит ПАГ и 1ПДН	65
Приложение Е (рекомендуемое) Пример расчета конструкции дорожной одежды с монолитным железобетонным покрытием	77
Приложение Ж (рекомендуемое) Пример расчета конструкции дорожной одежды на сдвигуустойчивость	84
Приложение И (рекомендуемое) Пример расчета конструкции жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием	87
Приложение К (рекомендуемое) Примеры расчета дорожной конструкции на дренирующую способность	94
Библиография	96

Введение

Настоящий стандарт разработан в развитие методики проектирования жестких дорожных одежд, действующей в Российской Федерации, и основывается на принципах, заложенных в действовавшем ранее нормативном документе ВСН 197-91.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Дороги автомобильные общего пользования

ЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ

Правила проектирования

Automobile roads of general use. Rigid pavement. Design rules

Срок действия — с 2025—08—01
до 2028—08—01**1 Область применения**

1.1 Настоящий стандарт распространяется на жесткие дорожные одежды автомобильных дорог общего пользования (далее — автомобильные дороги), а также временные дороги, подъездные пути и специально запроектированные дороги для потребностей населения и производственных нужд.

1.2 Настоящий стандарт устанавливает правила проектирования (конструирования и расчета) при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог с цементобетонным монолитным покрытием, со сборным покрытием из железобетонных плит.

1.3 Допускается применение положений настоящего стандарта при проектировании дорожных одежд для улиц и дорог населенных пунктов.

1.4 Настоящий стандарт не распространяется на проектирование дорожных одежд в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов, а также в зонах слабых и техногенных грунтов в случае их применения в качестве рабочего слоя земляного полотна.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 25912 Плиты железобетонные предварительно напряженные для аэродромных покрытий.

Технические условия

ГОСТ 26633—2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 31108 Цементы общестроительные. Технические условия

ГОСТ 31384—2017 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования

ГОСТ 32703 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования

ГОСТ 32730 Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Технические требования

ГОСТ 32824 Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный. Технические требования

ГОСТ 32826 Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Технические требования

ГОСТ 32960 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения

ГОСТ 32965 Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока

Издание официальное

1

ГОСТ 33063 Дороги автомобильные общего пользования. Классификация типов местности и грунтов

ГОСТ 33133 Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические требования

ГОСТ 33220 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию

ГОСТ 34028 Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия

ГОСТ Р 50597 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля

ГОСТ Р 52056 Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия

ГОСТ Р 52399 Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования

ГОСТ Р 55029 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для армирования асфальтобетонных слоев дорожной одежды. Технические требования

ГОСТ Р 56338 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для армирования нижних слоев основания дорожной одежды. Технические требования

ГОСТ Р 56419 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для разделения слоев дорожной одежды из минеральных материалов. Технические требования

ГОСТ Р 56586 Геомембраны гидроизоляционные полиэтиленовые рулонные. Технические условия

ГОСТ Р 56600 Плиты предварительно напряженные железобетонные дорожные. Технические условия

ГОСТ Р 58401.1 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования

ГОСТ Р 58401.2 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования

ГОСТ Р 58406.1 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия

ГОСТ Р 58406.2 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия

ГОСТ Р 58422.1 Дороги автомобильные общего пользования. Защитные слои и слои износа дорожных одежд. Технические требования

ГОСТ Р 58770 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-песчаные шлаковые. Технические условия

ГОСТ Р 58818—2020 Дороги автомобильные с низкой интенсивностью движения. Проектирование, конструирование и расчет

ГОСТ Р 58861 Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт и ремонт. Планирование межремонтных сроков

ГОСТ Р 59120 Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования

ГОСТ Р 59300—2021 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси бетонные для устройства слоев оснований и покрытий. Технические условия

ГОСТ Р 59628 Дороги автомобильные общего пользования. Жесткие дорожные одежды. Типовые конструкции

ГОСТ Р 70362 Дороги автомобильные общего пользования. Бетоны для устройства слоев оснований и покрытий. Технические условия

ГОСТ Р 70452 Дороги автомобильные общего пользования. Грунты стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими. Общие технические условия

ГОСТ Р 70455 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные, обработанные неорганическими вяжущими. Общие технические условия

ГОСТ Р 70458 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные. Общие технические условия

ГОСТ Р 71329 Дороги автомобильные общего пользования. Смеси песчано-гравийные. Общие технические условия

ГОСТ Р 71404—2024 Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования

ГОСТ Р 71405 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование дорожных одежд. Методика расчета коэффициентов приведения транспортных средств к расчетной осевой нагрузке

СП 34.13330 «СНиП 2.05.02-85* Автомобильные дороги»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

анкер: Предназначенный для предотвращения вертикального и горизонтального смещений соседних плит конструктивный элемент армирования в технологическом шве, представляющий собой стержень периодического профиля.
[ГОСТ Р 70364—2022, пункт 3.1]

3.2

бетон: Искусственный строительный материал, получаемый в результате укладки, уплотнения и твердения рационально подобранной бетонной смеси.
[ГОСТ Р 70362—2022, пункт 3.1]

3.3 **выравнивающий слой:** Слой переменной толщины, устраиваемый между сборным покрытием из плит и несущим слоем основания для обеспечения эксплуатационных параметров дорожного покрытия, не являющийся конструктивным слоем и не учитываемый в расчетах на прочность.

3.4

геосинтетический материал: Материал из синтетических или природных полимеров, неорганических веществ, контактирующих с грунтом или с другими средами, применяемыми в дорожном строительстве.
[ГОСТ 55028—2012, пункт 2.1.1]

3.5

грунты укрепленные: Грунты, обработанные органическими, минеральными или комплексными вяжущими с целью повышения их физико-механических свойств.
[ГОСТ 33063—2014, пункт 3.32]

3.6

дополнительные слои основания дорожной одежды: Слои между конструктивным нижним слоем основания и рабочим слоем земляного полотна, предусматриваемые для обеспечения требуемой морозоустойчивости и дренирования дорожной конструкции, позволяющие регулировать ее водно-тепловой режим и снижать толщину вышележащих слоев из материалов дорожной одежды.
[ГОСТ 59120—2021, пункт 3.2]

3.7

дорожная одежда: Конструктивный элемент автомобильной дороги, воспринимающий нагрузку от транспортных средств и передающий ее на земляное полотно.
[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.7]

3.8

дорожная одежда жесткая: Дорожная одежда с цементобетонным монолитным покрытием, со сборным покрытием из железобетонных плит.
[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.8]

3.9

дорожная одежда полужесткая: Дорожная одежда с асфальтобетонным покрытием на основании из цементобетона.

[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.10]

3.10

дорожное сборное покрытие: Покрытие на автомобильной дороге, состоящее из соединенных между собой отдельных плит различной формы и размера, изготовленных из бетона, железобетона или композиционного материала и укладываемых на подготовленное основание.

[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.23]

3.11

дюбель: Конструктивный элемент армирования, представляющий собой гладкий стержень, предназначенный для предотвращения вертикального смещения соседних плит между собой, но обеспечивающий их горизонтальные смещения вследствие температурных колебаний.

[ГОСТ Р 70364—2022, пункт 3.7]

3.12

защитный слой (дорожного покрытия): Слой толщиной от 0,5 до 3,0 см, предназначенный для защиты верхнего слоя дорожного покрытия от непосредственного воздействия колес транспортных средств и/или погоднo-климатических факторов.

[ГОСТ Р 58861—2020, пункт 3.7]

3.13

земляное полотно: Конструктивный элемент, служащий для размещения дорожной одежды, а также технических средств организации дорожного движения и обустройства автомобильной дороги.

[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.13]

3.14

интенсивность движения: Количество транспортных средств, проходящих через поперечное сечение автомобильной дороги в единицу времени (за сутки или один час).

[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.14]

3.15 **краевая полоса:** Часть обочины или разделительной полосы (при наличии), примыкающая к проезжей части и имеющая дорожную одежду, конструкция которой позволяет обеспечить безопасный заезд на нее транспортных средств и защиту кромки проезжей части от разрушения.

3.16 **малосвязные материалы:** Дисперсные материалы с преобладанием механических структурных связей и сыпучие в сухом состоянии (песок и песчано-гравийные смеси).

3.17

монолитное цементобетонное покрытие: Верхний слой покрытия дорожной одежды, сооружаемого из бетонных смесей, уплотняемых на месте производства работ.

[ГОСТ Р 59628—2021, пункт 3.4]

3.18 **надежность дорожной одежды:** Комплексный показатель способности дорожной конструкции в целом сохранять заданные эксплуатационные характеристики (ровность, прочность, шероховатость) в течение расчетного срока службы.

3.19 **несущий слой основания:** Конструктивный слой основания, обеспечивающий прочность и морозоустойчивость дорожной одежды.

3.20

нормативная нагрузка: Модель нагрузки от транспортных средств, установленная по наибольшим значениям временных нагрузок нормальной эксплуатации с учетом перспективы.

[ГОСТ 32960—2014, пункт 2.1.4]

3.21

обочина: Элемент дороги, примыкающий непосредственно к проезжей части и предназначенный для обеспечения устойчивости земляного полотна, повышения безопасности дорожного движения, организации движения пешеходов и велосипедистов, а также использования при чрезвычайных ситуациях.

[ГОСТ 32959—2014, пункт 3.4]

3.22

основание дорожной одежды: Часть конструкции дорожной одежды автомобильной дороги, расположенная под покрытием и обеспечивающая совместно с покрытием перераспределение напряжений в конструкции и снижение их величины в грунте рабочего слоя земляного полотна (подстилающем грунте), а также морозоустойчивость и осушение конструкции.

[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.18]

3.23 **относительная влажность грунта:** Отношение естественной влажности грунта к влажности на границе текучести.

3.24

покрытие дорожной одежды: Верхняя часть дорожной одежды, состоящая из одного или нескольких слоев, непосредственно воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся прямому воздействию атмосферных факторов.

[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.22]

3.25

полоса движения: Продольная полоса проезжей части автомобильной дороги, по которой происходит движение транспортных средств в один ряд.

[ГОСТ 33475—2015, пункт 2.6а]

3.26 **поперечный деформационный шов сборного покрытия:** Деформационный шов, устраиваемый в сборном покрытии, обеспечивающий линейные деформации плит покрытия при существенном повышении температуры.

3.27 **поперечный шов сжатия:** Деформационный шов, нарезаемый в монолитном цементобетонном покрытии и в укатываемом бетоне перпендикулярно к оси проезжей части на толщину не менее 1/3 покрытия и обеспечивающий линейные деформации плит.

3.28 **поперечный шов расширения:** Деформационный шов, нарезаемый в монолитном цементобетонном покрытии и в укатываемом бетоне перпендикулярно к оси проезжей части на всю толщину покрытия, обеспечивающий линейные деформации плит при существенном повышении температуры.

3.29 **продольный шов:** Деформационный шов, нарезаемый в монолитном цементобетонном покрытии и в укатываемом бетоне, устраиваемый по типу поперечного шва сжатия по оси проезжей части и параллельно ей в зависимости от ее ширины, обеспечивающий снижение деформаций от растягивающих напряжений.

3.30

проезжая часть: Конструктивный элемент автомобильной дороги, предназначенный для движения транспортных средств.

[ГОСТ 33475—2015, пункт 2.7]

3.31

рабочий слой земляного полотна: Верхняя часть земляного полотна в пределах от низа дорожной одежды до уровня, соответствующего 2/3 глубины промерзания конструкции, но не менее 1,5 м, считая от поверхности покрытия.

[ГОСТ Р 59120—2021, пункт 3.25]

3.32

рабочий шов: Поперечный деформационный шов, устраиваемый в конце рабочей смены или при вынужденных перерывах в бетонировании более 2 ч работы.

[ГОСТ Р 59628—2021, пункт 3.9]

3.33

разделительная полоса: Конструктивный элемент автомобильной дороги, разделяющий транспортные потоки по направлению или составу движения.

[ГОСТ 33475—2015, пункт 2.9]

3.34 **расчетная осевая нагрузка:** Максимальная нагрузка на наиболее нагруженную ось для двухосных автомобилей или на приведенную ось для многоосных автомобилей, доля которых в составе транспортного потока с учетом перспективы изменения к концу межремонтного срока составляет не менее 5 %.

Примечание — Дорожная одежда при заданной капитальности не может рассчитываться на расчетную осевую нагрузку менее нормативной.

3.35

расчетный срок службы дорожной одежды: Установленный в утвержденных нормативных документах межремонтный срок проведения работ по капитальному ремонту дорожной одежды.
[ГОСТ Р 59120—2021, пункт 3.26]

3.36

сборные бетонные и железобетонные изделия: Изделия из бетона или железобетона, предназначенные для возведения зданий и сооружений, изготавливаемые вне места их окончательного применения.
[ГОСТ 26633—2015, пункт 3.4]

3.37

слой износа: Верхний замыкающий слой дорожной одежды, непосредственно воспринимающий воздействие колес автомобильного транспорта и погоднo-климатических факторов.
[ГОСТ Р 58861—2020, пункт 3.27]

3.38

состав движения: Количество различных типов автотранспортных средств в общем транспортном потоке.
[ГОСТ 33100—2023, пункт 3.33]

3.39 **укатываемый бетон:** Бетон, получаемый из жестких бетонных смесей, уплотняемых укаткой.

3.40 **уровень надежности:** Вероятность безотказной работы дорожной конструкции в течение расчетного срока службы.

4 Сокращения

В настоящем стандарте использованы следующие сокращения:

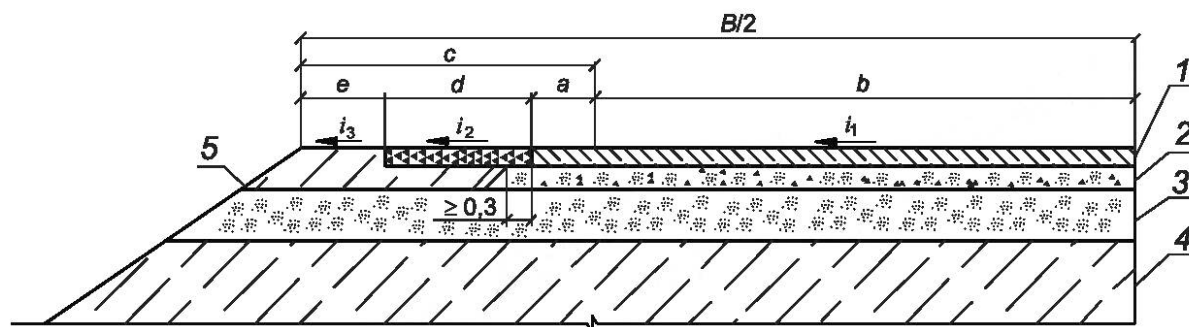
БНД — битум нефтяной дорожный;
ГПС — гравийно-песчаная смесь;
ДКЗ — дорожно-климатическая зона;
ПАГ — плита аэродромная гладкая;
ПДН — плита дорожная предварительно напряженная;
ПБВ — полимерно-битумное вяжущее;
ПГС — песчано-гравийная смесь;
ЩГПС — щебеночно-гравийно-песчаная смесь;
ЩМА — щебеночно-мастичный асфальтобетон;
ЩПС — щебеночно-песчаная смесь.

5 Общие положения

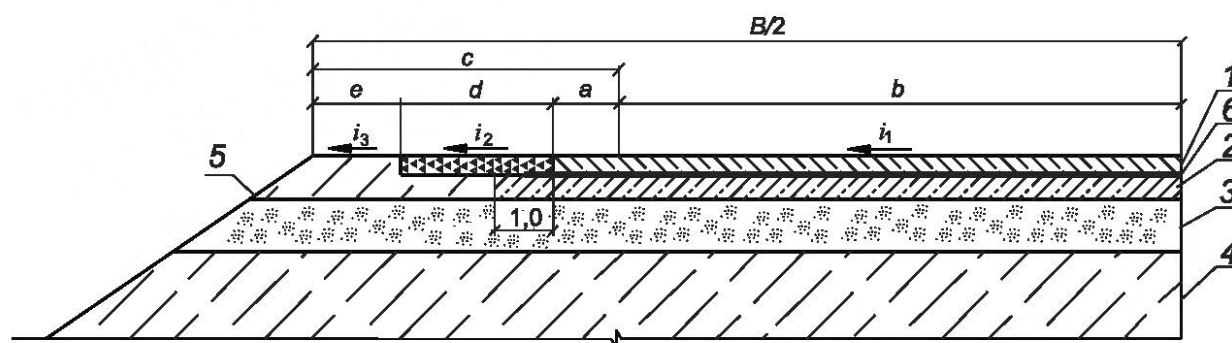
5.1 К жестким дорожным одеждам относят дорожные одежды с цементобетонным монолитным покрытием, со сборным покрытием из железобетонных плит. К полужестким дорожным одеждам относят дорожные одежды с асфальтобетонным покрытием на основании из цементобетона. Классификацию дорожных одежд принимают в соответствии с ГОСТ Р 59120.

Для устройства монолитных цементобетонных покрытий и оснований, а также для изготовления плит сборных покрытий следует применять бетоны, соответствующие требованиям ГОСТ 26633, ГОСТ Р 70362, ГОСТ 31384. Характеристики бетонов определяют в зависимости от среды эксплуатации в соответствии с требованиями ГОСТ 31384.

5.2 В жестких дорожных одеждах различают следующие конструктивные слои: покрытие и основание, включающее несущие и дополнительные слои основания. Каждый конструктивный слой дорожной одежды должен иметь поперечный уклон, равный уклону покрытия соответствующей категории дороги, поперечному профилю проезжей части и ДКЗ по СП 34.13330. Поперечный профиль с конструкцией жесткой дорожной одежды представлен на рисунке 1.



а) Жесткая дорожная одежда с несущим слоем основания из дисперсного материала



б) Жесткая дорожная одежда с несущим слоем основания из материалов, укрепленных неорганическим вяжущим

1 — покрытие; 2 — несущий слой основания; 3 — дополнительный слой основания; 4 — рабочий слой земляного полотна; 5 — откос земляного полотна; 6 — технологическая прослойка из полиэтиленовой пленки или геосинтетического материала; B — ширина земляного полотна; a — краевая полоса обочины; b — полоса движения; c — обочина; d — укрепленная часть обочины; e — часть обочины, укрепленная засевом трав, одерновкой; i_1, i_2, i_3 — поперечные уклоны проезжей части и краевой полосы обочины, укрепленной и неукрепленной частей обочины соответственно

Рисунок 1 — Поперечный профиль с конструкцией жесткой дорожной одежды

Прочность несущих слоев искусственных оснований должна быть достаточной для восприятия нагрузок от транспортных средств, используемых при строительстве искусственных покрытий.

5.3 Проектирование жесткой дорожной одежды представляет собой единый процесс конструирования и расчета дорожной одежды, расчета конструкции по условию сдвигоустойчивости грунта рабочего слоя земляного полотна и конструктивных слоев из малосвязных материалов, и проверок конструкции на морозоустойчивость и дренирующую способность, а также технико-экономическое обоснование вариантов конструкций дорожных одежд.

Проектирование дорожной одежды состоит из следующих последовательно выполняемых этапов:

- конструирование — назначение вида покрытия и его минимально необходимой толщины; назначение характеристик материала покрытия и основания в зависимости от среды эксплуатации; назначение швов сжатия и расширения в покрытии, их конструкции, предельных расстояний между швами; выбор материалов для устройства слоев основания и назначение их минимальной толщины; выбор материалов для устройства дополнительных слоев основания;

- расчет — определение расчетных и нормативных нагрузок; определение основных конструктивных элементов (толщину и длину плит, толщину слоев основания, армирования плит, армирования швов сжатия, необходимость устройства швов расширения); проверка сдвигоустойчивости рабочего слоя земляного полотна и конструктивных слоев из малосвязных материалов; проверка дорожных конструкций на морозоустойчивость и дренирующую способность;

- технико-экономическое сравнение не менее трех вариантов конструкций дорожных одежд, заключающееся в выборе наиболее целесообразного варианта с учетом строительных и эксплуатационных затрат до следующего капитального ремонта.

5.4 Дорожные одежды по ширине проезжей части проектируют равнопрочными, исключение может быть принято на участках многополосной проезжей части с количеством полос шесть и более согласно 6.11.

5.5 Расчеты дорожных одежд выполняют для однотипных участков дороги, имеющих:

- один тип земляного полотна (насыпь, нулевые отметки или выемка);
- схожие грунтово-гидрологические условия (один вид грунта и одна схема увлажнения грунта рабочего слоя земляного полотна);
- близкую приведенную интенсивность движения (отличающуюся не более чем на 10 %).

5.6 Расчетный срок службы жесткой дорожной одежды следует устанавливать в соответствии с ГОСТ Р 58861.

5.7 Исходными данными для проектирования дорожной одежды являются:

- параметры дороги (категория, число полос движения, геометрические параметры, расчетная нагрузка, срок службы дорожной одежды до капитального ремонта, предельный коэффициент разрушения, уровень надежности);
- параметры движения (интенсивность, состав движения, показатель изменения интенсивности движения);
- природно-климатические факторы (дорожно-климатическая зона, тип местности по условиям увлажнения, уровень грунтовых вод, объем притока воды);
- параметры земляного полотна и условия его работы (тип поперечного профиля, расчетная схема увлажнения, вид грунта рабочего слоя).

5.8 Расчет жесткой дорожной одежды следует выполнять на нормативную нагрузку от одного колеса нагрузки АК согласно ГОСТ 32960. Значение осевой нормативной нагрузки следует принимать с капитальным типом дорожной одежды 115 кН для монолитных и сборных цементобетонных покрытий на всех типах оснований, а также для асфальтобетонных покрытий на жестком основании. При определении расчетной нагрузки на одно колесо Q следует ввести коэффициент динамичности, умножив на $k_{\text{дин}} = 1,3$. Расчетное давление колеса на покрытие от нормативной нагрузки АК $p = 0,8$ МПа.

5.9 Общий модуль упругости на поверхности рабочего слоя земляного полотна (при расчетной влажности грунта земляного полотна) в зависимости от ДКЗ должен быть не ниже следующих значений:

- 60 МПа — в ДКЗ I и II;
- 53 МПа — в ДКЗ III;
- 45 МПа — в ДКЗ IV, V.

Для достижения представленных модулей упругости поверхности рабочего слоя земляного полотна необходимо выполнить условия согласно ГОСТ Р 71404—2024 (подраздел 6.13).

6 Конструирование жестких дорожных одежд

6.1 Конструирование дорожных одежд с монолитными цементобетонными покрытиями

6.1.1 Дорожные покрытия из монолитного цементобетона следует проектировать однослойными:

- без армирования;
- с сетчатым армированием как по площади плиты, так и с непрерывным сетчатым армированием участков большой протяженности (сплошное армирование);
- с каркасным армированием по типу железобетонного покрытия.

При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается проектировать двухслойными, устраиваемыми методом сращивания слоев.

Жесткие дорожные одежды со слоем железобетонного покрытия, армированным арматурным каркасом, допускается проектировать только в однослойном варианте.

По всей ширине проезжей части толщина цементобетонного покрытия должна быть одинаковой, с учетом нормативных допусков. Исключение может быть принято на участках многополосной проезжей части с количеством полос шесть и более, при соответствующем обосновании и задании заказчика. Определение толщины цементобетонного покрытия в таких случаях выполняется на основе индивидуального проектирования.

Для проектирования дорожной одежды с цементобетонным покрытием применяют нормативные и расчетные характеристики цементобетона, представленные в приложении А.

6.1.2 Между цементобетонным слоем покрытия и верхним несущим слоем основания из материалов, укрепленных неорганическим вяжущим, должна быть устроена разделительная прослойка из гидроизоляционного материала (гидроизоляционный геокомпозит, полиэтиленовая пленка, геомембрана по ГОСТ Р 56586).

Не допускается применение слоя из песка, укрепленного органическим вяжущим при конструировании и проектировании жесткой дорожной одежды между цементобетонным покрытием и несущим слоем основания.

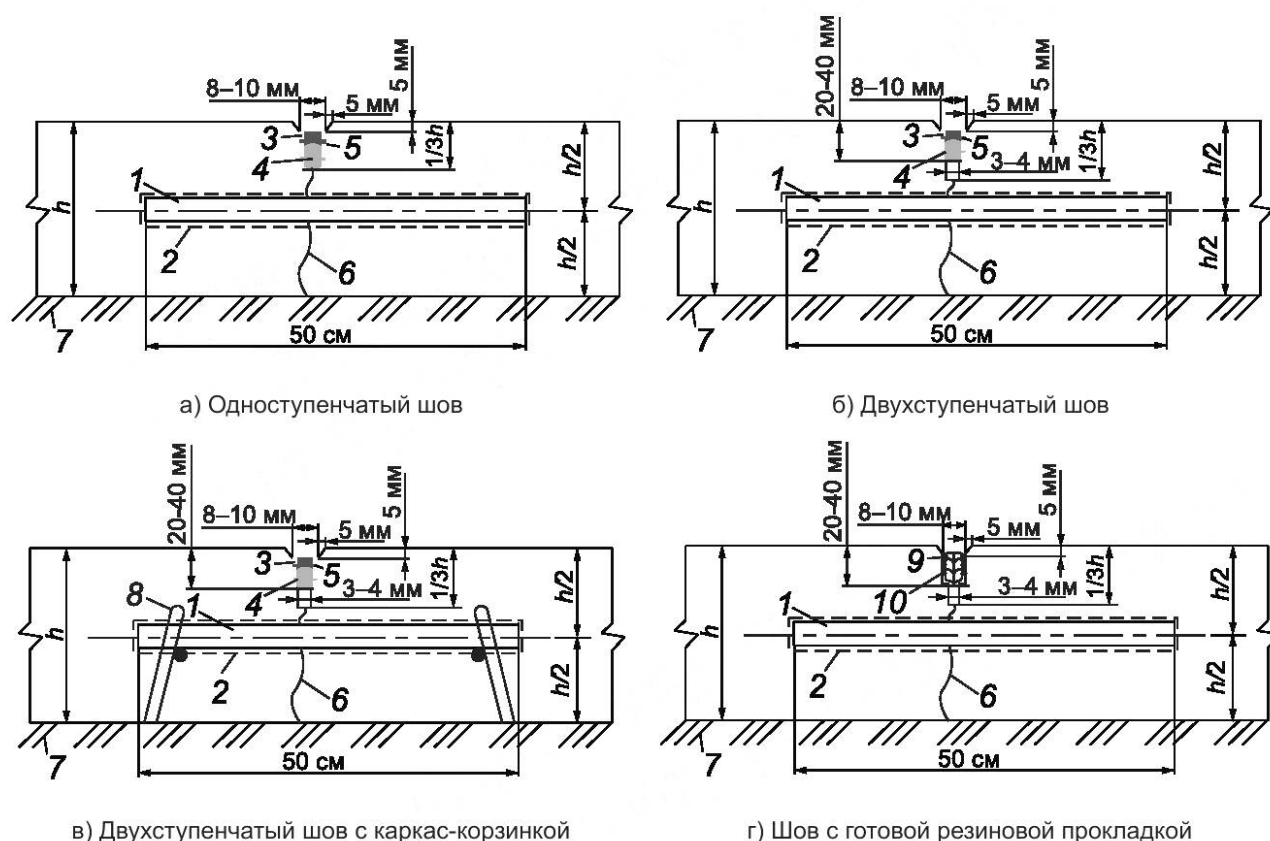
6.1.3 В качестве несущих слоев основания могут быть приняты слои основания из укатываемого бетона, каменных материалов и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими, щебеночных и гравийных материалов. Минимальная толщина несущего слоя оснований из укатываемого бетона может составлять 14 см, из каменных материалов и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими, 16 см, из щебеночных и гравийных материалов, устроенных на песчаном основании, 15 см и устроенных на прочном основании из каменного или из укрепленного грунта 8 см. Окончательную толщину и вид основания определяют при расчете толщины монолитного цементобетонного покрытия с предварительно назначаемыми параметрами выбранного вида основания, в процессе проектирования эти параметры уточняются.

Для прохода гусениц бетоноукладчика со скользящими формами нижележащий конструктивный слой должен быть устроен не менее чем на 80 см шире в каждую сторону, чем укладываемый выше слой цементобетона.

6.1.4 В монолитном цементобетонном покрытии устраиваются деформационные швы в поперечном и продольном направлениях. Поперечные швы обеспечивают возможность деформирования покрытия в продольном направлении, продольные швы — в поперечном направлении. К поперечным швам относят швы сжатия, расширения и рабочие швы. Продольные швы проектируются как швы сжатия.

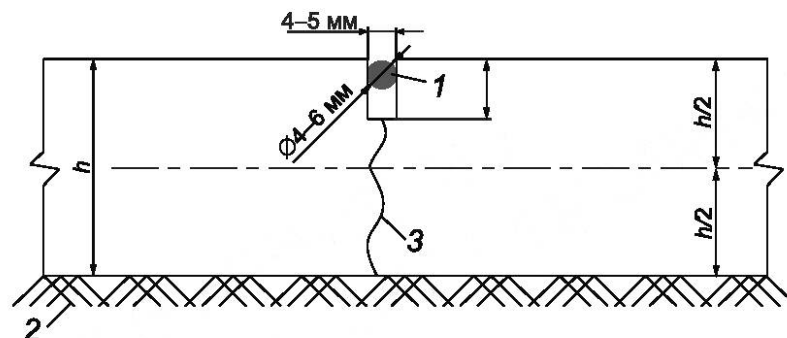
Деформационные швы в цементобетонном покрытии должны совпадать со швами в основании, независимо от наличия разделительной прослойки между цементобетонными слоями и его толщины, или отстоять от них не более чем на 10 см.

6.1.4.1 Конструкции поперечных швов сжатия, применяемые на монолитных цементобетонных покрытиях, представлены на рисунке 2, для основания из укатываемого бетона — на рисунке 3. Конструкцию двухступенчатого поперечного шва сжатия с каркас-корзинкой следует применять при отсутствии возможности обеспечить размещение дюбелей автоматической системой в процессе бетонирования.



1 — дюбель; 2 — антиадгезионный материал; 3 — праймер; 4 — уплотнительный шнур; 5 — герметизирующий материал; 6 — технологическая трещина; 7 — слой основания; 8 — каркас-корзинка; 9 — готовая резиновая прокладка; 10 — клей; h — толщина цементобетонного покрытия

Рисунок 2 — Конструкции поперечных швов сжатия



1 — герметизационный шнур; 2 — дополнительный слой основания; 3 — технологическая трещина; h — толщина основания из укатываемого бетона

Рисунок 3 — Конструкции поперечного шва сжатия для основания из укатываемого бетона

Расстояние между поперечными швами сжатия на основаниях из укатываемого бетона, каменных материалах, укрепленных минеральным вяжущим, и на устойчивом земляном полотне при толщине покрытия от 27 до 29 см принимают 6,0 м, от 30 см и более 7,0 м. На основании из каменных материалов, не обработанных вяжущими, и на участках с ожидаемыми неравномерными осадками земляного полотна и на высоких насыпях, а также при толщине менее 27 см на основаниях из каменных материалов, укрепленных минеральным вяжущим, расстояние между поперечными швами сжатия принимают 5,0 м. Длина и ширина плит цементобетонного покрытия не должна отличаться более чем в два раза.

6.1.4.2 Поперечные швы расширения обеспечивают продольную устойчивость цементобетонного покрытия в процессе эксплуатации, их устраивают с целью обеспечения линейных деформаций плит при изменении температуры.

Расстояние между поперечными швами расширения назначаются в зависимости от температуры воздуха во время бетонирования по таблице 1. Перед мостами и у пересечений дорог устраивают не менее трех швов расширения с расстоянием между ними от 10 до 20 м.

В конструкции шва расширения в обязательном порядке на каждом дюбеле должен быть установлен жестяной или полимерный колпачок с достаточным пространством (зазором) для расширения, при этом зазор должен быть на 5 мм длинней, чем рассчитанный путь движения дюбеля в шве расширения.

Конструкция шва расширения, устраиваемая на основном протяжении дороги цементобетонного покрытия, представлена на рисунке 4а). Конструкция, представленная на рисунке 4б), устраивается перед искусственными сооружениями и на основании из укатываемого бетона.

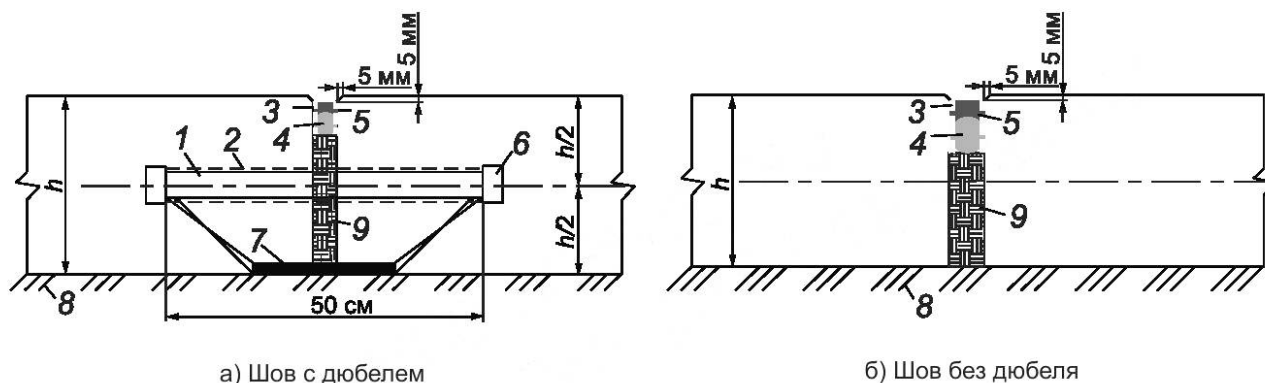
Таблица 1 — Расстояние между швами расширения

Климат	Толщина цементобетонного покрытия, см	Расстояние между швами расширения, м			
		Температура воздуха во время укладки цементобетонного покрытия, °C			
		Ниже 5	От 5 до 15	От 10 до 25	Выше 25
Умеренный	28—30	40—50	72—85	114—130	145—185
	25—27	30—36	60—70	95—110	114—144
	22—24	25—28	50—56	80—90	90—110
	20—21	24—25	35—42	50—54	80—90
	18—19	18—20	25—30	30—35	40—45
Континентальный	28—30	36—48	65—72	108—120	140—175
	25—27	25—35	50—60	95—105	114—138
	22—24	20—24	40—48	80—90	90—110
	20—21	18—20	32—36	40—45	60—66
	18—19	16—18	22—25	25—28	36—40

Примечания

1 Континентальный климат характеризуется разницей между максимальной и минимальной температурами воздуха в течение 1 сут 12 °C при повторяемости более 50 раз в год.

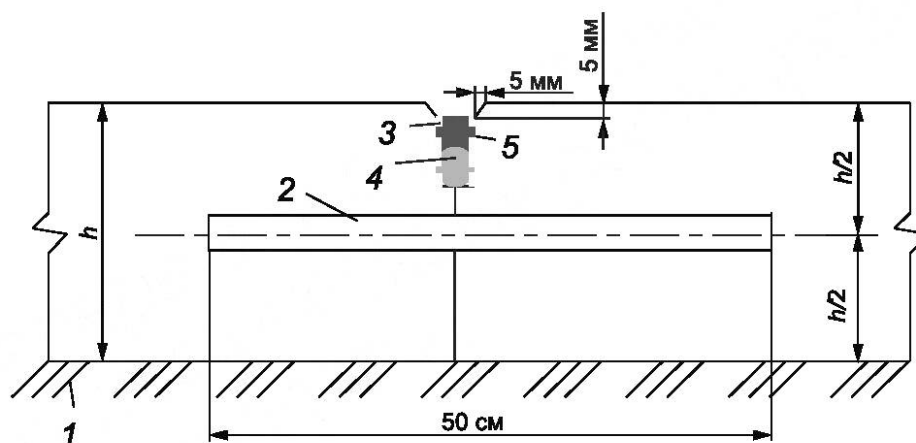
2 Для промежуточных значений следует использовать линейную интерполяцию.



1 — дюбель; 2 — антиадгезионный материал; 3 — праймер; 4 — уплотнительный шнур; 5 — герметизирующий материал;
6 — колпачок с воздушным зазором; 7 — каркас-корзинка; 8 — слой основания; 9 — упругий материал;
 h — толщина цементобетонного покрытия

Рисунок 4 — Конструкции поперечных швов расширения

6.1.4.3 Рабочие швы являются швами сжатия или расширения. Их устройство выполняется при перерывах в укладке смеси более 2 ч, после окончания рабочей смены, а также вследствие сбоя комплекса бетоноукладочного оборудования, в том числе когда не удастся обеспечить сплошность и монолитность конструкции. Конструкция рабочего шва представлена на рисунке 5.



1 — слой основания; 2 — дюбель; 3 — герметизирующий материал; 4 — уплотнительный шнур; 5 — праймер;
 h — толщина цементобетонного покрытия

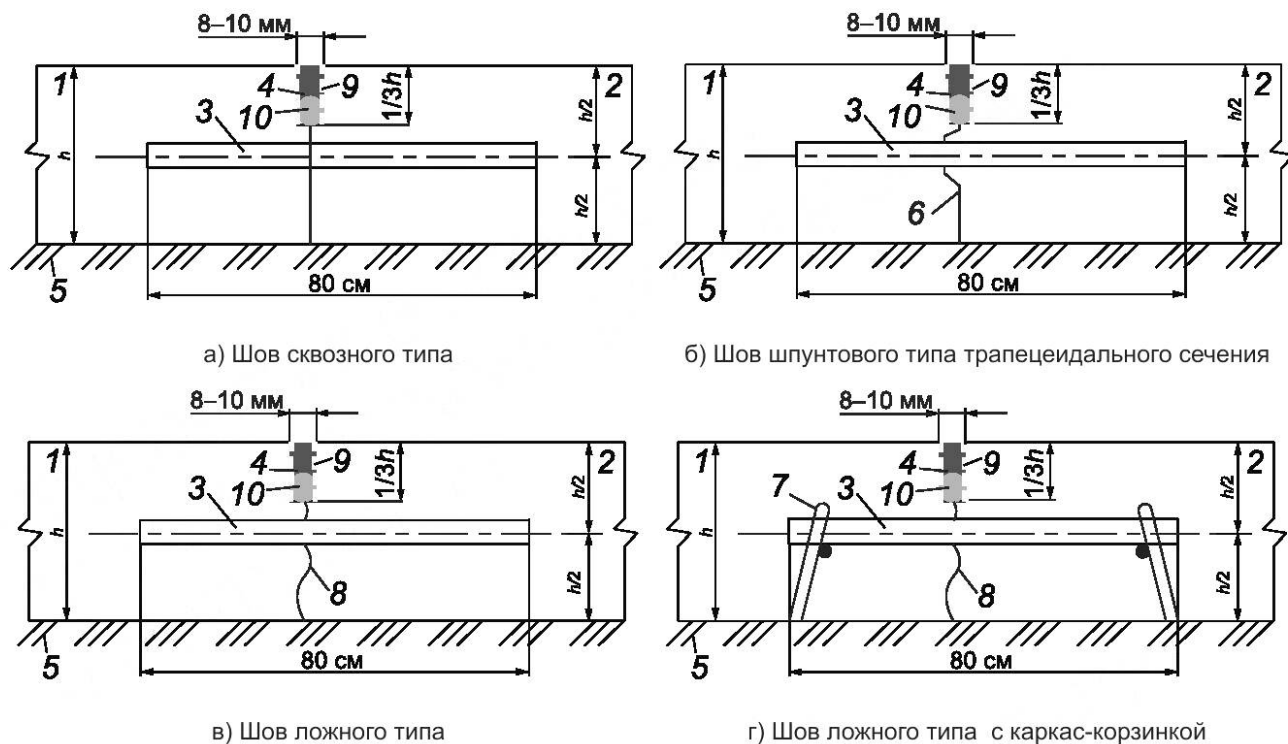
Рисунок 5 — Конструкция рабочего шва

6.1.4.4 Продольные швы являются швами сжатия, расстояние между которыми должно соответствовать ширине полосы движения для соответствующей категории автомобильной дороги по ГОСТ Р 52399. Ширину цементобетонных плит, примыкающих к обочине, следует увеличивать на ширину краевой полосы у обочины без устройства продольного шва. Конструкции продольного шва представлены на рисунке 6.

6.1.5 Наличие дюбелей в деформационных швах сжатия, расширения и рабочих швах для автомобильных дорог I и II категорий является обязательным. Применение дюбелей для дорог III и IV категорий является обязательным при наличии грузовых автомобилей в составе транспортного потока категории транспортных средств С по ГОСТ 32965 более 35 % — 40 % на всех видах оснований, а также на неукрепленных основаниях из каменных материалов вне зависимости от количества грузовых автомобилей. В процессе бетонирования предпочтительно устройство дюбелей методом вибропогружения.

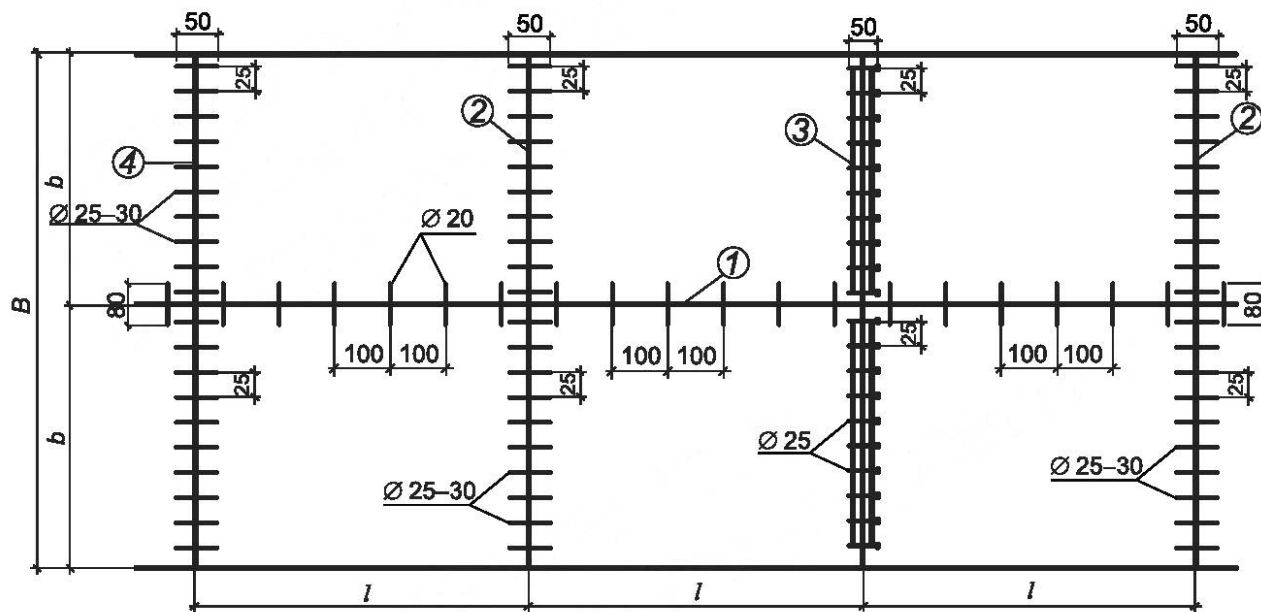
6.1.6 Наличие анкеров в продольных швах является обязательным на всех видах оснований из неукрепленных каменных материалов.

6.1.7 Проектное расположение дюбелей и анкеров для поперечных и продольных швов представлено на рисунке 7.



1 — бетон ранее уложенной полосы; 2 — свежееуложенный бетон; 3 — анкер; 4 — герметизирующий материал; 5 — слой основания; 6 — трапецеидальный шпунт; 7 — каркас-корзинка; 8 — технологическая трещина; 9 — праймер; 10 — уплотнительный шнур;
 h — толщина цементобетонного покрытия

Рисунок 6 — Конструкции продольного шва



1 — продольный шов; 2 — поперечный шов сжатия; 3 — поперечный шов расширения; 4 — рабочий шов;
 B — ширина проезжей части; b — ширина полосы движения

Рисунок 7 — Расположение дюбелей и анкеров в поперечных и продольных швах цементобетонного покрытия

6.1.8 Диаметр дюбелей, анкеров, расстояние между ними и их длина назначаются в зависимости от полученной при проектировании дорожной одежды толщины цементобетонного покрытия по ГОСТ Р 59628—2021 (таблица 6). Для дюбелей в поперечных швах сжатия и расширения следует при-

менять гладкую стержневую арматуру по ГОСТ 34028, предварительно обработанную антикоррозионным составом на основе эпоксидного материала и иметь антиадгезионное покрытие (обмазку) для предотвращения сцепления с бетоном. Для анкеров в продольных швах следует применять арматуру периодического профиля по ГОСТ 34028, предварительно обработанную антикоррозионным составом на основе эпоксидного материала.

6.1.9 Для герметизации деформационных швов применяют герметики горячего и холодного применения, а также готовые резиновые прокладки различных профилей. При применении готовых резиновых прокладок в качестве грунтовочного состава используют клей, при герметизации пазов швов герметиками горячего применения праймер, при применении герметиков холодного применения грунтовочный состав не наносится.

6.1.10 Коэффициент сцепления колеса автомобиля с цементобетонным покрытием должен быть не менее 0,3, при устройстве бороздок в поперечном и продольном направлениях, применении джутового полотна и создании открытой верхней поверхности бетона. Текстура поверхности цементобетонного покрытия при устройстве бороздок в поперечном и продольном направлениях должна иметь бороздки глубиной от 3 до 5 мм, шириной 3 мм.

6.2 Цементобетонные покрытия с защитными слоями

6.2.1 Защитные слои непосредственно воспринимают воздействие колес автомобильного транспорта и погоднo-климатических факторов и обеспечивают требуемые транспортно-эксплуатационные качества покрытия. Защитные слои на цементобетонных покрытиях могут применяться при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог.

6.2.2 При строительстве автомобильных дорог защитные слои устраивают в районах, где применяются транспортные средства с шипованными шинами на дорогах I и II категорий при интенсивности движения на полосу более 10 тыс. автомобилей в сутки, для предотвращения непосредственного истирания цементобетонных покрытий под действием колес автомобильного транспорта, продления срока их службы и повышения работоспособности.

6.2.3 В случае возникновения на цементобетонных покрытиях износа, шелушения и других повреждений поверхности покрытия, приводящих к снижению транспортно-эксплуатационных качеств покрытия, в рамках проведения работ по капитальному ремонту и ремонту автомобильных дорог могут применяться защитные слои.

6.2.4 Защитные слои должны обеспечивать выполнение требований, предъявляемых к транспортно-эксплуатационным характеристикам автомобильной дороги по ГОСТ Р 59120, ГОСТ 33220, ГОСТ Р 50597 и другим нормативным документам.

6.2.5 Защитные слои выполняют из горячей битумоминеральной смеси с мембраной (мембранная технология) и из литой эмульсионно-минеральной смеси быстрого формирования по ГОСТ Р 58422.1. Толщину защитного слоя назначают в зависимости от применяемых материалов, технологии устройства и не учитывают в расчете на прочность и морозостойчивость.

6.3 Конструирование дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями на цементобетонном основании

6.3.1 Цементобетонные основания с асфальтобетонными покрытиями при новом строительстве или реконструкции устраивают из укатываемого бетона и из монолитного бетона с применением бетоноукладчика. При капитальном ремонте, сопровождающемся устройством асфальтобетонных слоев усиления поверх цементобетонного покрытия, основанием является монолитный цементобетон.

6.3.2 Конструктивные слои дорожных одежд по своему функциональному назначению и их минимальные толщины в уплотненном состоянии принимают в соответствии с ГОСТ Р 59120.

6.3.3 Асфальтобетонные покрытия на цементобетонном основании должны состоять, как правило, не менее чем из двух слоев. Исключение составляют защитные слои или слои износа из асфальтобетона, которые устраиваются однослойными. Толщина слоя асфальто- и цементобетона определяется расчетом.

6.3.4 Для устройства асфальтобетонных покрытий применяют следующие материалы:

- ЩМА по ГОСТ Р 58401.2 и ГОСТ Р 58406.1;
- асфальтобетоны по ГОСТ Р 58401.1 и ГОСТ Р 58406.2.

6.3.5 В цементобетонном основании класса выше В 12,5 (Вtb2,0) устраивают швы сжатия через 12 м. Перед мостами и у пересечений дорог устраивают не менее трех швов расширения с расстоянием между ними от 10 до 20 м, так же, как и при сооружении монолитных цементобетонных покрытий.

6.3.6 Для повышения трещиностойкости слоев из асфальтобетона могут быть предусмотрены специальные трещинопрерывающие прослойки из различных материалов, в том числе геосинтетических материалов по ГОСТ Р 55029, имеющих опыт применения. Также над поперечными швами в основании рекомендуется армировать асфальтобетон сетками по ГОСТ Р 55029, располагая их вдоль шва с симметричными «выпусками»; ширина сеток должна быть не менее 200 см (ширина каждого «выпуска» не менее 100 см). Сетки размещают в слое асфальтобетона не ближе 8 см от поверхности покрытия и между слоями. Сетки из стали располагают под нижним слоем двухслойного асфальтобетонного покрытия непосредственно на цементобетонном основании.

Применение сеток должно быть обосновано либо соответствующими расчетами, либо опытом их применения и результатами диагностики.

6.3.7 В асфальтобетонном покрытии возможно устройство деформационных швов над швами цементобетонного основания, что позволяет:

- исключить бессистемное трещинообразование в асфальтобетонном покрытии;
- контролировать и регулировать развитие отраженных трещин и, как следствие, увеличить долговечность асфальтобетонного покрытия.

При этом конструкция шва в асфальтобетонном покрытии должна представлять собой единичный пропил шириной не более 5 мм на всю толщину верхнего слоя покрытия с герметизацией шва битумно-полимерным герметиком горячего твердения, наносимым на поверхность покрытия в зоне шва в виде пластыря шириной от 40 до 50 мм.

6.3.8 Продольные швы в основании устраивают при ширине покрытия более 9 м и на участках с ожидаемыми неравномерными осадками земляного полотна. Продольные швы не армируются.

Ширина слоя основания из цементобетона принимается такой же, как и при строительстве цементобетонных покрытий.

6.3.9 В конструкциях дорожных одежд на контакте конструктивных слоев из неукрепленных каменных материалов по ГОСТ Р 70458, ГОСТ Р 58770, ГОСТ 32703, ГОСТ 32826, ГОСТ Р 70458, ГОСТ Р 71329 с конструктивными слоями из песка или с грунтом земляного полотна рекомендуется применение геосинтетических материалов по ГОСТ Р 56338 и ГОСТ Р 56419.

6.4 Конструирование колейных покрытий

6.4.1 Кольные покрытия являются разновидностью сборных и монолитных покрытий автомобильных дорог.

Кольные покрытия сборного типа могут быть устроены по типу сборных покрытий и сборно-разборных покрытий. Кольные покрытия, устроенные по типу сборных покрытий, должны быть применены только для целей длительного периода эксплуатации, т.е. на проектный срок службы. Кольные покрытия, устраиваемые по типу сборно-разборных покрытий, применяются для эксплуатации от нескольких дней или месяцев до нескольких лет в зависимости от значения дороги. При применении сборно-разборного покрытия для кольных покрытий конструктивные устройства для захвата и подъема крановым оборудованием должны быть сохранены без повреждения в течение всего срока службы плиты.

Кольные покрытия из монолитного бетона проектируются на проектный срок службы.

6.4.2 Кольные покрытия устраиваются по полосам наката движения колес автомобилей. Ширина колеи должна быть равной ширине плиты, но не менее 1,0 м, в том числе для покрытий из монолитного бетона. Ширина межколеинного пространства должна составлять от 0,7 до 0,9 м или быть определена в зависимости от назначения дороги и состава транспортного потока.

6.4.3 Кольные покрытия дорог могут быть устроены однопутными и двухпутными. Ширина междупутья должна быть в пределах от 1,0 до 1,5 м. При устройстве однопутных дорог необходимо проектировать разъезды или карманы для встречных автомобилей на специально уширенных участках земляного полотна или организовать движение в виде потока в одном направлении. Ширина разъездов для встречных автомобилей на специально уширенных участках земляного полотна должна быть не менее 8,0 м. Расстояние между разъездами или карманами принимается с учетом расстояния видимости встречного автомобиля по ГОСТ Р 58818—2020 (пункт 7.4.1), но не более 0,8 км. Минимальная длина разъезда должна составлять не менее 30 м. Поперечный профиль земляного полотна с кольным покрытием представлен на рисунке 8.

6.4.4 Толщина кольного сборного покрытия может быть определена представленным расчетом для сборных покрытий дорог или определена индивидуальным расчетом в зависимости от назначения дороги и заданного состава транспортного потока.

Рекомендуемые минимальные толщины колеиных покрытий из монолитного и укатываемого бетона приведены в таблице 2 [1]. Поперечные швы в колеиных покрытиях из монолитного бетона устраивают со смещением от 30 до 50 см.

В качестве несущего слоя основания применяется песок или грунт, укрепленный неорганическим вяжущим, щебеночное или шлаковое основание толщиной не менее 15 см.

При устройстве на песчаном основании в швах сжатия предусматриваются дюбели — по два дюбеля диаметром от 20 до 25 мм, длиной 50 см на колею.

Таблица 2 — Минимальная толщина колеиного покрытия из монолитного и укатываемого бетона

Вид основания	Толщина колеиного покрытия h , см, при классе бетона на сжатие			
	B15	B20	B25	B30
Песчаное	20	19	18	17
Песок или грунт, укрепленный неорганическим вяжущим, шлаковое, щебеночное толщиной не менее 15 см	18	17	16	16

Примечание — При классе бетона на сжатие B15-B20 поперечные швы не устраивают, при классе бетона на сжатие B25-B30 расстояние между швами сжатия составляет $22h$.

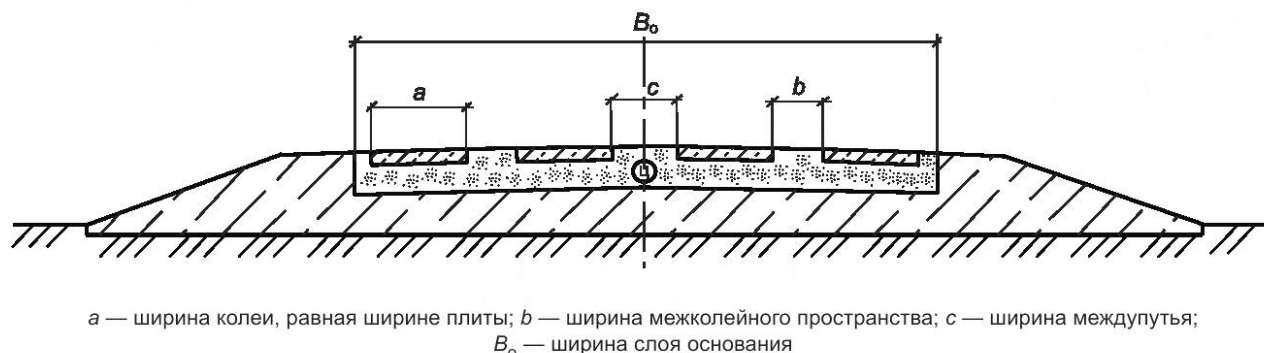


Рисунок 8 — Поперечный профиль с конструкцией колеиных покрытий автомобильных дорог

6.5 Конструирование дорожных одежд со сборными покрытиями из плит ПАГ и 1ПДН

6.5.1 Дорожные одежды со сборными покрытиями могут применяться на автомобильных дорогах общего пользования, городских дорогах и улицах.

6.5.2 Конструктивными слоями дорожной одежды со сборными покрытиями являются покрытие, выравнивающий (контактный) слой, несущий слой основания и дополнительный слой основания.

6.5.3 Плиты сборных покрытий должны укладываться длинной стороной вдоль основного направления движения транспортных средств.

6.5.4 В сборном покрытии следует устраивать поперечные и продольные деформационные швы, расстояние между которыми назначается в зависимости от геометрических размеров плит покрытия.

6.5.5 Соединения между плитами сборных покрытий рекомендуется выполнять на сварке в предусмотренных производителем плит местах во всех швах, кроме швов расширения.

6.5.6 Швы между плитами сборных покрытий следует герметизировать битумно-полимерными герметиками горячего твердения, деформационные швы расширения в сборных покрытиях устраиваются по типу швов расширения в монолитных покрытиях. Для уменьшения количества мастики допускается нижнюю часть во всех швах, кроме деформационных, на высоту, равную $2/3$ толщины плиты, заполнять песком, укрепленным цементом, или цементным раствором.

6.5.7 Выравнивающий слой является технологическим и устраивается исключительно с целью выравнивания несущего слоя основания в случае невозможности достичь требуемой ровности при строительстве. Его применение обосновывается на стадии проектирования дорожной одежды, в том числе в зависимости от применяемых средств механизации по устройству несущего слоя основания. Для всех типов оснований, кроме песчаных и песчано-гравийных, выравнивающий слой рекомендуется устраивать из грунта, укрепленного неорганическим вяжущим, с расходом класса прочности по ГОСТ 31108,

равного 42,5 (марка 400), следует принимать равным 250 кг на 1 м³ грунта при оптимальной влажности смеси. Толщина выравнивающего слоя назначается в диапазоне от 4 до 6 см в зависимости от применяемого материала и материала несущего слоя основания.

6.5.8 Под сборные покрытия применяют следующие виды оснований: щебеночное или гравийное толщиной от 23 до 30 см; из грунтов, обработанных минеральным или органическим вяжущими материалами, толщиной от 20 до 40 см; из укатываемого или песчаного бетона толщиной от 20 до 25 см (для дорог высоких категорий). Песчаное основание, выступающее в роли несущего слоя основания, применять не рекомендуется вследствие его разуплотнения под действием динамических воздействий в зоне швов и вымывания грунта от попадания влаги.

При неблагоприятных почвенных и гидрологических условиях под несущим слоем основания может быть устроен песчаный дренирующий или морозозащитный слой, толщину которого назначают от 20 до 50 см в соответствии с расчетом. На контакте дренирующего или морозозащитного слоя с несущим слоем основания рекомендуется применение разделяющих прослоек по ГОСТ Р 56419.

7 Расчет жестких дорожных одежд

7.1 Расчет монолитных цементобетонных покрытий

7.1.1 Расчет на прочность однослойного монолитного цементобетонного покрытия без армирования и с сетчатым армированием проводят путем проверки прочности покрытия по формуле (см. [1])

$$K_{\text{пр}}^{\text{тр}} \leq \frac{R_{\text{ри}}^{\text{расч}}}{\sigma_{\text{pt}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ — требуемый коэффициент прочности, определяемый в зависимости от уровня надежности по таблице 3;

$R_{\text{ри}}^{\text{расч}}$ — расчетная прочность бетона на растяжение при изгибе, МПа;

σ_{pt} — суммарное напряжение растяжения при изгибе, возникающее в монолитном цементобетонном покрытии от действия нагрузки и перепада температуры по толщине плиты, МПа.

Т а б л и ц а 3 — Коэффициенты надежности и требуемые коэффициенты прочности дорожных одежд

Тип дорожных одежд	Категория дороги	Предельный коэффициент разрушения	Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$	Коэффициент надежности $K_{\text{н}}$
Капитальный	IA, IB, IB	0,1	1,10	0,98
	IV, II	0,1	1,00	0,95
	III	0,2	1,00	0,92
Примечание — Для односторонних проездов на участках съездов развязок требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ принимается 1,00, коэффициент надежности $K_{\text{н}}$ равным 0,95.				

7.1.2 Расчетное сопротивление бетона на растяжение при изгибе определяют по формуле

$$R_{\text{ри}}^{\text{расч}} = B_{\text{tb}} \cdot K_{\text{н.п}} \cdot K_{\text{y}} \cdot K_{\text{F}}, \quad (2)$$

где B_{tb} — класс бетона на растяжение при изгибе;

$K_{\text{н.п}}$ — коэффициент набора прочности со временем: для бетона естественного твердения в районах с умеренным климатом, приготовленного из цемента, полученного «мокрым» способом с помолом цементного клинкера без сепаратора $K_{\text{н.п}}$, принимают 1,2; при других способах производства цемента и в условиях сухого, жаркого климата, а также для пропаренного бетона $K_{\text{н.п}} = 1,0$;

K_{F} — коэффициент, учитывающий воздействие попеременного замораживания-оттаивания, равный 0,95;

K_{y} — коэффициент усталости бетона при повторном нагружении, определяемый по формуле

$$K_{\text{y}} = 1,08 \cdot (\sum N_{\text{p}})^{-0,063}, \quad (3)$$

где $\sum N_p$ — суммарное расчетное число приложения приведенной расчетной нагрузки за расчетный (проектный) срок службы.

7.1.3 Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки $\sum N_p$ за проектный срок службы дорожной одежды определяют по исходным данным интенсивности по формуле (4) или (5).

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки $\sum N_p$ за проектный срок службы дорожной одежды, ед., при известных фактических интенсивностях движения по видам транспорта на первый год эксплуатации дороги, определяют по формуле

$$\sum N_p = 0,7 \cdot f_{\text{пол}} \cdot K_c \cdot T_{\text{рдг}} \cdot k_n \cdot \sum_{m=1}^n N_{1m} \cdot S_{m \text{ сум}} \quad (4)$$

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки $\sum N_p$ за проектный срок службы дорожной одежды, ед., при известной приведенной интенсивности движения к расчетной нагрузке на конец проектного срока службы проведения работ по капитальному ремонту, определяют по формуле

$$\sum N_p = 0,7 \cdot N_p \cdot \frac{K_c}{q^{(T_{\text{сл}}-1)}} \cdot T_{\text{рдг}} \cdot k_n, \quad (5)$$

где $f_{\text{пол}}$ — коэффициент распределения интенсивности движения для самой нагруженной полосы движения, зависящей от числа полос движения, принимаемый при отсутствии данных натурных наблюдений по таблице 4. На перекрестках и подходах к ним (в местах перестроения потока автомобилей для выполнения левых поворотов и др.) при расчете одежды в пределах всех полос движения следует принимать $f_{\text{пол}} = 0,50$, если общее количество полос проезжей части проектируемой дороги три и более в обоих направлениях, в остальных случаях — по таблице 4;

K_c — коэффициент суммирования, вычисляемый по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1}, \quad (6)$$

где q — показатель изменения интенсивности движения (знаменатель геометрической прогрессии), если $q = 1$, коэффициент K_c принимают равным $T_{\text{сл}}$;

$T_{\text{сл}}$ — проектный срок службы дорожной одежды, годы;

$T_{\text{рдг}}$ — расчетное количество дней в году, зависящее от района проектирования, соответствующее определенному состоянию деформируемости дорожной конструкции, определяемое по таблице 5 и рисунку 9, дни;

k_n — коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, определяемый по таблице 6;

N_{1m} — интенсивность движения m -й марки в первый год эксплуатации, ед./сут;

$S_{m \text{ сум}}$ — суммарный коэффициент приведения к расчетной нагрузке автомобиля m -й марки по ГОСТ Р 71405;

N_p — приведенная интенсивность движения к воздействию расчетной нагрузки N_p на полосу движения на последний год проектного срока службы проведения работ по капитальному ремонту, ед./сут, определяемая по формуле

$$N_p = f_{\text{пол}} \cdot \sum_{m=1}^n N_m \cdot S_{m \text{ сум}}, \quad (7)$$

где N_m — количество автомобилей m -й марки в обоих направлениях на конец проектного срока службы дорожной одежды, ед./сут;

n — общее количество различных марок транспортных средств в составе транспортного потока.

Таблица 4 — Значения коэффициента распределения интенсивности движения $f_{\text{пол}}$ в зависимости от количества полос

Количество полос движения	Коэффициент распределения интенсивности движения для самой нагруженной полосы движения $f_{\text{пол}}$	
	Движение в обоих направлениях	Одностороннее движение
1	1,00	1,00
2	0,55	0,90
3	0,50	0,70
4	0,45	0,70
5	0,40	—
6 и более	0,35	—

Примечание — Допускается назначать коэффициенты распределения интенсивности по данным фактических замеров.

Таблица 5 — Рекомендуемые значения $T_{\text{рдг}}$ в зависимости от номера района по карте

Номер района на карте	Географические границы районов	Рекомендуемое значение $T_{\text{рдг}}$
1	Зона распространения вечномёрзлых грунтов севернее семидесятой параллели	70
2	Севернее линии, соединяющей Онегу, Архангельск, Мезень, Нарьян-Мар, шестидесятый меридиан, до побережья Европейской части	145
3	Севернее линии, соединяющей Смоленск, Калугу, Рязань, Саранск, сорок восьмой меридиан, до линии, соединяющей Онегу, Архангельск, Мезень, Нарьян-Мар	125
4	Севернее линии, соединяющей Белгород, Воронеж, Саратов, Самару, Оренбург, шестидесятый меридиан, до линии районов 2 и 3	135
5	Севернее линии, соединяющей Ростов-на-Дону, Элисту, Астрахань, Белгород, Воронеж, Саратов, Самару	145
6	Южнее линии Ростов-на-Дону, Элиста, Астрахань для Европейской части, южнее сорок шестой параллели — для остальных территорий, полуостровов Крым	205
7	Восточная и Западная Сибирь, Дальний Восток (кроме Хабаровского и Приморского краев, Камчатской области), ограниченные с севера семидесятой параллелью, с юга — государственной границей	130—150 (меньше значения для центральной части)
8	Хабаровский и Приморский края, Камчатская область	140

Примечания
 1 Значения $T_{\text{рдг}}$ на границах районов следует принимать по наибольшему из значений.
 2 Расчетным считается день, в течение которого состояние грунта земляного полотна по влажности обеспечивает возможность накопления остаточной деформации в грунте земляного полотна или малосвязных слоях дорожной одежды.

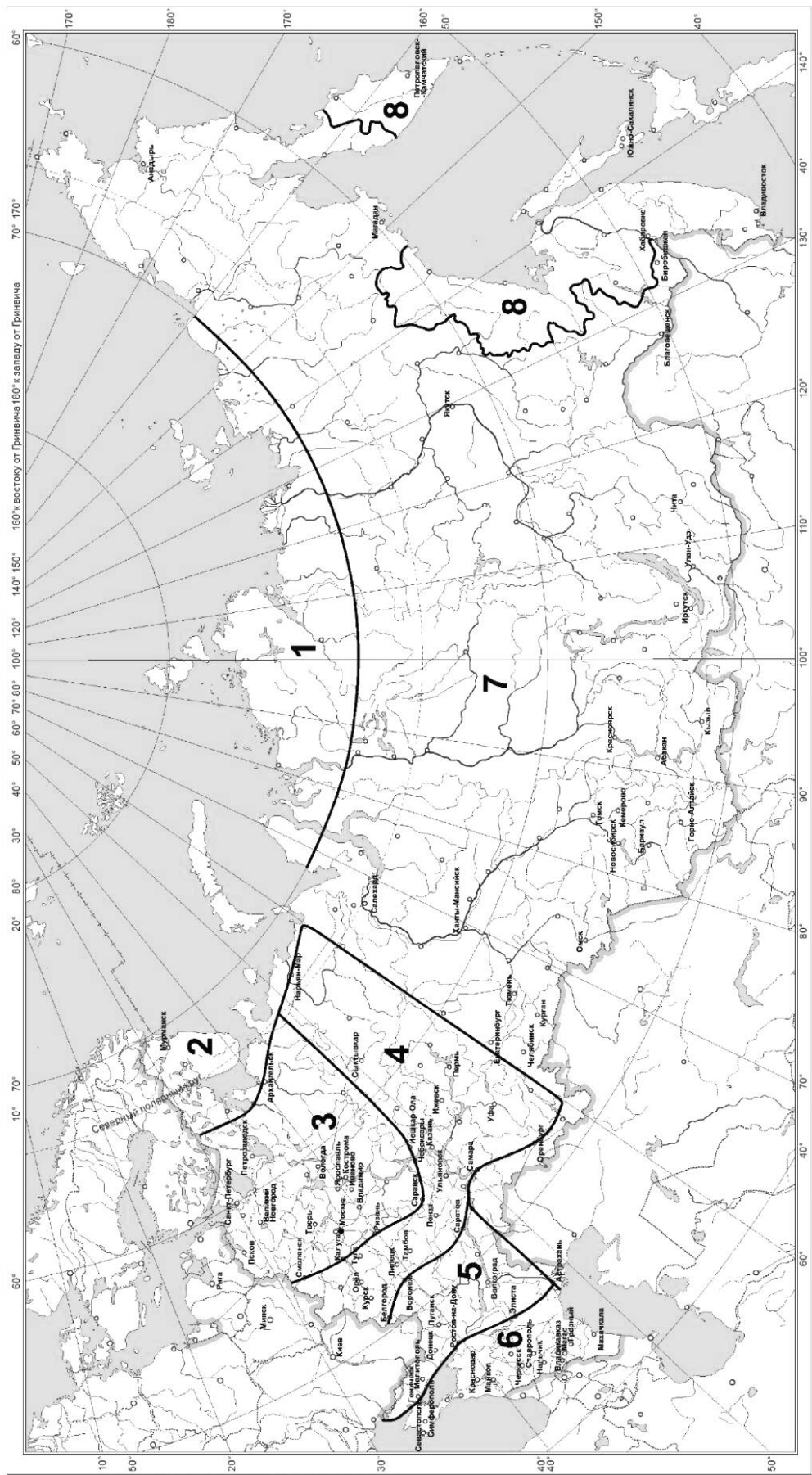


Рисунок 9 — Карта районирования по количеству расчетных дней в году $T_{рдг}$

Таблица 6 — Значение коэффициента k_n

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента k_n для категории дорог		
	I	II	III
Капитальный	1,62	1,49	1,42

7.1.4 Суммарное напряжение растяжения при изгибе определяют по формуле

$$\sigma_{pt} = \sigma_p + \sigma_t \quad (8)$$

где σ_p — напряжение растяжения при изгибе от нагрузки, МПа;

σ_t — напряжение от перепада температуры по толщине плиты, МПа.

7.1.5 Напряжение растяжения при изгибе от нагрузки определяют по формуле

$$\sigma_p = \frac{Q \cdot K_M \cdot 60 \cdot K_{\text{усл}} \cdot K_{\text{шт}}}{h^2} \cdot \left(0,0592 - 0,2137 \cdot \lg \left(\frac{R}{\ell} \right) \right), \quad (9)$$

где Q — расчетная нагрузка на одно колесо, определяемая по 5.8, кН;

K_M — коэффициент, учитывающий влияние места приложения колесной нагрузки, принимаемый равным 1,5 для нагрузки, расположенной на продольном внешнем крае в центре по длине плиты;

$K_{\text{усл}}$ — коэффициент условия работы, учитывающий заданную надежность дорожной одежды, принимаемый равным 0,66;

$K_{\text{шт}}$ — коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит с основанием, принимаемый при наличии в поперечных швах штырей равным 1,0, при отсутствии штырей — 1,05;

h — толщина плиты, см;

R — радиус круга, равновеликого площади отпечатка колеса, см;

ℓ — упругая характеристика плиты, см.

Радиус круга, равновеликого площади отпечатка колеса, определяют по формуле

$$R = \sqrt{\frac{Q}{0,1 \cdot \pi \cdot p}}, \quad (10)$$

где p — давление на покрытие, принимаемое равным 0,8 МПа.

Упругую характеристику плиты определяют по формуле

$$\ell = h \cdot 3 \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu_0^2)}{6 \cdot E_0^3 \cdot (1 - \nu^2)}}, \quad (11)$$

где E — модуль упругости бетона, МПа (см. приложения А—В);

ν — коэффициент поперечной деформации бетона (коэффициент Пуассона), принимаемый равным 0,2;

E_0^3 — общий модуль упругости многослойного основания, МПа;

ν_0 — коэффициент поперечной деформации материала основания (коэффициент Пуассона), принимаемый 0,25.

Общий модуль упругости многослойного основания определяется путем последовательного приведения многослойной системы к двухслойной по формуле

$$E_0^3 = \frac{E_i}{0,71 \cdot 3 \sqrt{\frac{E_{\text{общ}}^{i+1}}{E_i}} \cdot \arctg \left(\frac{1,35 \cdot h_3}{D} \right) + \frac{E_i}{E_{\text{общ}}^{i+1}} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg \left(\frac{D}{h_3} \right)}, \quad (12)$$

где D — диаметр круга, равновеликого площади силового контактирования верхнего слоя с нижележащим, принимается 50 см;

i — номер рассматриваемого слоя дорожной одежды, считая сверху вниз;

- h_i — толщина i -го слоя, см;
 $E_{\text{общ}}^{i+1}$ — общий модуль полупространства, подстилающего i -й слой, МПа;
 E_i — модуль упругости материала i -го слоя, МПа;
 $h_{\text{э}}$ — эквивалентная толщина приведенного слоя, определяемая по формуле

$$h_{\text{э}} = 2 \cdot h_i \cdot \sqrt[3]{\frac{E_i}{6 \cdot E_{\text{общ}}^{i+1}}} \quad (13)$$

7.1.6 Напряжение от перепада температуры по толщине плиты определяется по формуле

$$\sigma_t = \frac{\alpha \cdot \Delta t \cdot E}{2} \cdot K_{\text{усл}}, \quad (14)$$

где α — коэффициент линейного температурного расширения бетона, принимаемый равным $1 \cdot 10^{-5}$, $1/^\circ\text{C}$;
 Δt — величина температурного перепада по толщине плиты покрытия, $^\circ\text{C}$;

Величина температурного перепада по толщине плиты покрытия определяется по формуле

$$\Delta t = A_n \cdot e^{-\frac{h}{100} \sqrt{\frac{\omega}{2a_{tb}}}}, \quad (15)$$

где A_n — расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности цементобетонного покрытия, $^\circ\text{C}$, определяемая в зависимости от района строительства по таблице 7;

ω — угловая частота суточных колебаний температуры, равная 0,26 рад./ч.

a_{tb} — коэффициент температуропроводности цементобетона, принимаемый 0,004 $\text{м}^2/\text{ч}$;

h — толщина плиты, см.

Т а б л и ц а 7 — Расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности покрытия

Субъект Российской Федерации	Величина A_n , $^\circ\text{C}$
Мурманская область. Ненецкий, Ямало-Ненецкий автономные округа	10,5
Санкт-Петербург. Архангельская, Ленинградская, Псковская, Нижегородская, Кировская, Костромская, Ярославская области. Республики: Коми, Карелия. Камчатский край. Чукотский, Ханты-Мансийский (Югра) автономные округа	12,0
Москва. Новгородская, Владимирская, Ивановская, Вологодская, Тверская, Калининградская, Московская, Смоленская, Брянская, Тульская, Ульяновская, Магаданская области. Республики: Марий Эл, Мордовия, Чувашия, Башкортостан. Пермский край	14,0
Калужская, Рязанская, Орловская, Курская, Белгородская, Воронежская, Тамбовская, Липецкая, Пензенская, Саратовская, Свердловская, Челябинская, Томская, области. Республики: Татарстан, Бурятия, Саха (Якутия), Удмуртия; Приморский край, Хабаровский край	14,5
Ростовская, Волгоградская, Астраханская, Оренбургская, Самарская, Курганская, Тюменская, Омская, Новосибирская, Кемеровская, Иркутская, Амурская, Сахалинская, Еврейская автономная области. Республики: Северная Осетия-Алания, Дагестан, Алтай, Калмыкия, Тыва, Хакасия. Забайкальский край, Алтайский край, Красноярский край	15,0
Севастополь. Запорожская, Херсонская области. Республики: Ингушетия, Чечня, Адыгея, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкесия, Крым, Донецкая и Луганская Народные Республики. Краснодарский край, Ставропольский край	15,5

7.1.7 Проектное (требуемое) значение толщины цементобетонного покрытия следует определять методом графического решения уравнения

$$f(h) = \frac{\sigma_{pt} \cdot K_{пр}}{B_{tb} \cdot K_{н.п} \cdot K_F} = K_y. \quad (16)$$

Необходимо построить график функции для нескольких значений h и по нему определить проектную (требуемую) толщину цементобетонного покрытия, соответствующую рассчитанному значению коэффициента усталости K_y по формуле (3). Допускается определение проектной толщины линейной интерполяцией.

7.1.8 Расчет на прочность двухслойного бетонного покрытия, устроенного методом сращивания верхнего слоя с нижним, следует выполнять по методике однослойного варианта с заменой двух слоев бетонного покрытия одним слоем, обладающим суммарной толщиной и средневзвешенным модулем упругости.

Примеры расчетов приведены в приложении Г.

7.2 Расчет асфальтобетонных покрытий на цементобетонном основании

7.2.1 Расчет асфальтобетонных покрытий на цементобетонном основании выполняют в случае капитального ремонта жестких дорожных одежд как вариант сравнения с другими конструктивными решениями по капитальному ремонту.

7.2.2 Толщину слоя асфальтобетонного покрытия с цементобетонным основанием рассчитывают из условия прочности по формуле (1).

7.2.3 Напряжение от растяжения при изгибе и от перепада температуры по толщине плиты определяют по формулам (9) и (14) соответственно. Величину температурного перепада с учетом асфальтобетонного покрытия определяют по формуле

$$\Delta t = A_n \cdot e^{-\frac{h_a}{100} \sqrt{\frac{\omega}{2a_{ta}}}} \left(1 - e^{-\frac{h}{100} \sqrt{\frac{\omega}{2a_{tb}}}} \right), \quad (17)$$

где A_n — расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности асфальтобетонного покрытия, °С, определяемая в зависимости от района строительства по таблице 7;

h_a — толщина слоя или слоев покрытий из асфальтобетона, см;

h — толщина слоя из цементобетонного основания, см;

ω — угловая частота суточных колебаний температуры, равная 0,26 рад./ч;

a_{ta}, a_{tb} — коэффициенты температуропроводности асфальтобетона и цементобетона, принимаемые 0,002 м²/ч и 0,004 м²/ч соответственно.

7.2.4 Толщина слоя асфальтобетонного покрытия определяется с учетом совместной работы между слоями асфальто- и цементобетона.

Вместо толщины плиты в формулу (11) определения упругой характеристики плиты подставляют эквивалентную толщину слоев асфальтобетонного покрытия с цементобетонным основанием

$$h_3 = h + h_a \cdot \sqrt[3]{\frac{E_a}{E}}, \quad (18)$$

где E_a — расчетный модуль упругости слоя асфальтобетона, МПа, принимаемый по приложению В.

При нескольких слоях асфальтобетонного покрытия, устроенного из различных асфальтобетонов, вместо E_a в формулу (18) подставляется их средневзвешенный расчетный модуль упругости, определяемый по формуле

$$E_a^{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{ai} \cdot h_{ai}}{\sum_{i=1}^n h_{ai}}, \quad (19)$$

где E_{ai} — расчетный модуль упругости асфальтобетона i -го слоя при температуре 10 °С, МПа, принимаемый по приложению В;

h_{ai} — толщина i -го слоя асфальтобетона, см.

Радиус отпечатка колеса в формуле (9) увеличивается на общую толщину слоев из асфальтобетона (вместо R следует подставить $R + h_a$)

7.2.5 Толщину слоя покрытия проверяют из условия прочности по формуле (1), отражающей растяжение асфальтобетона в поперечном направлении в призме шириной поверху $2 \cdot R$, понизу $(2 \cdot R + 2 \cdot h_a)$ и высотой h_a :

$$R_0 \cdot K_a \geq \frac{10 \cdot v_a \cdot Q}{h_a \cdot (2 \cdot R + h_a)}, \quad (20)$$

где R_0 — сопротивление асфальтобетона на растяжение при изгибе, МПа, принимаемое по приложению В;

K_a — коэффициент усталости, учитывающий многократное приложение нагрузки в течение суток, определяемый по формуле

$$K_a = 2,38 \cdot (N_p)^{-0,118}, \quad (21)$$

v_a — коэффициент Пуассона для асфальтобетона, принимаемый равным 0,25;

Q — расчетная колесная нагрузка с учетом коэффициента динамичности, равного 1,3, кН;

R — радиус круга, равновеликого площади отпечатка колеса, см, определяемый по формуле (10).

7.2.6 Коэффициент усталости K_a в формуле (21) находят при суточной приведенной интенсивности движения N_p на последний год срока службы асфальтобетонного покрытия, определяемой по формуле (7).

7.3 Расчет сборных покрытий из плит

7.3.1 Расчет дорожных одежд из сборных покрытий выполняется для железобетонных предварительно напряженных плит заводского изготовления ПАГ в соответствии с требованиями ГОСТ 25912 и 1ПДН в соответствии с требованиями ГОСТ Р 56600.

7.3.2 Расчет покрытия из железобетонных предварительно напряженных плит заводского изготовления ПАГ и 1ПДН заключается в назначении и определении толщины слоя основания, при котором будет обеспечено предельное состояние по образованию трещин в обжатом (поперечном) сечении плиты. Расчетное место приложения нагрузки в сборном дорожном покрытии: центр плиты и поперечная краевая зона плиты.

7.3.3 Предельное состояние по образованию трещин в сечении с напрягаемой арматурой при расчете покрытий из плит ПАГ и 1ПДН определяют по формуле

$$\begin{cases} \sigma_{pt}^{(+)} \leq R^{(+)} \cdot K_y \\ \sigma_{pt}^{(-)} \leq R^{(-)} \cdot K_y \end{cases}, \quad (22)$$

где $\sigma_{pt}^{(+)}$ — суммарное нормальное растягивающее напряжение, возникающее в сборном покрытии от положительного изгибающего момента, вызванного колесной нагрузкой, приложенной к центру плиты, и температурного перепада по толщине плиты;

$\sigma_{pt}^{(-)}$ — суммарное нормальное растягивающее напряжение, возникающее в сборном покрытии от отрицательного изгибающего момента, вызванного колесной нагрузкой, приложенной к поперечному краю плиты, и температурного перепада по толщине плиты;

$R^{(+)}$ — предельное значение сопротивления покрытия, соответствующее максимальному положительному моменту трещинообразования обжатого сечения плиты;

$R^{(-)}$ — предельное значение сопротивления покрытия, соответствующее максимальному отрицательному моменту трещинообразования обжатого сечения плиты;

K_y — коэффициент усталости конструкции дорожной одежды при повторном нагружении, определяемый по формуле (3).

7.3.4 Суммарные значения напряжений, вызванных положительными и отрицательными изгибающими моментами и температурой, следует определять по формулам:

$$\sigma_{pt}^{(+)} = K_x \cdot (\sigma_p^{(+)} + \sigma_t), \quad (23)$$

$$\sigma_{pt}^{(-)} = K_{mz} \cdot K_{ш} \cdot (\sigma_p^{(+)} + \sigma_t), \quad (24)$$

где $\sigma_p^{(+)}$ — нормальное растягивающее напряжение, возникающее в сборном покрытии от положительного изгибающего момента, вызванного колесной нагрузкой, приложенной к центру плиты;

σ_t — нормальное напряжение от температурного перепада по толщине плиты;

K_{mz} — коэффициент, учитывающий увеличение отрицательных изгибающих моментов при краевом нагружении плиты за счет возможного наличия зазоров между плитой и основанием, принимается по графикам рисунка 10 в зависимости от общего модуля упругости многослойного основания, рассчитанного путем последовательного приближения многослойной системы к двухслойной по формулам (12) и (13);

$K_{ш}$ — коэффициент, учитывающий влияние стыковых соединений в поперечных швах сборных покрытий, принимаемый равным 1,10;

K_x — коэффициент, учитывающий ортотропность одноосно обжатой плиты ПАГ или 1ПДН, принимаемый 1,38 для ПАГ-14, ПАГ-18, 1ПДН-14, 1ПДН-18 и 1,29 для ПАГ-20.

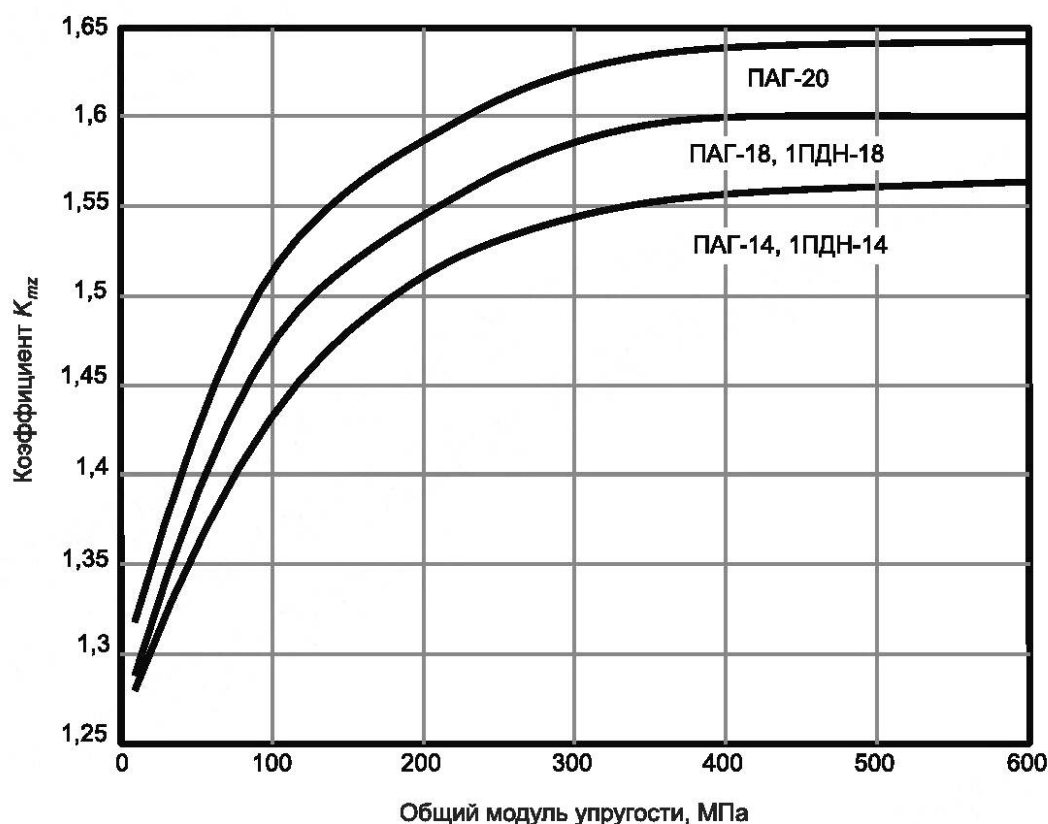


Рисунок 10 — Зависимость коэффициента, учитывающего увеличение отрицательных изгибающих моментов, от общего модуля упругости

7.3.5 Температурное напряжение определяют по формуле (14) с учетом толщины принятого типа плиты (ПАГ-14, 1ПДН-14, ПАГ-18, 1ПДН-18 или ПАГ-20).

7.3.6 Напряжение от нагрузки $\sigma_p^{(+)}$ определяют по формуле

$$\sigma_p^{(+)} = \frac{Q \cdot 60 \cdot K_{усл} \cdot K_{шт}}{h^2} \cdot \left(0,0592 - 0,2137 \cdot \lg \left(\frac{R}{\ell} \right) \right). \quad (25)$$

7.3.7 Предельные значения сопротивления покрытия, соответствующие максимальному положительному $R^{(+)}$ и отрицательному $R^{(-)}$ моменту, определяют по формулам:

$$R^{(+)} = \gamma_c \cdot K_F \cdot 60 \cdot \left(\frac{R_{tb,ser} \cdot \frac{h^2}{60} + m_r}{h^2} \right), \quad (26)$$

$$R^{(-)} = R^{(+)} \cdot k', \quad (27)$$

где K_F — коэффициент, учитывающий воздействие циклов замораживания и оттаивания, принимаемый равным 0,95;
 γ_c — коэффициент условий работы ортотропной железобетонной плиты ПАГ и 1ПДН, принимаемый равным 1,95;
 $R_{tb,ser}$ — расчетное эксплуатационное сопротивление растяжению при изгибе при расчете по образованию трещин, принимаемое равным классу бетона по прочности на растяжение при изгибе для плит;
 m_r — момент равнодействующей усилий обжатия в нижней и верхней напрягаемой арматуре относительно оси, проходящей через наиболее удаленную от растянутой зоны точку ядра сечения (момент ядра сечения), принимаемый на 1 м ширины сечения: 5,32 кН·м для ПАГ-14 и 1ПДН-14; 9,40 кН·м для ПАГ-18 и 1ПДН-18 и 11,25 кН·м для ПАГ-20;
 k' — коэффициент, учитывающий увеличение отрицательных изгибающих моментов вследствие веса и особенностей работы плиты при краевом нагружении плиты, принимаемый 1,24 для ПАГ-14 и 1ПДН-14; 1,26 для ПАГ-18 и 1ПДН-18; 1,32 для ПАГ-20.

7.3.8 Проектное (требуемое) значение толщины основания под плитой ПАГ или 1ПДН h_f следует определять методом графического решения уравнений:

$$f_1(h_f) = \frac{\sigma_{pt}^{(+)}(h_f)}{R^{(+)}} = K_y, \quad (28)$$

$$f_2(h_f) = \frac{\sigma_{pt}^{(-)}(h_f)}{R^{(-)}} = K_y. \quad (29)$$

Необходимо построить график функции для нескольких значений h_f и по нему определить проектную (требуемую) толщину основания, максимальную из (28) и (29), соответствующую рассчитанному значению коэффициента усталости. Допускается определение требуемой толщины методом линейной интерполяции.

Примеры расчетов приведены в приложении Д.

7.4 Расчет монолитных железобетонных дорожных одежд

7.4.1 Расчет на прочность монолитного железобетонного покрытия проводят путем проверки прочности покрытия по формуле

$$\begin{cases} K_{пр}^{тр} \leq \frac{m_{и}}{m}, \\ a_{срс} \leq 0,3 \end{cases} \quad (30)$$

где $K_{пр}^{тр}$ — требуемый коэффициент прочности, определяемый в зависимости от уровня надежности по таблице 3;

$m_{и}$ — предельное значение изгибающего момента в плите железобетонного покрытия на 1 метр ширины сечения, кН·м;

m — значение изгибающего момента от колесной нагрузки и температуры в плите железобетонного покрытия на 1 м ширины сечения, кН·м;

$a_{срс}$ — ширина раскрытия трещин в расчетном сечении плиты, мм.

При выполнении проверки прочности железобетонного покрытия по формуле (30) величину предельного значения изгибающего момента $m_{и}$ следует определять в соответствии с расчетной схемой рисунка 11 с учетом работы арматуры в растянутой зоне железобетонной плиты по формуле

$$m_{и} = F_s \cdot R_s \cdot K_y \cdot K_F \cdot \left(h_0 - \frac{x}{3} \right) \cdot 1000, \quad (31)$$

где F_s — площадь сечения растянутой арматуры на 1 м ширины сечения плиты, м^2 ;
 R_s — расчетное сопротивление арматуры растяжению, МПа;
 h_0 — рабочая высота сечения (расстояние от сжатой грани сечения до центра тяжести растянутой арматуры), м, определяемая по формуле

$$h_0 = h - a_0 - \frac{d}{2}, \quad (32)$$

где d — номинальный диаметр арматурных стержней, м;
 a_0 — толщина защитного слоя, м;
 h — толщина плиты покрытия из монолитного железобетона, м;
 x — высота сжатой зоны бетона в сечении плиты, м, определяемая по формуле

$$x = \left(-\theta_0 + \sqrt{\theta_0^2 + 2\theta_0} \right) \cdot h_0, \quad (33)$$

θ_0 — безразмерный параметр, определяемый по формуле

$$\theta_0 = \frac{E_s}{E_b} \cdot \frac{\psi_c}{\psi_b} \cdot \mu, \quad (34)$$

где E_s — модуль упругости арматуры, МПа;
 E_b — модуль упругости бетона плиты покрытия, МПа;
 ψ_b — коэффициент, учитывающий работу бетона между трещинами в растянутой зоне и принимаемый при расчете по прочности 0,2, а по ширине раскрытия трещин — 1,0;
 ψ_c — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций крайнего волокна сжатой зоны сечения плиты на участке между трещинами, принимаемый по таблице 8 в зависимости от отношения шага арматуры l_s , параллельной рассматриваемому сечению, к толщине плиты;
 μ — коэффициент армирования, определяемый по формуле

$$\mu = \frac{F_s}{h_0}. \quad (35)$$

Таблица 8 — Значение коэффициента ψ_c

$\frac{l_s}{h}$	0,5 и менее	0,75	1	1,25	1,5 и более
ψ_c	0,79	0,67	0,59	0,53	0,48

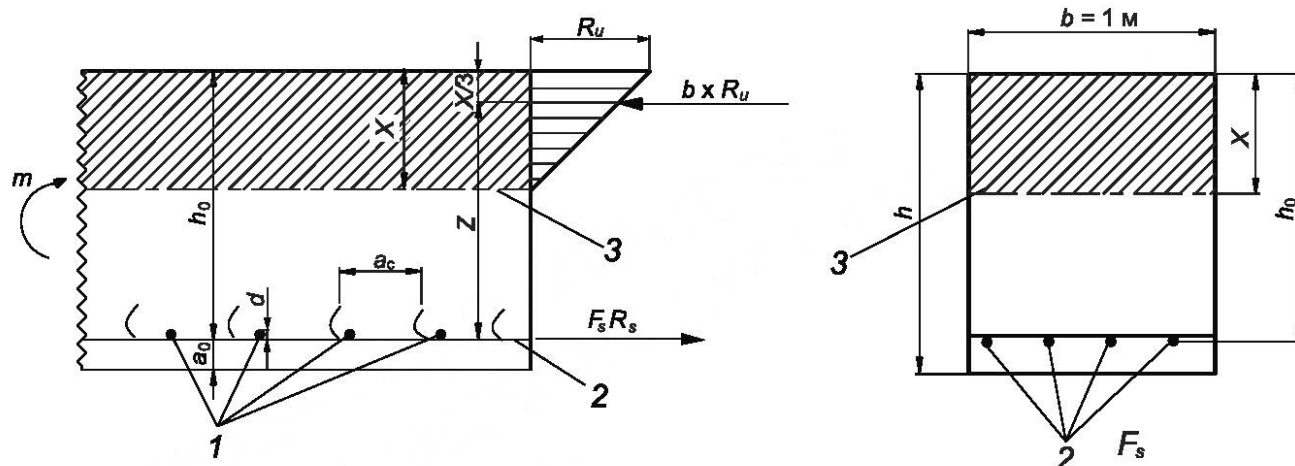
Значение величины шага арматуры l_s (м), параллельной рассматриваемому сечению, рекомендуется устанавливать по формуле

$$l_s = \frac{1}{n-1}, \quad (36)$$

где n — количество стержней растянутой арматуры на 1 м ширины сечения плиты, рассчитанное как отношение площади арматуры, приходящейся на 1 м ширины сечения плиты, к площади одного стержня по формуле

$$n = \frac{4 \cdot \mu_a \cdot h_0}{100 \cdot \pi \cdot d^2}, \quad (37)$$

где μ_a — процент армирования, принимаемый в пределах от 0,3 % до 0,4 %.



1 — стержни поперечной арматуры нижней сетки каркаса; 2 — стержни продольной арматуры нижней сетки каркаса; 3 — нейтральная ось; R_u — максимальное напряжение в сжатой зоне бетона; X — высота сжатой зоны бетона; b — ширина сечения железобетонной плиты; h — толщина железобетонной плиты; h_0 — рабочая высота сечения; F_s — площадь растянутой арматуры на ширину сечения b ; R_s — расчетное сопротивление арматуры растяжению; d — номинальный диаметр арматурного стержня; a_0 — толщина защитного слоя; a_c — теоретическое расстояние между трещинами; m — изгибающий момент от колесной нагрузки и температуры в железобетонной плите на 1 м ширины сечения; Z — плечо пары сил, вызывающих момент

Рисунок 11 — Расчетная схема определения моментов в сечении плиты

Величину изгибающего момента (кН·м) от колесной нагрузки и температуры в железобетонной плите на 1 м ширины сечения следует определять по формуле

$$m = \frac{\sigma_{pt} \cdot h^2}{60 \cdot \gamma}, \quad (38)$$

где σ_{pt} — суммарное напряжение в сечении плиты железобетонного покрытия, вызванное колесной нагрузкой и температурой, определяемое согласно 7.1.4 при значении коэффициента $K_M = 1,15$; γ — коэффициент пластичности, принимаемый равным для прямоугольного сечения плиты 1,3.

7.4.2 Проектное (требуемое) значение толщины железобетонного покрытия следует определять методом графического решения уравнения

$$f(h) = \frac{m \cdot K_{np}}{m_{\text{н}}} = K_y. \quad (39)$$

Необходимо построить график функции для нескольких значений h и по нему определить проектную (требуемую) толщину железобетонного покрытия, соответствующую рассчитанному значению коэффициента усталости K_y по формуле (3). Допускается определение проектной толщины по линейной интерполяции.

7.4.3 Ширину раскрытия трещин в расчетном сечении железобетонной плиты определяют по формуле

$$a_{crc} = 1000 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot a_c, \quad (40)$$

где σ_s — величина напряжения в растянутой арматуре, МПа, рассчитанная по формуле

$$\sigma_s = \frac{m}{F_s \cdot \left(h_0 - \frac{x}{3}\right)}, \quad (41)$$

m и x — соответственно величины момента и сжатой зоны, рассчитанные при значении коэффициента $\psi_b = 1,0$;

a_c — теоретическое расстояние между трещинами, определяемое по формуле

$$a_c = k_c \cdot \frac{d}{4} \cdot \frac{E_s}{E_b} \cdot \eta_1, \quad (42)$$

η_1 — коэффициент, принимаемый для стержневой арматуры периодического профиля — 0,7; для сварных сеток из холоднодеформируемой проволоки — 1,25;

k_c — коэффициент, рассчитываемый по формуле при значении коэффициента $\psi_b = 1,0$:

$$k_c = \frac{h^2 \cdot E_b}{3,5 \cdot F_s \cdot \left(h_0 - \frac{x}{3}\right) \cdot E_s} - 2. \quad (43)$$

Расчет ширины раскрытия трещины следует проводить для варианта, принятого в соответствии с 7.4.2. Пример расчета приведен в приложении Е.

7.5 Расчет конструкции дорожной одежды по условию сдвигоустойчивости грунта рабочего слоя земляного полотна и конструктивных слоев из малосвязных материалов

7.5.1 Дорожную одежду проектируют с таким расчетом, чтобы под действием кратковременных или длительных нагрузок в грунте рабочего слоя и конструктивных слоях из малосвязных материалов за весь срок службы не накапливались недопустимые остаточные деформации. Проверку выполняют для расчетного периода. При расчете дорожной одежды по условию сдвигоустойчивости необходимо учитывать снижение несущей способности слоев жесткой дорожной одежды в зоне деформационных швов. Данный учет рекомендуется выполнять введением понижающего коэффициента, равного 0,05 для модулей упругости слоев жестких покрытий, бетонных оснований и оснований, укрепляемых минеральным вяжущим.

7.5.2 Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в конструктивных слоях из малосвязных материалов обеспечено условие:

$$T \leq \frac{T_{\text{пр}}}{K_{\text{пр}}}, \quad (44)$$

где T — активное напряжение сдвига от действующей кратковременной или длительной нагрузки, МПа;

$T_{\text{пр}}$ — предельное напряжение сдвига, превышение которого вызывает нарушение прочности на сдвиг, МПа;

$K_{\text{пр}}$ — требуемый коэффициент прочности.

7.5.3 Предельное напряжение сдвига $T_{\text{пр}}$ в грунте рабочего слоя и в малосвязных материалах вычисляют по формуле

$$T_{\text{пр}} = k_d \cdot (c_N + 0,001 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z \cdot \text{tg} \varphi_N), \quad (45)$$

где k_d — коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе слоев основания и грунта рабочего слоя или слоя из песка;

c_N — удельное сцепление в грунте рабочего слоя земляного полотна (или в слое малосвязных материалов), принимаемое с учетом расчетной влажности и повторности нагрузки, МПа, в соответствии с таблицами Б.5 и Б.7;

$\gamma_{\text{ср}}$ — средневзвешенная объемная плотность конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кН/м³, рассчитываемая по формуле

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (46)$$

где γ_i — объемная плотность материала i -го слоя, кН/м³, определяемая по таблице Б.5;

h_i — толщина i -го слоя, см;

n — количество слоев, расположенных выше проверяемого слоя;

z — глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, м;

φ_N — угол внутреннего трения в грунте рабочего слоя земляного полотна или в слое малосвязных материалов, град.

При расчете на сдвиг грунта рабочего слоя, в случае если нижний слой основания из каменных материалов укладывают непосредственно на грунт рабочего слоя (без дополнительного слоя основания из песка), коэффициент k_d принимают равным:

- нижний слой основания из укрепленных материалов, глинистый грунт (связный) $k_d = 1,0$;
- нижний слой основания из укрепленных материалов, грунт песчаный (несвязный): $k_d = 4,5$ — для крупного, очень крупного, повышенной крупности и гравелистого песка, $k_d = 4,0$ — для среднего песка, $k_d = 3,0$ — для мелкого песка и легкой крупной песчанистой супеси;
- нижний слой основания из неукрепленных каменных материалов, глинистый грунт (связный) $k_d = 1,0$;
- нижний слой основания из неукрепленных материалов, песчаный грунт (несвязный) и легкая крупная песчанистая супесь $k_d = 2,0$.

При расчете на сдвиг грунта рабочего слоя, в случае если конструкция дорожной одежды содержит дополнительный слой основания из песка, коэффициент k_d принимают равным:

- глинистый грунт (связный) $k_d = 1,0$;
- песчаный грунт (несвязный) и легкая крупная песчанистая супесь $k_d = 2,0$.

При расчете на сдвиг дополнительного слоя из песка или песчано-гравийных смесей коэффициент k_d принимают равным:

- нижний слой основания из укрепленных материалов, крупный, очень крупный, повышенной крупности и гравелистый песок, а также песчано-гравийные смеси $k_d = 4,5$, песок средний $k_d = 4,0$, песок мелкий $k_d = 3,0$;
- нижний слой основания из неукрепленных материалов $k_d = 2,0$.

7.5.4 Активные напряжения сдвига определяют на основании решения теории упругости для двухслойного полупространства при наличии сцепления между слоями. Для практических расчетов используют номограммы, представленные на рисунках Е.3—Е.50 ГОСТ Р 71404—2024. Номограммы составлены для разных значений угла внутреннего трения, которое принимается с учетом повторности действия нагрузки $\sum N_p$, в соответствии с таблицами Б.5 и Б.7. При значениях угла внутреннего трения, отличного от указанных на рисунках Е.3—Е.50 ГОСТ Р 71404—2024, активные напряжения сдвига от единичной нагрузки определяют путем интерполяции.

Действующие активные напряжения сдвига T вычисляют по формуле

$$T = \bar{\tau}_h \cdot p, \quad (47)$$

где $\bar{\tau}_h$ — удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки, определяемое по номограммам приложения Е ГОСТ Р 71404—2024;

p — расчетное давление колеса на покрытие МПа.

7.5.5 В расчетный период года наихудшие условия работы грунта и конструктивных слоев из малосвязных материалов на сдвиг имеют место при наибольших положительных температурах слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее. Поэтому при расчете дорожных одежд по условию сдвигоустойчивости значения модуля упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, должны соответствовать температурам: в I и II ДКЗ — 20 °С, в III ДКЗ — 30 °С, в IV ДКЗ — 40 °С, в V ДКЗ — 50 °С (см. таблицу В.4).

7.5.6 При практических расчетах по условию сдвигоустойчивости многослойную дорожную одежду приводят к двухслойной расчетной модели.

При расчете дорожной конструкции на прочность по условию сдвигоустойчивости грунта рабочего слоя земляного полотна в качестве нижнего полубесконечного слоя модели принимают грунт с его характеристиками, а в качестве верхнего слоя — всю дорожную одежду в соответствии с рисунком 12.

Толщину верхнего слоя двухслойной модели h_B принимают равной сумме толщин слоев одежды по формуле

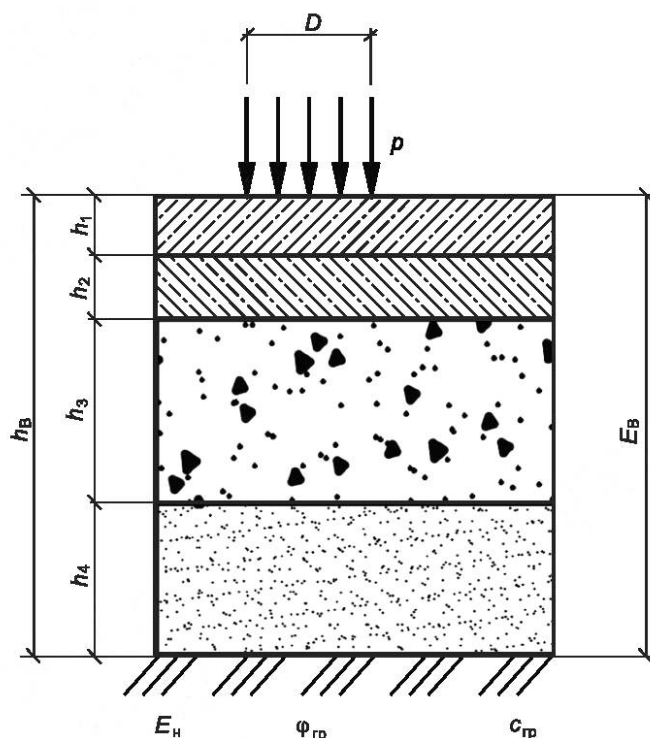
$$h_B = \sum_{i=1}^n h_i, \quad (48)$$

где h_i — толщина i -го слоя, см.

Модуль упругости верхнего слоя двухслойной модели вычисляют как средневзвешенный E_B по формуле

$$E_B = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (49)$$

где E_i — расчетный модуль упругости материала i -го слоя, МПа;



h_B — верхний слой конечной толщины; E_B — модуль упругости верхнего слоя; E_H — модуль упругости упругого полупространства, не ограниченного снизу (нижнего слоя); $\varphi_{гр}$ — угол внутреннего трения; $c_{гр}$ — удельное сцепление

Рисунок 12 — Расчетная схема двухслойной системы для расчета активного напряжения сдвига в нижнем слое

7.5.7 При расчете по условию сдвигоустойчивости дополнительного слоя основания из малосвязных материалов нижний слой двухслойной модели имеет параметры: удельное сцепление c_N и угол внутреннего трения φ_N , принятые для рассчитываемого слоя дорожной одежды из малосвязного материала. Толщину верхнего слоя h_B и модуль упругости верхнего слоя E_B двухслойной модели вычисляют по формулам (48) и (49) без учета слоя дорожной одежды, рассчитываемого на сдвиг.

Общий модуль упругости нижнего слоя E_H двухслойной модели на уровне верха рассчитываемого слоя основания из малосвязного материала на сдвиг определяют по номограммам, представленным на рисунках Е.1 и Е.2 ГОСТ Р 71404—2024.

7.5.8 Расчет дорожной одежды на кратковременные нагрузки по сдвигоустойчивости грунта рабочего слоя земляного полотна, а также слоев дорожной одежды из малосвязных материалов проводят в следующей последовательности:

- назначают расчетные прочностные характеристики: угол внутреннего трения φ_N и удельное сцепление c_N грунта земляного полотна в соответствии с таблицей Б.5 и малосвязных материалов в соответствии с таблицей Б.7;
- модули упругости грунта и материалов конструктивных слоев основания, за исключением асфальтобетона, принимают те же, что в расчете по допускаемому упругому прогибу;
- назначают расчетные модули упругости для слоев из асфальтобетона, соответствующие расчетным температурам в весенний период по таблице В.4, согласно 7.5.5;
- определяют средневзвешенный модуль упругости слоев дорожной одежды (верхнего слоя двухслойной модели) E_B по формуле (49);

- по рисункам Е.3—Е.50 ГОСТ Р 71404—2024 по отношениям h_b/D , E_b/E_n и при известном угле внутреннего трения нижнего слоя φ_n находят активные напряжения сдвига $\bar{\tau}_n$ от единичной временной нагрузки;

- по формуле (47) вычисляют активное напряжение сдвига T в грунте земляного полотна или в песчаном слое одежды;

- по формуле (45) рассчитывают предельное напряжение сдвига $T_{пр}$;

- по формуле (44) проверяют выполнение условия прочности.

Если условие прочности не обеспечено, возможны следующие решения:

- увеличивают толщину одного или нескольких вышележащих слоев;

- заменяют материал одного или нескольких вышележащих слоев более жестким материалом, имеющим более высокий модуль упругости;

- заменяют или укрепляют верхнюю часть грунта рабочего слоя с целью повышения его сдвигоустойчивости;

- применяют геосинтетические материалы, эффективность применения которых должна быть подтверждена соответствующими расчетами.

Расчет на длительную (статическую) нагрузку по сдвигоустойчивости в грунте земляного полотна и конструктивных слоях из малосвязных материалов является:

а) основным:

1) для стоянок автомобилей на парковках, площадках отдыха и т.п.;

2) тротуаров, пешеходных улиц и площадей;

б) дополнительным:

1) для остановочных полос на обочинах автомобильных дорог категории I и укрепленной части обочин на дорогах категорий II—IV;

2) остановок общественного транспорта;

3) регулируемых перекрестков автомобильных дорог между собой;

4) регулируемых пересечений в одном уровне с железнодорожными путями;

5) пунктов взимания платы на платных автомобильных дорогах и т.п.

Расчет на длительную нагрузку выполняют в следующей последовательности:

- назначают расчетные прочностные характеристики: угол внутреннего трения $\varphi_{ст}$ и удельное сцепление грунта земляного полотна $c_{ст}$ и малосвязных материалов $\sum N_p = 1$ по таблицам Б.5 и Б.7 соответственно;

- модули упругости грунта и материалов конструктивных слоев основания, за исключением асфальтобетона, принимают те же, что в расчете по упругому допускаемому прогибу;

- по таблице В.4 назначают расчетные модули упругости для слоев из асфальтобетона, соответствующие расчетным температурам в весенний период согласно 7.5.5;

- определяют средневзвешенный модуль упругости слоев дорожной одежды (верхнего слоя двухслойной модели) E_b по формуле (49);

- по рисункам Е.3—Е.50 ГОСТ Р 71404—2024 определяют активные напряжения сдвига $\bar{\tau}_n$ от единичной временной нагрузки при значении угла внутреннего трения $\varphi_{ст}$ грунта или малосвязных слоев, соответствующем длительной нагрузке ($\sum N_p = 1$);

- по формуле (47) вычисляют активное напряжение сдвига T в грунте земляного полотна или в малосвязных материалах;

- по формуле (45) рассчитывают предельное напряжение сдвига $T_{пр}$ при значении удельного сцепления $c_{ст}$ соответствующем длительной нагрузке ($\sum N_p = 1$);

- по формуле (44) проверяют выполнение условия прочности.

Если условие прочности не обеспечено, вносят коррективы в конструкцию дорожной одежды.

Примеры расчетов приведены в приложениях Ж и И.

7.6 Проверка дорожной конструкции на морозоустойчивость

Расчет дорожной конструкции на морозоустойчивость выполняют согласно ГОСТ Р 71404—2024 (раздел 10).

Допустимую величину морозного пучения и расчетное значение пучения на поверхности покрытия назначают согласно ГОСТ Р 59120—2021 (пункты 7.3.1 и 7.3.3).

7.7 Осушение дорожных одежд и грунта земляного полотна

7.7.1 На участках земляного полотна из связных грунтов и пылеватых песков предусматривают дренажные слои с водоотводящими устройствами в основаниях и дополнительных слоях, выполненных

из традиционных зернистых (пористых) материалов в сочетании с нетканым геотекстилем в качестве разделяющей прослойки между грунтом земляного полотна и дорожной одеждой, в следующих случаях:

- в ДКЗ II — для всех расчетных схем увлажнения грунта рабочего слоя;
- в ДКЗ III — для второй и третьей расчетных схем увлажнения грунта рабочего слоя;
- в ДКЗ IV и V — для третьей расчетной схемы увлажнения грунта рабочего слоя;
- если рабочий слой земляного полотна сложен из пылеватых песков, непывеватых песков с коэффициентом фильтрации K_{ϕ} менее 0,5 м/сут, глинистых грунтов.

Рекомендуется выполнять расчет на осушение для ДКЗ III при первой расчетной схеме увлажнения при рабочем слое земляного полотна, сложенном из пылеватых разновидностей грунтов.

7.7.2 Возможны следующие конструктивные решения устройства дренирующего слоя на автомобильных дорогах:

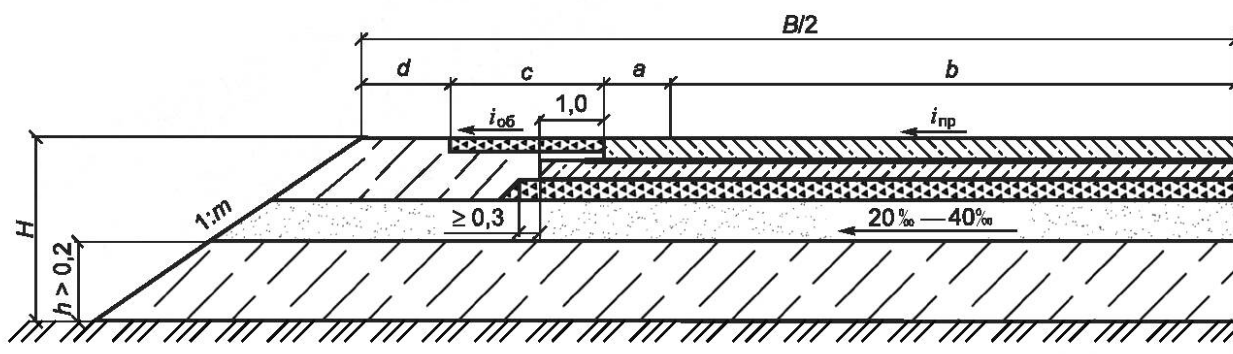
- дренирующий слой отсыпается на всю ширину земляного полотна с поперечными уклонами от 20 ‰ до 40 ‰, обеспечивающими сток воды на откосы, см. рисунок 13 а);
- отвод воды осуществляется с помощью продольных геодрен и поперечных выпусков на расстоянии от 50 до 80 м друг от друга в зависимости от продольных уклонов на дороге, см. рисунок 13 б);
- дренирующий слой отсыпается на ширину проезжей части и краевых полос без водоотводящих устройств, см. рисунок 13 в).

Расстояние h от низа дренирующего слоя или от низа труб-дрен на откосе до поверхности земли при типе 1 местности по характеру и степени увлажнения, уровня кратковременно стоящих поверхностных вод (до 30 сут) при типе 2 местности и длительно стоящих поверхностных вод (более 30 сут) или грунтовых вод при типе 3 местности принимают равным более 0,20 м. Полученная общая высота земляного полотна H должна быть увязана с руководящей отметкой — рекомендуемой величиной возвышения поверхности покрытия в разных ДКЗ в соответствии с таблицей 9 ГОСТ Р 71404—2024.

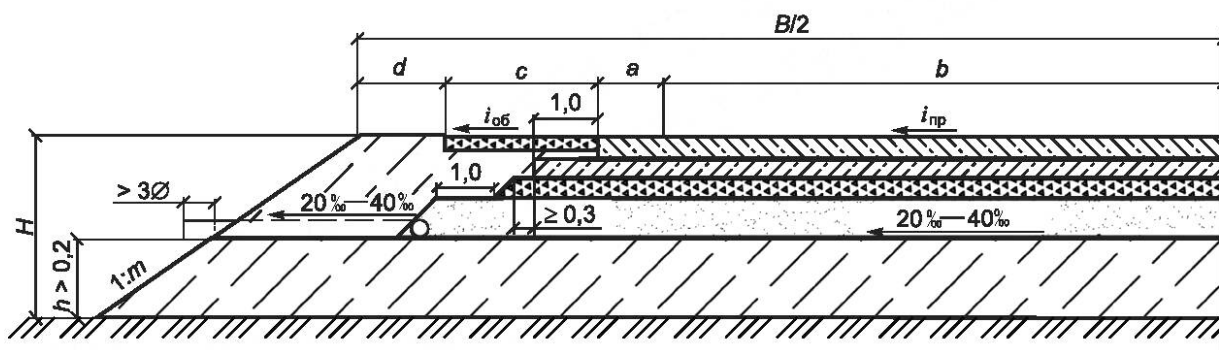
В городских условиях, как правило, применяют конструкцию дренажа с трапецидальным ровиком, см. рисунок 14.

В рассмотренных конструкциях возможно применение геосинтетических дренирующих материалов, в том числе композиционных.

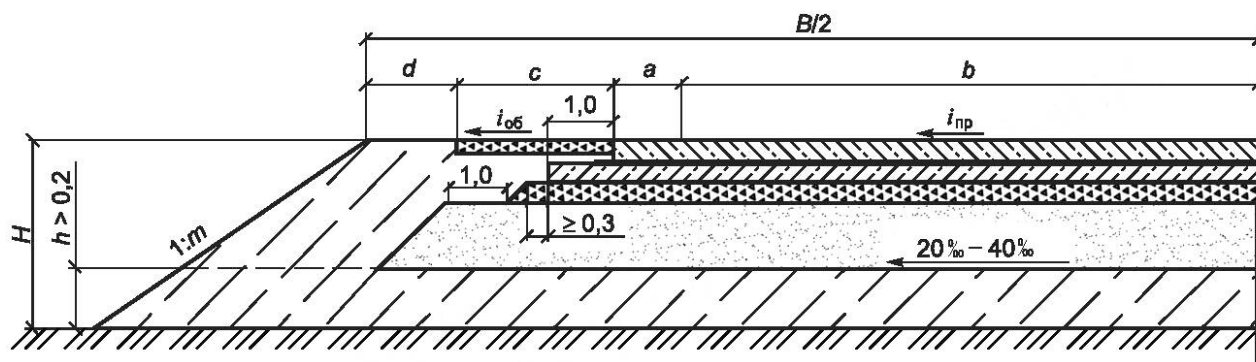
Выбор каждого конкретного мероприятия по осушению дорожной конструкции проводят на основе технико-экономического сравнения вариантов.



а) Устройство дренирующего слоя на всю ширину земляного полотна



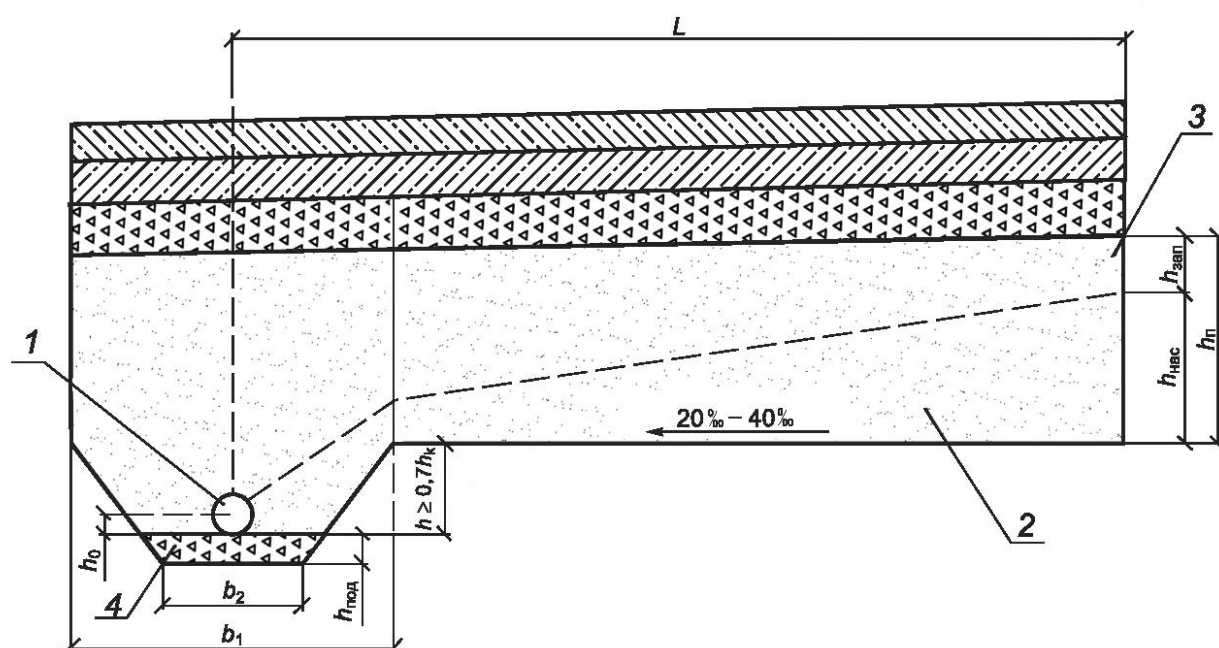
б) Устройство дренирующего слоя на ширину проезжей части и краевых полос с отводом воды по дренажным трубам



в) Устройство дренажного слоя на ширину проезжей части и краевых полос без устройства водоотводных устройств

B — ширина земляного полотна; H — высота насыпи; h — возвышение низа дренажного слоя или труб-дрен над поверхностью земли или уровнем воды; a — краевая полоса обочины; b — полоса движения; c — укрепленная часть обочины; d — часть обочины, укрепленная засевом трав, одерновкой; $i_{пр}$ — уклон проезжей части; $i_{об}$ — уклон обочины

Рисунок 13 — Конструктивные решения дренарования дорожной одежды



1 — дренажная труба; 2 — зона движения свободной воды; 3 — зона движения капиллярной воды; 4 — щебеночная (песчаная) подготовка под дренажную трубу; L — длина пути фильтрации; b_1 — ширина ровика сверху; b_2 — ширина ровика понизу; h_0 — уровень воды в трубе-дрене; $h_{под}$ — толщина слоя щебеночной подготовки под дренажную трубу; h — глубина ровика от низа трубы-дрены; h_k — высота капиллярного поднятия воды в песчаном слое; $h_{нас}$ — толщина слоя, полностью насыщенного водой; $h_{зап}$ — дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала; h_p — полная толщина дренажного слоя

Рисунок 14 — Конструкция дренажа с ровиком

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

Значительному уменьшению притока поверхностной воды к земляному полотну могут также способствовать монолитные слои дорожной одежды из материалов (грунтов), укрепленных вяжущими.

Проектирование мероприятий по осушению дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна осуществляют в следующей последовательности:

- дорогу разделяют на однотипные участки по грунтово-гидрологическим условиям с учетом особенностей конструкции земляного полотна и конструктивного решения по дренированию;
- для однотипных участков определяют количество воды, поступающей в основание за сутки и за расчетный период, предусматривая меры по ограничению притока воды в дорожную конструкцию;
- намечают варианты дренажных конструкций;
- обосновывают расчетом толщину дренирующего слоя для данных условий или определяют минимально требуемый коэффициент фильтрации для дренирующего материала.

7.7.4 В зависимости от конкретных условий дренажную конструкцию автомобильной дороги рассчитывают на работу:

- по принципу осушения;
- по принципу поглощения.

Дренирующий слой, работающий по принципу осушения, необходимо устраивать из песков и др. пористых материалов с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут, по принципу поглощения — не менее 1 м/сут.

7.7.5 Общий приток воды в весеннее время года на 1 м² проезжей части Q и средний приток воды на 1 м² проезжей части в сутки q определяют по таблице 9.

Т а б л и ц а 9 — Объем воды, поступающей в основание дорожной одежды

ДКЗ	Схема увлажнения рабочего слоя	Объем воды, поступающей в основание дорожной одежды из грунта Q/q , для грунта			
		легкой песчанистой супеси, очень тонкого и пылеватого песка с $K_{\phi} < 0,5$	легкого песчанистого и тяжелого песчанистого суглинка, глины	легкого пылеватого и тяжелого пылеватого суглинка	пылеватой и тяжелой пылеватой супеси
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
IV и V	3	20/2	20/2	30/2,5	40/3

Примечания

1 В числителе приведен объем воды Q (л/м²), поступающей в основание дорожной одежды за весь расчетный период, в знаменателе — средний приток воды за сутки q , л/(м² · сут).

2 Для насыпей, возведенных из непылеватых грунтов, высотой более требуемой (см. таблицу 9 ГОСТ Р 71404—2024) в ДКЗ II принимают средний приток воды на 1 м² проезжей части в сутки q , равный 1,5 л/(м² · сут).

3 При наличии разделительной полосы для участков, проходящих в нулевых отметках, насыпей высотой менее требуемой (см. таблицу 9 ГОСТ Р 71404—2024) в ДКЗ II, расчетные значения среднего притока воды на 1 м² проезжей части в сутки q повышают на 20 %.

7.7.6 Для дренирующего слоя, работающего по принципу осушения, расчетный объем притока воды за сутки в дренирующий слой q_p , м³/м², проезжей части, вычисляют по формуле

$$q_p = \frac{q \cdot K_{\Pi} \cdot K_{\Gamma} \cdot K_{\text{вог}} \cdot K_p}{1000}, \quad (50)$$

где q — средний объем притока воды в сутки, л/м² проезжей части, принимаемый по таблице 9;

K_{Π} — коэффициент «пик», учитывающий неустановившийся режим поступления воды из-за неравномерного оттаивания и выпадения атмосферных осадков, принимаемый по таблице 10;

K_{Γ} — коэффициент гидрологического запаса, учитывающий снижение фильтрационной способности дренирующего слоя в процессе эксплуатации дороги, принимаемый по таблице 10;

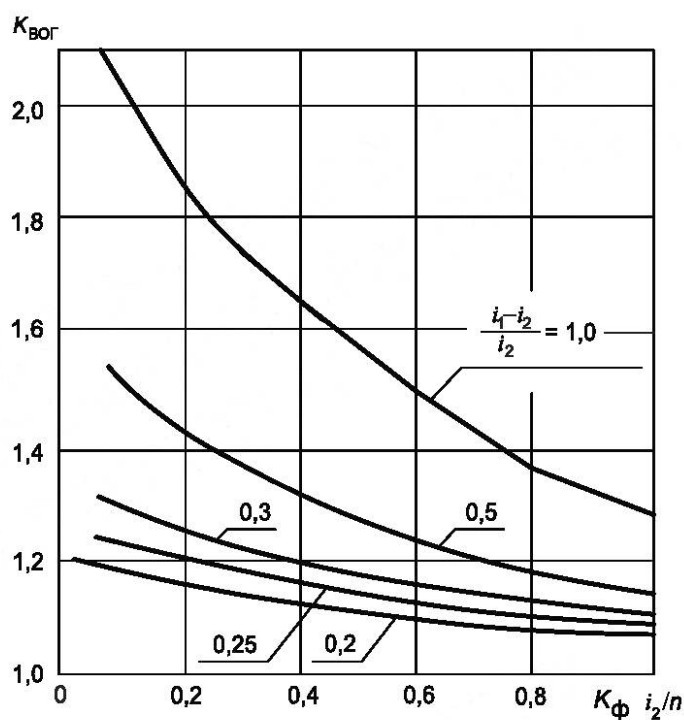
$K_{\text{вог}}$ — коэффициент, учитывающий накопление воды в местах изменения продольного уклона, принимаемый по номограмме рисунка 15;

K_p — коэффициент, учитывающий снижение притока воды при принятии специальных мер по регулированию водно-теплового режима, принимаемый по таблице 11.

Таблица 10 — Значения коэффициента «пик» K_n и коэффициента гидрологического запаса K_r

ДКЗ	Расчетная схема увлажнения	K_n для грунтов		K_r 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 $K_r = 1,0$.
 2 В числителе указаны значения K_r для дорог категорий I и II, в знаменателе — категорий III и IV.



i_1 и i_2 — продольные уклоны выше и ниже перелома продольного профиля; $K_ф$ — коэффициент фильтрации, м/сут; n — пористость дренирующего слоя в долях единицы (значения уклонов принимают по абсолютной величине)

Рисунок 15 — Номограмма для определения коэффициента $K_{вог}$ учитывающего накопление воды в местах изменения вогнутого профиля

Таблица 11 — Значения коэффициента K_p , учитывающего снижение притока воды в дренирующий слой

Мероприятие	Расчетная схема увлажнения	K_p для грунта рабочего слоя		
		легкой супеси, очень тонкого песка	легкого суглинка	тяжелого суглинка, глины
Укрепление обочин	1	0,70	0,75	0,80
	2 и 3	0,85	0,95	0,95
Монолитные слои основания с содержанием воздушных пустот материала до 5 %	1	0,80	0,80	0,80
	2 и 3	0,90	0,90	0,90
Монолитные слои основания с содержанием воздушных пустот материала от 5 % до 10 %	1	0,90	0,90	0,90
	2 и 3	0,95	0,95	0,95
Примечания 1 При применении пылеватых грунтов коэффициент $K_p = 1,0$. 2 Если предусмотрено несколько мероприятий, то каждое из них учитывают в отдельности по формуле (50).				

Коэффициент $K_{\text{вог}}$ определяют при одинаковых направлениях продольных уклонов на продольном профиле по номограмме, а при встречных уклонах — по формуле

$$K_{\text{вог}} = 1 + \frac{(K_{\text{ф}} \cdot (T_{\text{зап}} + 1) \cdot (i_1 + i_2))}{2 \cdot n}, \quad (51)$$

где $K_{\text{ф}}$ — коэффициент фильтрации, м/сут;

$T_{\text{зап}}$ — средняя продолжительность запаздывания работы водоотводящих устройств, принимаемая в ДКЗ II равной от 4 до 6 сут, в ДКЗ III — от 3 до 4 сут (большие значения для мелких песков);

i_1 и i_2 — абсолютная величина уклонов, доли единицы;

n — пористость дренирующего слоя, доли единицы.

7.7.7 Полную толщину дренирующего слоя, работающего по способу осушения $h_{\text{п}}$, м, вычисляют по формуле

$$h_{\text{п}} = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}} + \Delta h, \quad (52)$$

где $h_{\text{нас}}$ — толщина слоя, полностью насыщенного водой, м;

$h_{\text{зап}}$ — дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала: для гравелистых, очень крупных, повышенной крупности и крупных песков 0,1 м; для средних песков — 0,15 м; для мелких песков — 0,2 м;

Δh — величина запаса на уменьшение толщины дренирующего слоя вследствие взаимопроникновения частиц между влажным грунтом верхней части земляного полотна и дренирующего слоя, м.

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

В случае устройства геосинтетической прослойки, $\overline{W}_{\text{таб}} < 0,65$, а также в IV и V ДКЗ, $\Delta h = 0$, во всех остальных случаях она определяется по формуле

$$\Delta h = \frac{\sum N_p \cdot v_b \cdot k_N}{10^8}, \quad (53)$$

где v_b — скорость взаимопроникновения песка дренирующего слоя и грунта земляного полотна, мм/год, принимаемая по таблице 12;

k_N — показатель, характеризующий затухание и стабилизацию процесса взаимопроникновения во времени, принимаемый по таблице 13.

Таблица 12 — Скорость взаимопроникновения песка дренирующего слоя и грунта земляного полотна v_b

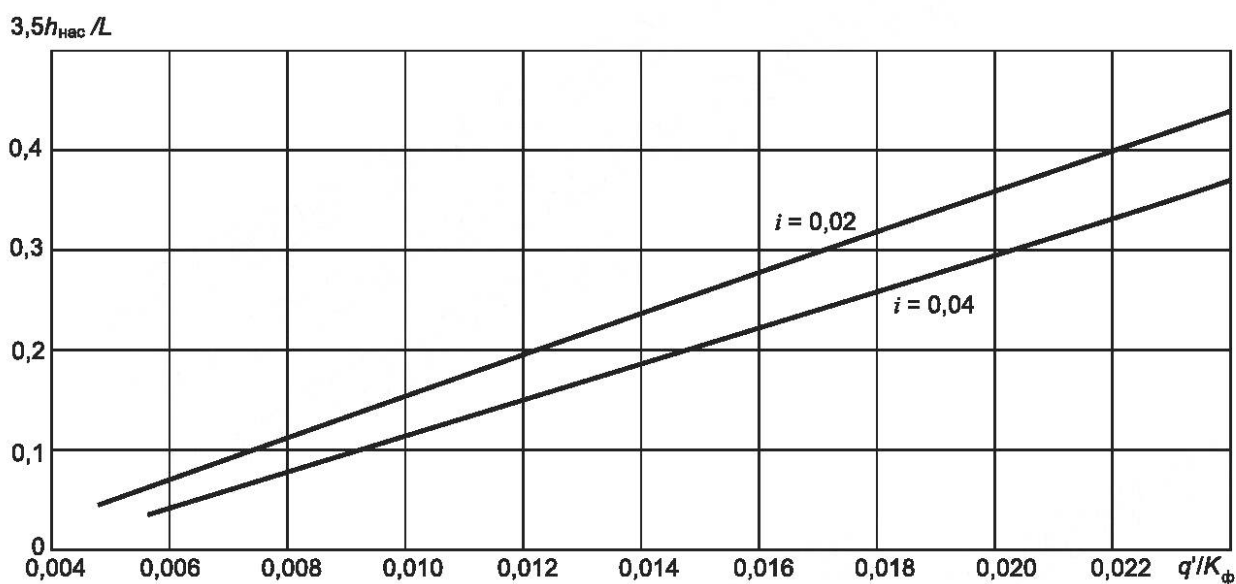
Грунт земляного полотна	v_b при схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна, мм/год		
	1	2	3
Пылеватые супеси и суглинки	4/5	5/6	6/7
Песчанистые супеси и суглинки	2/3	3/4	4/5
Примечание — В числителе даны значения для III ДКЗ, в знаменателе — для II ДКЗ.			

Таблица 13 — Значения показателя, характеризующего затухание и стабилизацию процесса взаимопроникновения частиц во времени, k_N

$\sum N_p$	$\leq 500\,000$	1 000 000	2 000 000	3 000 000	5 000 000
k_N	1,2	1,0	0,7	0,5	0,3
Примечания 1 Для промежуточных значений следует использовать линейную интерполяцию. 2 При $\sum N_p > 5\,000\,000$ величину Δh следует принимать, как для $\sum N_p = 5\,000\,000$.					

7.7.8 Для дренирующего слоя, работающего по принципу осушения, толщину слоя, полностью насыщенного водой, $h_{\text{нас}}$, устанавливают в зависимости от длины пути фильтрации L и расчетной величины притока воды q_p .

Для песков с коэффициентом фильтрации до 10 м/сут расчет выполняют по номограмме, представленной на рисунке 16.



i — поперечный уклон низа дренирующего слоя; L — длина пути фильтрации; q' — погонный приток воды; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации песка, м/сут

Рисунок 16 — Номограмма для расчета толщины дренирующего слоя, полностью насыщенного водой, $h_{\text{нас}}$, из песков с коэффициентом фильтрации менее 10 м/сут

При односкатном поперечном профиле погонный приток воды за сутки q' , м³ на 1 м длины дороги, определяют по формуле

$$q' = q_p \cdot B, \quad (54)$$

где q_p — расчетный объем притока воды, определяемый по формуле (50).

При двускатном поперечном профиле погонный приток воды за сутки q' , м³ на 1 м длины дороги, определяют по формуле

$$q' = 0,5 \cdot q_p \cdot B, \quad (55)$$

где B — ширина проезжей части, м.

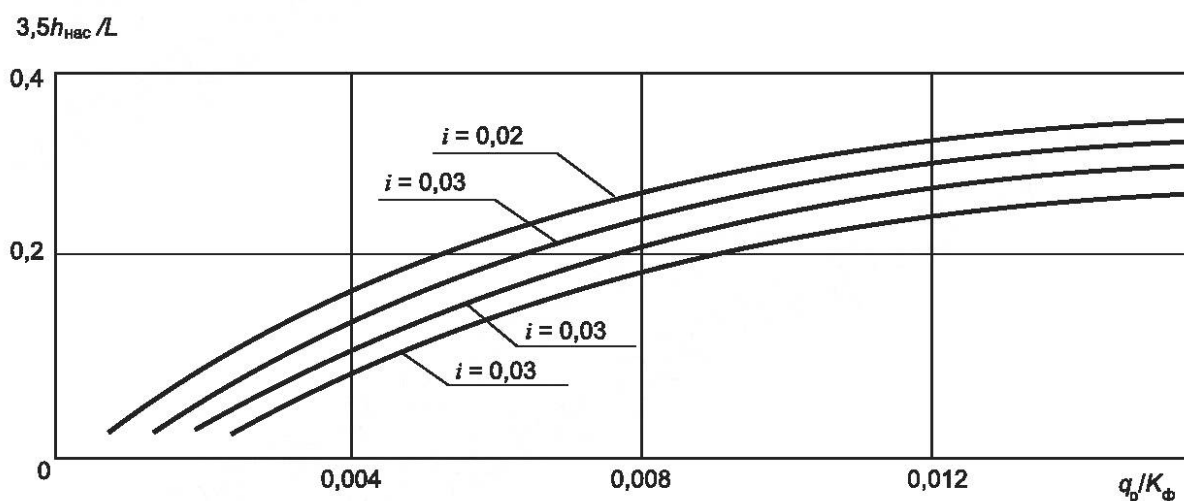
Необходимую толщину слоя, полностью насыщенного водой, $h_{\text{нас}}$, определяют по ординате a рисунка 16 по формуле

$$h_{\text{нас}} = \frac{a \cdot L}{3,5}, \quad (56)$$

где a — ордината по номограмме рисунка 16;

L — длина пути фильтрации, равная половине ширины дренирующего слоя при двускатном поперечном профиле и полной его ширине — при односкатном поперечном профиле, м.

Для крупных песков с коэффициентом фильтрации от 10 м/сут толщину дренирующего слоя, полностью насыщенного водой, $h_{\text{нас}}$, определяют по рисунку 17.



i — поперечный уклон низа дренирующего слоя; L — длина пути фильтрации; q_p — расчетный объем притока воды за сутки, м³/м²; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации песка, м/сут

Рисунок 17 — Номограмма для расчета толщины дренирующего слоя, полностью насыщенного водой, $h_{\text{нас}}$, из песков с коэффициентом фильтрации 10 м/сут и более

7.7.9 Дренирующий слой в дренажной конструкции с углубленными продольными ровиками, усиливающими процесс движения воды в песке, рассчитывают с использованием номограмм, представленных на рисунке 18.

По номограммам получают сразу полную толщину дренирующего слоя $h_{\text{п}}$ в зависимости от крупности песка, расчетного объема притока воды в дренирующий слой q_p , коэффициента фильтрации материала дренирующего слоя K_{ϕ} , длины пути фильтрации L и поперечного уклона низа дренирующего слоя i .

Для более точных расчетов дренажной конструкции с углубленными продольными ровиками используют формулу для расчета коэффициента фильтрации, в которой учитывают особенности дренажной конструкции:

$$K_{\phi} = \frac{q_p \cdot L^2}{\Delta H \cdot (h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}} \cdot \beta_1)}, \quad (57)$$

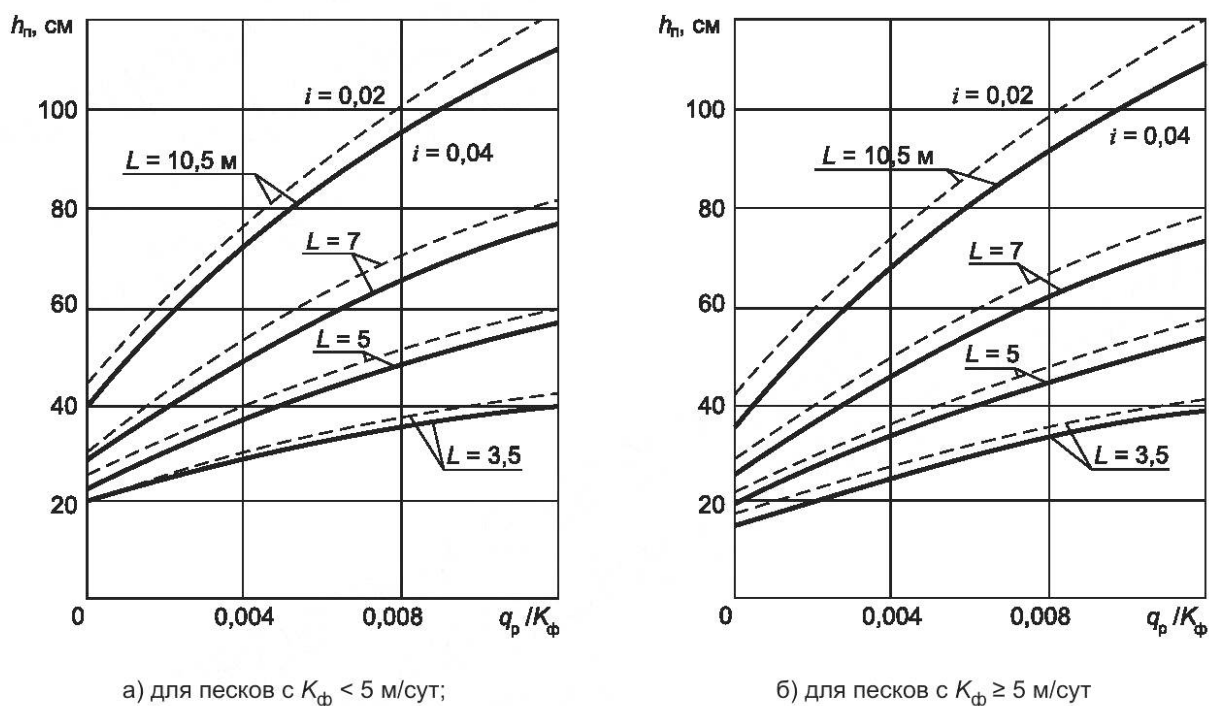
где L — длина пути фильтрации, равная при двускатном профиле расстоянию от оси дороги до середины дрены, м;

q_p — расчетный объем притока воды за сутки, м³/м²;

ΔH — разность напоров, м, вычисляемых по формуле

$$\Delta H = h_{\text{нас}} + L \cdot i + h - h_0, \quad (58)$$

где i — поперечный уклон низа дренирующего слоя, доли единицы;
 h — глубина ровика до низа дрены, равная $0,7 \cdot h_k$ (h_k — высота капиллярного поднятия воды в материале дренирующего слоя), м; h_k принимают 0,5 для мелкого песка, 0,4 — для гравелистого, очень крупного, повышенной крупности, крупного и среднего песка;
 h_0 — глубина фильтрационного потока в дренирующем слое непосредственно у продольной дрены; для средних песков $h_0 = 0,03$ м, для мелких песков $h_0 = 0,05$ м;
 $h_{\text{нас}}$ — толщина слоя, полностью насыщенного водой, м;
 $h_{\text{зап}}$ — дополнительная толщина дренирующего слоя, м;
 β_1 — коэффициент расхода воды в капиллярной зоне; для мелких песков $\beta_1 = 0,3$, а для средних и крупных песков $\beta_1 = 0,4$.



L — длина пути фильтрации; q_p — расчетный объем притока воды за сутки, $\text{м}^3/\text{м}^2$; K_{ϕ} — коэффициент фильтрации материала, м/сут;
 - - - - - уклон низа дренирующего слоя, $i = 0,02$; — — — — — уклон низа дренирующего слоя, $i = 0,04$

Рисунок 18 — Номограмма для расчета дренирующего слоя в конструкции с углубленными продольными ровиками

7.7.10 Расчет толщины слоя, полностью насыщенного водой, работающего по принципу осушения с укладкой на земляное полотно геосинтетического материала, следует проводить в следующей последовательности.

Вычисляют расчетное значение коэффициента фильтрации геосинтетического материала с учетом заиливания и общих условий его работы в дренирующем слое дорожной одежды по формуле (при условии, что напряжения от транспортных нагрузок на поверхности земляного полотна не превышают допустимых значений).

$$K_{\text{рфг}} = K_{\text{фг}}^{\text{исх}} \cdot K_{\text{усл}}, \quad (59)$$

где $K_{\text{фг}}^{\text{исх}}$ — исходное значение коэффициента фильтрации геосинтетического материала по данным производителя, м/сут;

$K_{\text{усл}}$ — коэффициент, учитывающий условия работы геосинтетического материала в дорожной конструкции, назначаемый по таблице 14.

Таблица 14 — Значения коэффициента, учитывающего условия работы геосинтетического материала в дорожной конструкции $K_{усл}$

Грунт земляного полотна	$K_{усл}$ при суммарном количестве приложений расчетной нагрузки			
	100 000—500 000	500 000—1 000 000	1 000 000—5 000 000	≥ 5 000 000
Супеси	0,9	0,8	0,65	0,5
Суглинки	0,8	0,65	0,55	0,4

Примечание — Для пылеватых суглинков окончательную величину $K_{рфг}$ следует уменьшить на 10 %, для пылеватых супесей на 20 %.

Вычисляют исходную глубину фильтрационного потока $h_{исх}$, см, в зависимости от величины q_p по формуле

$$h_{исх} = -0,068 \cdot (10^3 \cdot q_p)^2 + 3,23 \cdot (10^3 \cdot q_p). \quad (60)$$

Толщину слоя, полностью насыщенного водой, $h_{нас}$, см, вычисляют по формуле

$$h_{нас} = \frac{L}{3,5} \cdot h_{исх} \cdot K_i \cdot K_{кп} \cdot K_{кг}, \quad (61)$$

где L — длина пути фильтрации, м;

K_i — поправка на влияние поперечного уклона земляного полотна, равная 1,0 при уклоне 20 ‰, 0,9 при уклоне 30 ‰ и 0,8 при уклоне 40 ‰;

$K_{кп}$ — поправка на фактический коэффициент фильтрации песка, равная 1,0, при коэффициенте фильтрации до 1 м/сут включительно; для других значений коэффициента фильтрации использовать таблицу 15;

$K_{кг}$ — поправка на фактический коэффициент фильтрации геосинтетического материала в дренающем слое назначается по таблице 16.

Таблица 15 — Значения поправки на фактический коэффициент фильтрации песка $K_{кп}$ при $K_f > 1$ м/сут

K_f , м/сут	$K_{кп}$ при q_p			
	0,001	0,008	0,012	0,018
3	0,90	0,80	0,70	0,50
5	0,75	0,50	0,45	0,35
≥ 7	0,50	0,38	0,33	0,28

Примечание — Для промежуточных значений q_p следует использовать линейную интерполяцию.

Таблица 16 — Значение поправки на фактический коэффициент фильтрации геосинтетического материала в дренающем слое $K_{кг}$

$K_{рфг}$ м/сут	20	40	60	≥ 80
$K_{кг}$	1,0	0,86	0,55	0,40

Примечания
1 Для промежуточных значений $K_{рфг}$ следует использовать линейную интерполяцию.
2 При $K_{рфг}$ менее 20 следует брать геосинтетический материал с большим исходным значением $K_{фг}^{исх}$.

7.7.11 По принципу поглощения рассчитывают толщину дренающего слоя для конструктивного решения, показанного на рисунке 13 в).

На участках дорог с многополосной проезжей частью, где невозможно обеспечить длину пути фильтрации L менее или равную 10 м, дренарующий слой рассчитывают на поглощение всего количества воды, поступающей за весь расчетный период.

Полную толщину дренающего слоя, работающего по принципу поглощения, следует определять согласно ГОСТ Р 71404—2024 (подраздел 11.9).

Примеры расчетов приведены в приложении К.

Приложение А
(справочное)

Нормативные и расчетные характеристики цементобетона

А.1 К расчетным характеристикам цементобетонов для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог относят: класс прочности на растяжение при изгибе; начальный модуль упругости; коэффициент линейного температурного расширения; коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона).

А.2 К нормативным характеристикам цементобетонов для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог относят:

- класс прочности на растяжение при изгибе;
- максимальное водоцементное соотношение;
- марка по морозостойкости;
- вид цемента.

Нормативные характеристики бетона должны устанавливаться в зависимости от назначения конструктивно-го слоя дорожной одежды и указываться в проектной документации.

Предварительные нормативные характеристики бетонов в зависимости от среды эксплуатации определяются в следующей последовательности:

- индекс среды эксплуатации определяется по ГОСТ 31384—2017 (приложение А), в том числе в зависимости от наличия штыревых соединений из стальной арматуры или армирования покрытия;
- требования к бетону по водонепроницаемости определяются согласно ГОСТ 31384—2017 (таблица В.3 и примечание 2 к ней);
- минимальный класс прочности бетона на сжатие и максимальное водоцементное отношение определяются по ГОСТ 31384—2017 (таблица Д.1) в зависимости от индекса среды эксплуатации;
- минимальный класс бетона по прочности при изгибе определяется по таблице А.3 в зависимости от минимального класса бетона на сжатие;
- требования к бетону по морозостойкости определяют по ГОСТ 31384—2017 (таблица Е.1);
- виды цементов, которые могут быть использованы для приготовления бетонной смеси, определяются в соответствии с ГОСТ 26633—2015 (раздел А.2 приложения А) или ГОСТ Р 59300—2021 (пункт 5.2).

Минимальный класс бетона по прочности на растяжение при изгибе в любом случае следует принимать не менее значений, указанных в таблице А.1.

Т а б л и ц а А.1 — Классы бетона по прочности

Конструктивный слой дорожной одежды	Категория автомобильной дороги	Минимальные классы бетона по прочности	
		на растяжение при изгибе	на сжатие
Монолитное покрытие	I, II	4,4	40
	III	4,0	35
Основание из укатываемого бетона	I, II	1,6	7,5

А.3 Значения начального модуля упругости бетона принимаются в зависимости от прочности бетона на растяжение при изгибе по таблице А.2.

Т а б л и ц а А.2 — Значения модуля упругости бетона

Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	Начальный модуль упругости бетона E_b , МПа
1,6	19 000
2,0	23 000
2,4	26 000
2,8	28 000
3,2	30 000
3,6	32 000
4,0	33 000

Окончание таблицы А.2

Класс бетона по прочности на растяжение при изгибе	Начальный модуль упругости бетона E_b , МПа
4,4	36 000
4,8	36 500
5,2	37 500
5,6	38 000
6,0	38 500

А.4 Ориентировочные соотношения между классами бетона по прочности представлены в таблице А.3.

Т а б л и ц а А.3 — Значения модуля упругости бетона

Ориентировочные соотношения между классами бетона по прочности	
Класс бетона на растяжение при изгибе	Класс бетона на сжатие
4,0	35-40
4,4	40-45
4,8	45-55
5,2	55-60
5,6	60-65
6,0	65-70

Приложение Б
(справочное)

Расчетные характеристики грунта рабочего слоя земляного полотна

Б.1 Расчетная (относительная) влажность грунта зависит от погодно-климатических условий местности, а также от вида грунта, конструкции земляного полотна, применяемых мероприятий по регулированию водно-теплого режима дорожной одежды и земляного полотна и др.

Разновидности грунтов принимают в соответствии с ГОСТ 33063.

Расчетную (относительную) влажность связанного грунта W_p дорожной одежды вычисляют по формуле

$$W_p = (\bar{W}_{\text{таб}} + \Delta + \Delta_1 W - \Delta_2 W) \cdot (1 + V_r \cdot t) - \Delta_3, \quad (\text{Б.1})$$

где $\bar{W}_{\text{таб}}$ — среднее многолетнее значение относительной (в долях от влажности на границе текучести) влажности грунта в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна, определяемое по таблице Б.1 в зависимости от ДКЗ и подзоны (см. рисунок Б.1), расчетные схемы увлажнения грунта рабочего слоя и типа грунта;

Δ — поправка, равная 0,00 — для участков насыпей и 0,03 — для участков дороги, проходящих в выемке или в низкой насыпи с рабочей отметкой менее руководящей отметки для данного типа грунта и расчетной схемы увлажнения;

$\Delta_1 W$ — поправка на особенности рельефа территории, принимаемая для равнинных условий 0,00, предгорных — 0,03, горных — 0,05;

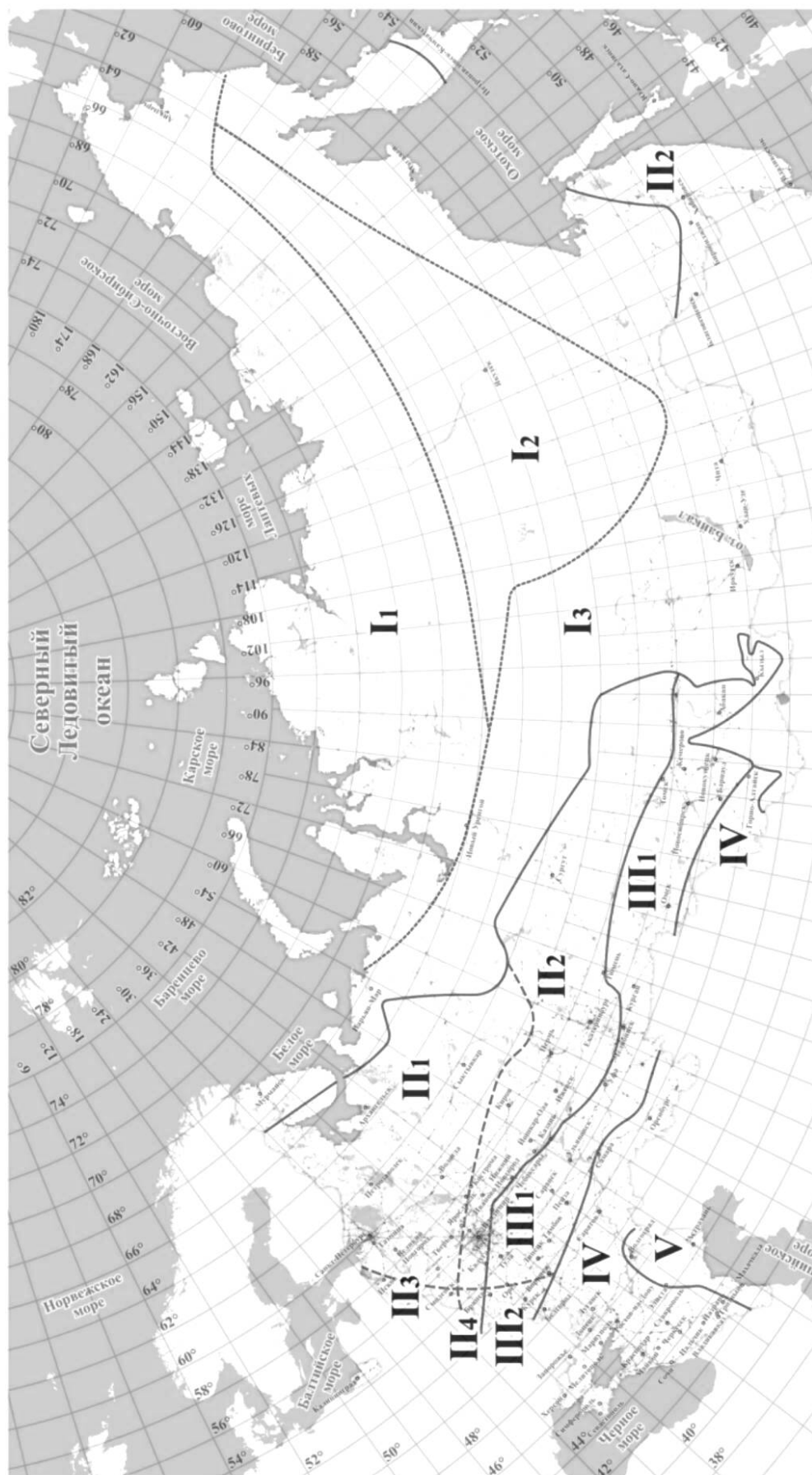
$\Delta_2 W$ — поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин, определяемая по таблице Б.2;

V_r — коэффициент вариации, равный 0,10;

t — коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от уровня надежности K_H по таблице Б.3;

Δ_3 — поправка, учитываемая, если толщина дорожной одежды превышает 0,75 м при $\bar{W}_{\text{таб}} \geq 0,75 \cdot W_T$;

W_T — влажность грунта на границе текучести.



Примечание — Сплошными линиями указаны границы дорожно-климатических зон; пунктирными линиями указаны границы дорожно-климатических подзон.

Рисунок Б.1 — ДКЗ и подзоны Российской Федерации

Примечания

1 При обосновании общего дорожно-климатического районирования территории Российской Федерации может уточняться в рамках отдельных субъектов.

2 Кубань и западную часть Северного Кавказа следует относить к III ДКЗ.

3 При проектировании участков дорог в приграничных зонах при обосновании данных о грунтово-гидрологических и почвенных условиях, а также исходя из практики эксплуатации дорог в районе допускается принимать проектные решения как для смежной (северной или южной) зоны.

4 В горных районах ДКЗ следует определять с учетом высотного расположения объектов проектирования, принимая во внимание природные условия на данной высоте.

5 Разделение на подзоны следует учитывать при определении расчетной влажности при расчетах на прочность и морозоустойчивость дорожных одежд.

Средние значения влажности грунта в таблице Б.1 приведены для толщины дорожной одежды $h_{д.о.}$ до 0,75 м. Если одежда имеет большую толщину, влагонакопление в грунте рабочего слоя за счет грунтовой и поверхностной вод снижается. При толщине слоев дорожной одежды более 0,75 м и средней многолетней относительной влажности $\bar{W}_{таб}$ (см. таблицу Б.1) более или равной $0,75 \cdot W_T$, значение поправки Δ_3 определяют по рисунку Б.2. Если $\bar{W}_{таб} < 0,75 \cdot W_T$, расчетную влажность грунта при толщине дорожной одежды более 0,75 м вычисляют по формуле (Б.1) без учета Δ_3 .

Т а б л и ц а Б.1 — Среднее многолетнее значение относительной влажности грунта рабочего слоя $\bar{W}_{таб}$

ДКЗ — под-зона	Расчетная схема увлажнения рабочего слоя	Среднее многолетнее значение относительной влажности грунта $\bar{W}_{таб}$ (доли от W_T)			
		легкая песчанистая супесь	очень тонкий и пылеватый песок	легкий песчанистый суглинок, тяжелый песчанистый суглинок, тяжелый пылеватый суглинок, глина	пылеватая супесь, тяжелая пылеватая супесь, легкий пылеватый суглинок
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

Окончание таблицы Б.1

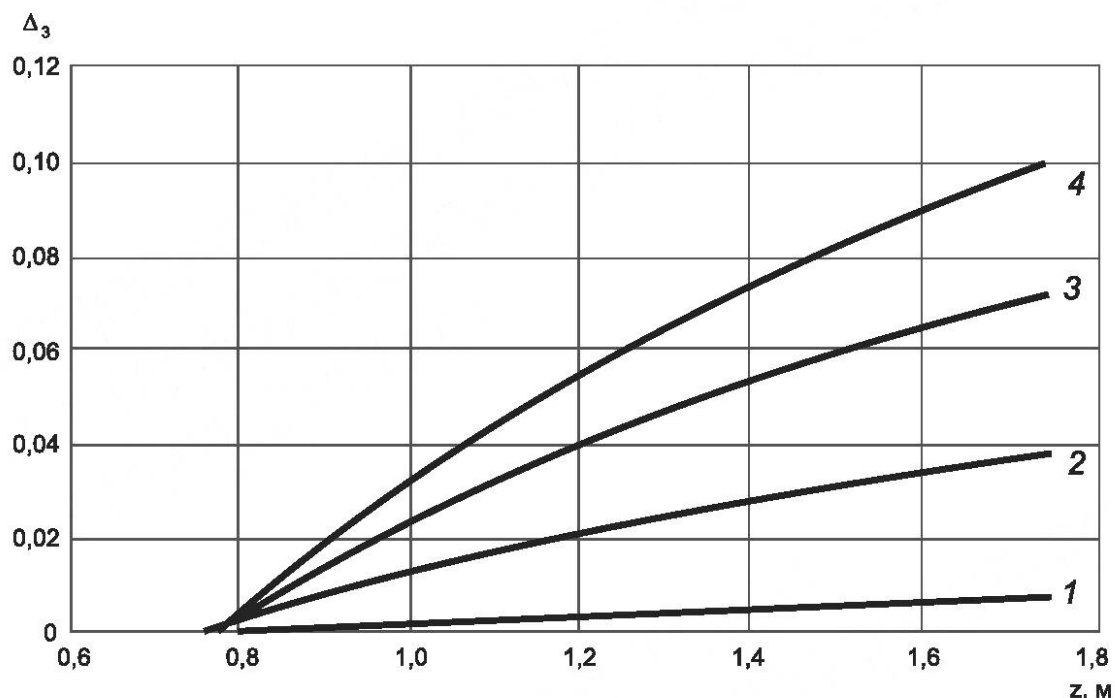
ДКЗ — под-зона	Расчетная схема увлажнения рабочего слоя	Среднее многолетнее значение относительной влажности грунта $\bar{W}_{\text{таб}}$ (доли от W_T)			
		легкая песчанистая супесь	очень тонкий и пылеватый песок	легкий песчанистый суглинок, тяжелый песчанистый суглинок, тяжелый пылеватый суглинок, глина	пылеватая супесь, тяжелая пылеватая супесь, легкий пылеватый суглинок
III-III ₃	1	0,55	0,57	0,60	0,63
	2, 3	0,59	0,61	0,63	0,67
IV	1	0,53	0,55	0,57	0,60
	2, 3	0,57	0,58	0,60	0,64
V	1	0,52	0,53	0,54	0,57
	2, 3	0,55	0,56	0,57	0,60

Т а б л и ц а Б.2 — Значение поправки на конструктивные особенности проезжей части и обочин $\Delta_2 W$

Конструктивная особенность	Поправка $\Delta_2 W$ в ДКЗ			
	II	III	IV	V
Основание дорожной одежды, включая слои на границе с грунтом рабочего слоя, из укрепленных материалов:	—	—	—	—
крупнообломочного грунта и песка	0,04	0,04	0,03	0,03
легкой крупной песчанистой супеси, легкой песчанистой супеси	0,05	0,05	0,05	0,04
пылеватого песка, тяжелого и легкого суглинка и др.	0,08	0,08	0,06	0,05
Основание дорожной одежды, включая слои на границе с грунтом рабочего слоя, из дренажных конструкций:	—	—	—	—
Иглопробивной геотекстиль в контакте с грунтами	—	—	—	—
суглинка и глины	0,03	0,03	0,03	0,03
супеси и пески	0,06	0,06	0,06	0,06
Дренажный композит	0,05	0,05	0,05	0,04
Геотекстиль + жесткая сетка + геотекстиль	0,07	0,07	0,06	0,05
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
Дренаж	—	—	—	—
с продольными трубчатыми дренами	0,05	0,03	—	—
из зернистого материала в обойме из геосинтетического с дренажной трубой	0,08	0,08	0,06	0,05
Вертикальный дренаж	0,05	0,05	0,03	0,03
Устройство гидроизолирующих прослоек из полимерных материалов	0,05	0,05	0,03	0,03
Устройство теплоизолирующего слоя, предотвращающего промерзание	Снижение расчетной влажности до полной влагоемкости при требуемом коэффициенте уплотнения грунта $K_{\text{упл}}$			
Грунт рабочего слоя земляного полотна в «обойме»	Снижение расчетной влажности до оптимальной			
Грунт рабочего слоя, уплотненный до значения коэффициента уплотнения более 1,00 в слое толщиной до 0,5 м от низа дорожной одежды, если он расположен ниже границы промерзания	—	0,03	0,03	0,03

Т а б л и ц а Б.3 — Значения коэффициента нормированного отклонения t

Уровень надежности K_H	0,90	0,92	0,95	0,98
Нормированное отклонение t	1,32	1,45	1,71	2,19



1 — для $\bar{W}_{\text{таб}} = 0,75 \cdot W_T$; 2 — для $\bar{W}_{\text{таб}} = 0,8 \cdot W_T$; 3 — для $\bar{W}_{\text{таб}} = 0,85 \cdot W_T$; 4 — для $\bar{W}_{\text{таб}} = 0,9 \cdot W_T$

Рисунок Б.2 — Номограмма для определения поправки к относительной расчетной влажности Δ_3 в зависимости от суммарной толщины дорожной одежды $h_{\text{д.о}}$

Б.2 Расчетные механические характеристики связных грунтов:

- модуль упругости — в зависимости от расчетной влажности по таблице Б.4;
- угол внутреннего трения φ_N и удельное сцепление грунта c_N — в зависимости от расчетной влажности и количества приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды по таблице Б.5.

Т а б л и ц а Б.4 — Рекомендуемые расчетные значения модулей упругости связных грунтов

Грунт	Модуль упругости E при расчетной влажности W_p , МПа									
	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Очень тонкий и пылеватый песок	96	90	84	78	72	66	60	54	48	43
Легкая песчанистая супесь	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
Пылеватая супесь, тяжелая пылеватая супесь	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
Легкий песчанистый суглинок, суглинок тяжелый песчанистый	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
Легкий пылеватый суглинок, тяжелый пылеватый суглинок	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
Глины	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23

Таблица Б.5 — Сдвиговые характеристики (сцепление c_N и угол внутреннего трения φ_N) связных грунтов

Расчетная влажность W_p	Удельное сцепление c_N , МПа, при суммарном количестве приложений нагрузки $\sum N_p$					Угол внутреннего трения φ_N , град, при суммарном количестве приложений нагрузки $\sum N_p$				
	1	10^3	10^4	10^5	10^6	1	10^3	10^4	10^5	10^6
Суглинки и глины										
0,60	0,030	0,030	0,016	0,014	0,012	24	20	14,5	11	9
0,65	0,024	0,019	0,013	0,011	0,009	21	15	11	8	7
0,70	0,019	0,013	0,009	0,007	0,006	18	11,5	8,5	6,5	5,5
0,75	0,015	0,009	0,006	0,005	0,004	15	10	7,5	5	4
0,80	0,011	0,007	0,005	0,003	0,002	13	8	5	3	2,5
0,90	0,008	0,004	0,004	0,002	0,001	11,5	6,5	3,5	2,2	2
Супеси, очень тонкие и пылеватые пески										
0,6	0,014	0,012	0,008	0,006	0,005	36	24	18	14	12
0,65	0,013	0,010	0,008	0,006	0,004	36	23,5	17	14	12
0,70	0,012	0,009	0,006	0,005	0,004	35	23,5	17	14	12
0,75	0,011	0,008	0,005	0,004	0,003	35	23	17	14	12
0,80	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	34	23	17	14	12
0,85	0,009	0,007	0,004	0,003	0,003	34	22	15	12	10
0,90	0,008	0,004	0,003	0,003	0,003	33	21	12,5	10	8
Примечания 1 Значение сдвиговых характеристик φ_N и c_N при суммарном количестве приложений нагрузки $\sum N_p$, равном 1, используют при расчете на статическое действие нагрузки и их обозначение принимают как $\varphi_{ст}$ и $c_{ст}$. 2 При суммарном количестве приложений расчетной нагрузки $\sum N_p$ более 10^6 значения сдвиговых характеристик φ_N и c_N следует принимать по графе настоящей таблицы, где суммарное количество приложений расчетной нагрузки $\sum N_p$ равно 10^6.										

Расчетные механические характеристики ПГС, песка (за исключением пылеватого песка) и легкой крупной песчанистой супеси не зависят от расчетной влажности и их принимают следующим образом:

- модуль упругости — во всех ДКЗ одинаковым по таблице Б.6;
- удельное сцепление c_N и угол внутреннего трения φ_N — в зависимости от количества приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды по таблице Б.7.

Таблица Б.6 — Рекомендуемые расчетные значения модулей упругости ПГС, песка и легкой крупной песчанистой супеси

Группа ПГС и песка	Модуль упругости E , МПа
ПГС по ГОСТ Р 71329 на песке крупном	170
ПГС по ГОСТ Р 71329 на песке среднем	155
ПГС по ГОСТ Р 71329 на песке мелком	130
Гравелистый, очень крупный, повышенной крупности, крупный песок	130
Средний песок	120
Мелкий песок	100
Очень мелкий песок	85
Тонкий песок	75
Легкая крупная песчанистая супесь	65
Примечания 1 В таблице приведены значения модуля упругости для ПГС при содержании гравия 35 % и более от массы смеси. 2 Для ПГС при содержании гравия менее 35 % от массы смеси расчетные значения модуля упругости следует принимать как для группы песка в данной смеси.	

Т а б л и ц а Б.7 — Прочностные характеристики (сцепление c_N и угол внутреннего трения φ_N) ПГС, песков и легкой крупной песчанистой супеси

Материал		Удельное сцепление c_N , МПа, при суммарном числе приложений нагрузки $\sum N_p$					Угол внутреннего трения φ_N , град, при суммарном числе приложений нагрузки $\sum N_p$				
		1	10^3	10^4	10^5	10^6	1	10^3	10^4	10^5	10^6
ПГС	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,03					45				
Гравелистый и крупный песок по ГОСТ 33063. Очень крупный, повышенной крупности и крупный песок по ГОСТ 32730. Повышенной крупности и крупный песок по ГОСТ 32824 с содержанием пылевато-глинистой фракции	до 1 %	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	35	33	32	31	29
	св. 1 % до 5 %	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	34	31	30	29	28
Средний песок по ГОСТ 33063. Средний и мелкий песок по ГОСТ 32730 и ГОСТ 32824 с содержанием пылевато-глинистой фракции	до 1 %	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	32	30	30	28	27
	св. 1 % до 5 %	0,005	0,004	0,003	0,003	0,002	33	30	29	28	26
Мелкий песок по ГОСТ 33063. Очень мелкий песок по ГОСТ 32824 с содержанием пылевато-глинистой фракции	до 1 %	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	31	28	22	26	25
	св. 1 % до 5 %	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	31	27	26	25	24
	св. 5 % до 8 %	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	31	27	26	25	23
Легкая крупная песчанистая супесь. Тонкий песок по ГОСТ 32824. Однородный песок по ГОСТ 33063		0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	31	27	26	25	23
П р и м е ч а н и я 1 Значение сдвиговых характеристик φ_N и c_N при суммарном количестве приложения нагрузки $\sum N_p$, равном 1, используют при расчете на статическое действие нагрузки и их обозначение принимают как $\varphi_{ст}$ и $c_{Nст}$. 2 При суммарном числе приложения нагрузки $\sum N_p$ более 10^6 значения сдвиговых характеристик φ_N и c_N следует принимать по графе настоящей таблицы, где суммарное количество приложения нагрузки равно 10^6. 3 В таблице приведены значения характеристик φ_N и c_N для ПГС при содержании гравия 35 % и более от массы смеси. 4 Для ПГС при содержании гравия менее 35 % от массы смеси расчетные значения модуля упругости следует принимать как для группы песка в данной смеси.											

Б.3 При применении в качестве грунтов рабочего слоя материалов, не представленных в настоящем стандарте, их расчетные характеристики необходимо назначать по данным лабораторных и натурных испытаний.

Приложение В
(справочное)

**Расчетные характеристики конструктивных слоев жестких дорожных одежд
из различных дорожно-строительных материалов**

Т а б л и ц а В.1 — Расчетные характеристики грунтов, укрепленных вяжущими

Материал	Расчетный модуль упругости E , МПа
ЩГПС, обработанные неорганическим вяжущим по ГОСТ Р 70455; грунты крупнообломочные, укрепленные неорганическими вяжущими по ГОСТ Р 70452, соответствующие марке	
10	400
20	500
40	600
60	800
70*	870
Песчаные грунты, укрепленные неорганическими вяжущими по ГОСТ Р 70452, соответствующие марке	
40	550
60	700
70*	870
Супеси, суглинки, укрепленные неорганическими вяжущими по ГОСТ Р 70452, соответствующие марке	
40	400
60	550
70*	750
* Материалы, укрепленные неорганическим вяжущим, с маркой по прочности 70, с учетом риска трещинообразования, допускается применять в отдельных случаях при согласовании с заказчиком и наличии положительного опыта применения в регионе строительства.	

Т а б л и ц а В.2 — Расчетные характеристики фракционного щебня, устроенного по способу заклинки

Материал	Расчетный модуль упругости E , МПа
Фракционный щебень фракции 31,5—63 мм (см. ГОСТ 32703 и ГОСТ 32826), устроенный по способу заклинки, расклинованный	
фракционным мелким щебнем	350
мелким активным и высокоактивным шлаком	400
вторичным асфальтобетоном	450
П р и м е ч а н и е — Для шлакового щебня черной металлургии с маркой по дробимости М400 модуль упругости принимается для слабоактивного 200 МПа, для неактивного 150 МПа.	

Т а б л и ц а В.3 — Расчетные характеристики ЩГПС

Материал слоя, мм	Расчетный модуль упругости E , МПа
ЩПС и ЩГПС для оснований при максимальном размере зерен (см. ГОСТ Р 70458)	
0—90	280
0—63	275
0—45	265

Окончание таблицы В.3

Материал слоя, мм	Расчетный модуль упругости E , МПа
0—31,5	260
0—22,4	255
0—11,6	250
0—11,2	240
0—8	235
ГПС для оснований при максимальном размере зерен (см. ГОСТ Р 70458)	
0—90	240
0—63	230
0—45	225
0—31,5	220
0—22,4	210
0—16	200
0—11,2	180
0—8	175
Шлаковая ЩПС для оснований из неактивных и слабоактивных шлаков — при максимальном размере зерен (см. ГОСТ Р 58770)	
0/90	280
0/63-1	275
0/63-2	275
0/31,5-1	250
0/31,5-2	250
0/16-1	210
0/16-2	210
0/8	175
Шлаковая ЩПС для оснований из активных шлаков при максимальном размере зерен (см. [2])	
80(70)	400
40	400

Т а б л и ц а В.4 — Конструктивные слои из асфальтобетона при расчете на прочность

Виды битумных вяжущих	Кратковременный модуль упругости асфальтобетона, МПа, при температуре, °С					R ₀ , МПа, при 0 °С
	10	20	30	40	50	
1 Асфальтобетоны для устройства слоев покрытий						
1.1 ЩМА (см. ГОСТ Р 58401.2 и ГОСТ Р 58406.1) на битумных вяжущих						
PG X (от 46,0 до 58,0) — Y(ФАКТ)	2600	1400	850	400	300	9,3
PG X (от 58,1 до 70,0) — Y(ФАКТ)	3700	2350	1250	550	400	9,5
PG X (от 70,1 до 82,0) — Y(ФАКТ)	4250	2950	1650	820	520	9,8

Продолжение таблицы В.4

Виды битумных вяжущих	Кратковременный модуль упругости асфальтобетона, МПа, при температуре, °С					R ₀ , МПа, при 0 °С
	10	20	30	40	50	
1.2 ЩМА (см. ГОСТ Р 58406.1) на битумах (см. ГОСТ 33133)						
БНД 100/130	2700	1450	900	450	320	9,3
БНД 70/100	3800	2450	1300	600	450	9,5
БНД 50/70	4400	3050	1700	850	550	9,8
1.3 ЩМА (см. ГОСТ Р 58406.1) на ПБВ (см. ГОСТ Р 52056)						
ПБВ 130	1750	900	550	300	250	9,3
ПБВ 90	2500	1350	820	350	300	9,5
ПБВ 60	3550	2300	1200	550	400	9,8
ПБВ 40	4100	2850	1600	800	500	10,0
1.4 Асфальтобетоны (см. ГОСТ Р 58401.1 и ГОСТ Р 58406.2) на битумных вяжущих						
PG X (от 34,0 до 46,0) — У(ФАКТ)	1950	1020	650	420	250	9,0
PG X (от 46,1 до 58,0) — У(ФАКТ)	2900	1550	950	550	350	9,3
PG X (от 58,1 до 70,0) — У(ФАКТ)	4100	2550	1400	600	450	9,5
PG X (от 70,1 до 82,0) — У(ФАКТ)	4700	3300	1800	850	550	9,8
1.5 Асфальтобетоны (см. ГОСТ Р 58406.2) на битумах (см. ГОСТ 33133)						
БНД 130/200	2150	1100	750	500	300	9,0
БНД 100/130	3000	1600	1000	550	350	9,3
БНД 70/100	4150	2700	1450	650	500	9,5
БНД 50/70	4800	3350	1850	900	600	9,8
1.6 Асфальтобетоны (см. ГОСТ Р 58406.2 на ПБВ (см. ГОСТ Р 52056)						
ПБВ 130	1800	950	600	350	300	9,3
ПБВ 90	2800	1500	900	400	350	9,5
ПБВ 60	4000	2450	1350	550	450	9,8
ПБВ 40	4600	3200	1750	800	550	10,0
2 Асфальтобетоны для устройства слоев оснований						
2.1 Асфальтобетоны (см. ГОСТ Р 58401.1 и ГОСТ Р 58406.2) на битумных вяжущих						
PG X (от 34,0 до 46,0) — У(ФАКТ)	1500	750	500	320	220	8,0
PG X (от 46,1 до 58,0) — У(ФАКТ)	2250	1200	800	400	300	8,2
PG X (от 58,1 до 70,0) — У(ФАКТ)	3150	2000	1200	500	400	8,5
PG X (от 70,1 до 82,0) — У(ФАКТ)	3600	2500	1500	700	500	8,7
2.2 Асфальтобетоны (см. ГОСТ Р 58406.2) на битумах (см. ГОСТ 33133)						
БНД 130/200	1600	800	550	350	250	8,5
БНД 100/130	2300	1250	850	450	350	8,8
БНД 70/100	3250	2100	1250	550	450	9,0

Окончание таблицы В.4

Виды битумных вяжущих	Кратковременный модуль упругости асфальтобетона, МПа, при температуре, °С					R_0 , МПа, при 0 °С
	10	20	30	40	50	
БНД 50/70	3700	2550	1550	750	520	9,3
2.3 Асфальтобетоны (см. ГОСТ Р 58406.2) на ПБВ по ГОСТ Р 52056						
ПБВ 130	1400	700	450	300	200	8,0
ПБВ 90	2150	1150	750	350	300	8,5
ПБВ 60	3050	1950	1150	450	350	9,0
ПБВ 40	3500	2450	1450	650	450	9,5
Примечания 1 Если значение температурного диапазона эксплуатации $R = (X + Y)$ допустимой к применению фактической марки битумного вяжущего PG X — Y(ФАКТ) (см. приложение В ГОСТ Р 71404—2024) с минимальным диапазоном эксплуатации более 95, необходимо понизить расчетный кратковременный модуль упругости на 10 %. 2 Кратковременные модули упругости используют при расчете на прочность цементобетона и на сдвиг в слоях из малосвязных материалов и грунтов; предел прочности на растяжение при изгибе R_0 применяют при проверке толщины слоя асфальтобетона.						

Таблица В.5 — Ориентировочные объемные плотности дорожно-строительных материалов

Материал	Объемная плотность, кН/м³
Асфальтобетон, ЩМА, SMA	24,50
Щебень из изверженных и метаморфических пород	18,00
Щебень из осадочных пород	16,00
Гравелистый и крупный песок по ГОСТ 33063. Очень крупный, повышенной крупности и крупный песок по ГОСТ 32730. Повышенной крупности и крупный песок по ГОСТ 32824	18,00
Средний песок по ГОСТ 33063 Средний и мелкий песок по ГОСТ 32730 и ГОСТ 32824	17,50
Мелкий песок по ГОСТ 33063 Очень мелкий песок по ГОСТ 32824	17,00
Пылеватый песок Тонкий и очень тонкий песок по ГОСТ 32824	16,50
Супесь	18,50
Суглинок	19,50
Глина	19,50
ЩПС, ГПС	20,00
ЩГПС, обработанный вяжущим; ОМС	21,00
Укрепленные крупнообломочные и песчаные грунты	21,00
Укрепленные глинистые грунты	19,00
Цементобетон	24,00
Железобетон, в том числе сборный	25,00
Укатываемый бетон	21,00
Песок и грунт, укрепленный неорганическим вяжущим	20,00

Окончание таблицы В.5

Примечания 1 Фактическая объемная плотность материалов может отличаться от ориентировочных значений и зависит от ряда факторов, таких как гранулометрический состав, максимальная плотность материала, степень уплотнения и т.д. 2 Значения объемных плотностей материалов следует учитывать только в расчетах на прочность и сдвигоустойчивость, для расчетов объемов планируемых работ учитывать объемную плотность материалов не допускается.

Т а б л и ц а В.6 — Документы по стандартизации, регламентирующие требования к материалам конструктивных слоев дорожных одежд

Материал	Документ по стандартизации
Асфальтобетон	ГОСТ Р 58401.1; ГОСТ Р 58401.2; ГОСТ Р 58406.1; ГОСТ Р 58406.2
Песок	ГОСТ 32730; ГОСТ 32824
Щебень и гравий из плотных горных пород	ГОСТ 32703
Шлаковый щебень и песок	ГОСТ 32826
Шлаковые ЩПС	ГОСТ Р 58770
ЩГПС, ЩПС, ГПС	ГОСТ Р 70458
ГПС	ГОСТ Р 71329
ЩГПС, обработанные неорганическими вяжущими материалами	ГОСТ Р 70455
Грунты, стабилизированные и укрепленные неорганическими вяжущими	ГОСТ Р 70452
Геосинтетические материалы	ГОСТ Р 55029; ГОСТ Р 56338; ГОСТ Р 56419

Приложение Г
(рекомендуемое)

Примеры расчета конструкции дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием

Г.1 Пример 1

Требуется запроектировать дорожную одежду с монолитным цементобетонным покрытием на автомобильной дороге IB категории в Волгоградской области.

Исходные данные

Категория дороги IB.

Количество полос движения — 4.

Ширина земляного полотна — 26,5 м.

Ширина проезжей части — 7,5×2.

Ширина обочины — 3,75 м.

Ширина разделительной полосы — 4,0 м.

Тип дорожной одежды — капитальный.

Вид материала покрытия — монолитный бетон.

Наличие штыревых соединений из стальной арматуры (армирования покрытия) — да.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица А.1) для монолитных бетонных покрытий со штыревыми соединениями из стальной арматуры индекс среды эксплуатации — XD3.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица В.3 и примечание 2 к ней), водонепроницаемость бетона покрытия — не менее W10 (суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и других солей, мг/дм³, при наличии испаряющих поверхностей).

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица Д.1) для индекса среды эксплуатации XD3 минимальный класс бетона по прочности на сжатие — В45, максимальное В/Ц — 0,45.

В соответствии с таблицей А.3 для минимального класса бетона по прочности на сжатие В45 минимальный класс бетона по прочности на растяжение при изгибе — B_{fb} 4.4.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица Е.1) минимальная марка морозостойкости бетона покрытия для расчетной зимней температуры воздуха минус 24 °С в условиях воздействия противогололедных реагентов — F2 300.

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633—2015 (раздел А.2 приложения А) и ГОСТ Р 59300—2021 (подраздел 5.2) для приготовления бетонной смеси могут быть использованы следующие виды цемента ЦЕМ I 42,5Б; ЦЕМ II/A-Ш 42,5Б.

Тип нормативной нагрузки — А-11,5.

Осевая нагрузка на дорожную одежду — 115 кН.

Статическая нагрузка на колесо — 57,50 кН.

Коэффициент динамичности — 1,3.

Давление на покрытие — 0,8 МПа.

Показатель изменения интенсивности движения по годам — 1,03.

Проектный срок службы конструкции дорожной одежды — 24 года.

Интенсивность движения на последний год срока службы дорожной одежды — 23 666 авт./сут и характеризуется следующим составом транспортного потока, представленным в таблице Г.1.

Коэффициент распределения интенсивности движения для наиболее нагруженной полосы движения — 0,45.

Предварительное назначение конструктивных слоев дорожной одежды

Слой основания — укатываемый бетон B_{fb} 1,6 толщиной 16 см, $E = 19\,000$ МПа.

Слой основания — гравийно-песчаная смесь ГПС 0-63 толщиной 25 см, $E = 230$ МПа.

Грунт земляного полотна — мелкий песок, $E = 100$ МПа.

Т а б л и ц а Г.1 — Число проездов транспортных средств по категориям транспортных средств

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Легковые	12 780 (54 %)
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	1420 (6 %)
Двухосные грузовые автомобили	473 (2 %)
Трехосные грузовые автомобили	1183 (5 %)
Четырехосные грузовые автомобили	1183 (5 %)

Окончание таблицы Г.1

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	473 (2 %)
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	473 (2 %)
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	710 (3 %)
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	710 (3 %)
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	1183 (5 %)
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	947 (4 %)
Шестиосные седельные автопоезда	1183 (5 %)
Автомобили с семью и более осями	238 (1 %)
Автобусы	710 (3 %)

Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием представлен на рисунке Г.1. Расчетные коэффициенты и параметры для расчета монолитного цементобетонного покрытия представлены в таблице Г.2.

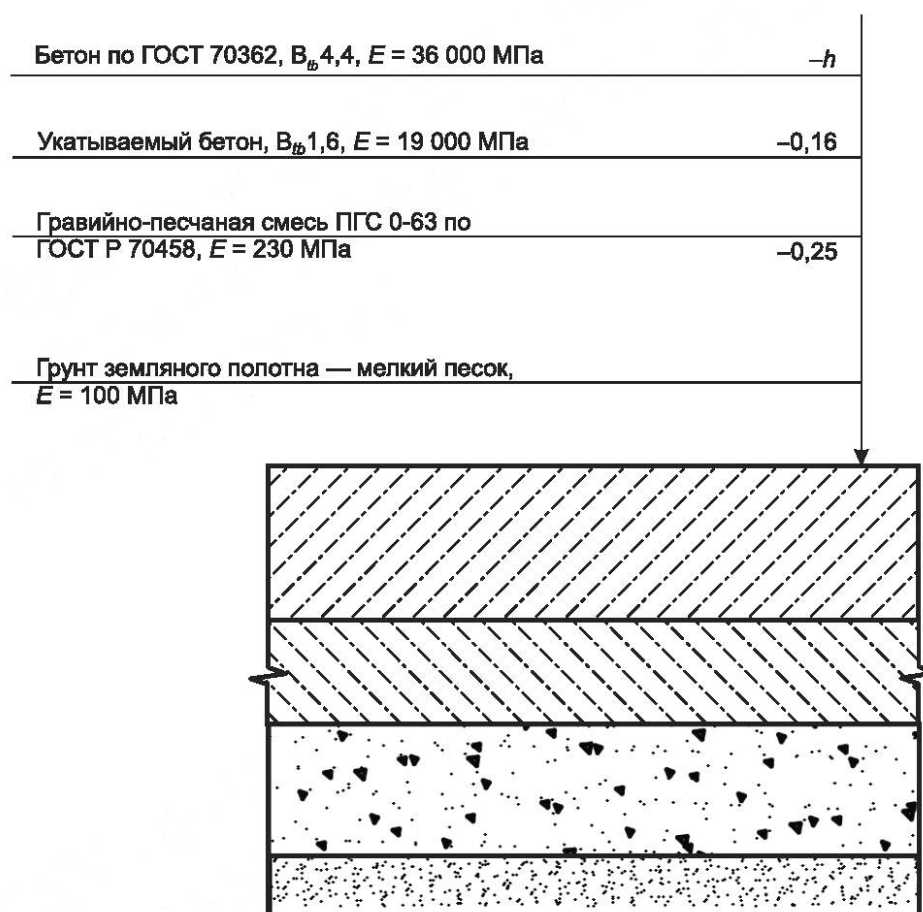


Рисунок Г.1 — Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием

Т а б л и ц а Г.2 — Расчетные коэффициенты и параметры расчета конструкции дорожной одежды

Наименование коэффициента и показателя	Обозначение	Значение коэффициента (показателя)
Расчетное число дней в году, соответствующее определенному состоянию деформируемости конструкции	$T_{\text{рдг}}$	145
Коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого	k_n	1,62
Расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности покрытия	A_n	15,0
Коэффициент, учитывающий влияние места приложения колесной нагрузки	K_m	1,5
Коэффициент набора прочности бетона во времени	$K_{\text{н.п}}$	1,2
Коэффициент условий работы	$K_{\text{усл}}$	0,66
Коэффициент, учитывающий воздействие циклов замораживания и оттаивания	K_F	0,95
Коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит покрытия с основанием	$K_{\text{шт}}$	1,0
Коэффициент линейного температурного расширения бетона	α	$1 \cdot 10^{-5}$
Угловая частота суточных колебаний температуры	ω	0,26
Коэффициент температуропроводности цементобетона	a_{tb}	0,004
Коэффициент Пуассона бетона	ν	0,20
Коэффициент прочности	$K_{\text{пр}}$	1,1
Коэффициент Пуассона основания	ν_o	0,25

Приведенную интенсивность движения к воздействию расчетной нагрузки на последний год срока службы определяют по формуле (7). Для удобства расчета данные представлены в таблице Г.3.

Т а б л и ц а Г.3 — Интенсивность движения, приведенная к нагрузке А11,5

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	1420	0,0015	2,13
Двухосные грузовые автомобили	473	1,51	714,23
Трехосные грузовые автомобили	1183	2,33	2756,39
Четырехосные грузовые автомобили	1183	2,56	3028,48
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	473	2,54	1201,42
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	473	2,13	1007,49
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	710	2,38	1689,80
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	710	2,96	2101,60
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	1183	2,83	3347,89

Окончание таблицы Г.3

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	947	3,01	2850,47
Шестиосные седельные автопоезда	1183	2,12	2507,96
Автомобили с семью и более осями	238	1,58	376,04
Автобусы	710	1,16	823,60
Итого: $\sum_{m=1}^n N_m \cdot S_m \text{ сум}$			22 408 ед./сут

$$N_p = 22408 \cdot 0,45 = 10084 \text{ ед./сут.}$$

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки за проектный срок службы дорожной одежды определяют по формуле (5):

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 10084 \cdot \frac{47,6}{1,03^{23}} \cdot 145 \cdot 1,62 = 2,8922 \cdot 10^7.$$

Коэффициент усталости бетона при повторном нагружении определяют по формуле (3):

$$K_y = 1,08 \cdot (2,8922 \cdot 10^7)^{-0,063} = 0,3659.$$

Расчет общего модуля упругости многослойного основания:

а) на уровне гравийно-песчаной смеси при $E_{гр} = 100$ МПа, $E_{ГПС} = 230$ МПа, $h_{ГПС} = 25$ см, $D = 50$ см:
- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3 = 2 \cdot 25 \cdot \sqrt[3]{\frac{230}{6 \cdot 100}} = 36,3 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_0^3 = \frac{230}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{230}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 36,3}{50}\right) + \frac{230}{100} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{36,3}\right)} = 128 \text{ МПа;}$$

б) на уровне укладываемого бетона В1,6 при $E_b = 19000$ МПа, $h_b = 16$ см, $D = 50$ см, $E_0^3 = 128$ МПа:
- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3^1 = 2 \cdot 16 \cdot \sqrt[3]{\frac{19000}{6 \cdot 128}} = 93,3 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_1^3 = \frac{19000}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{128}{19000}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 93,3}{50}\right) + \frac{19000}{128} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{93,3}\right)} = 407 \text{ МПа.}$$

Определение расчетной прочности бетона по формуле (2):

$$R_{\text{ри}}^{\text{расч}} = 4,4 \cdot 1,2 \cdot 0,3659 \cdot 0,95 = 1,835 \text{ МПа.}$$

Определение расчетной нагрузки:

$$Q = 57,50 \cdot 1,3 = 74,75 \text{ кН.}$$

Определение круга, равновеликого площади отпечатка колеса:

$$R = \sqrt{\frac{74,75}{0,1 \cdot \pi \cdot 0,8}} = 17,25 \text{ см.}$$

Для ряда значений толщины h рассчитывают:

- упругую характеристику плиты по формуле (11);

- напряжение от колесной нагрузки по формуле (9);
 - температурный перепад по формуле (15);
 - напряжение от температуры по формуле (14);
 - коэффициент усталости по формуле (16).
- Значения указанных величин приведены в таблице Г.4.

Таблица Г.4 — Результаты расчетов параметров вычисления

Толщина покрытия, см	Упругая характеристика плиты, см	Расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности покрытия, °С	Напряжение растяжения при изгибе от нагрузки, МПа	Напряжение от перепада температуры по толщине плиты, МПа	Суммарное напряжение, МПа	Коэффициент усталости
22	53,5	4,3	1,51	0,51	2,02	0,4421
23	55,9	4,0	1,41	0,48	1,89	0,4153
24	58,4	3,8	1,33	0,45	1,78	0,3909
25	60,8	3,6	1,25	0,43	1,68	0,3684
26	63,2	3,4	1,18	0,41	1,59	0,3478
27	65,7	3,2	1,12	0,38	1,50	0,3287

По линейной интерполяции таблицы между толщинами 25 и 26 см определяют значение толщины покрытия, соответствующее требуемому значению коэффициента усталости $K_y = 0,3659$:

$$h = \frac{26 - 25}{0,3684 - 0,3478} \cdot (0,3678 - 0,3659) + 25 \approx 25,1 \text{ см.}$$

Принимают толщину слоя цементобетонного покрытия дорожной одежды 26 см.

График коэффициента усталости K_y , построенный по результатам расчета для диапазона толщин от 25 до 30 см, также позволяет найти требуемое значение толщины, равное 26 см (рисунок Г.2).

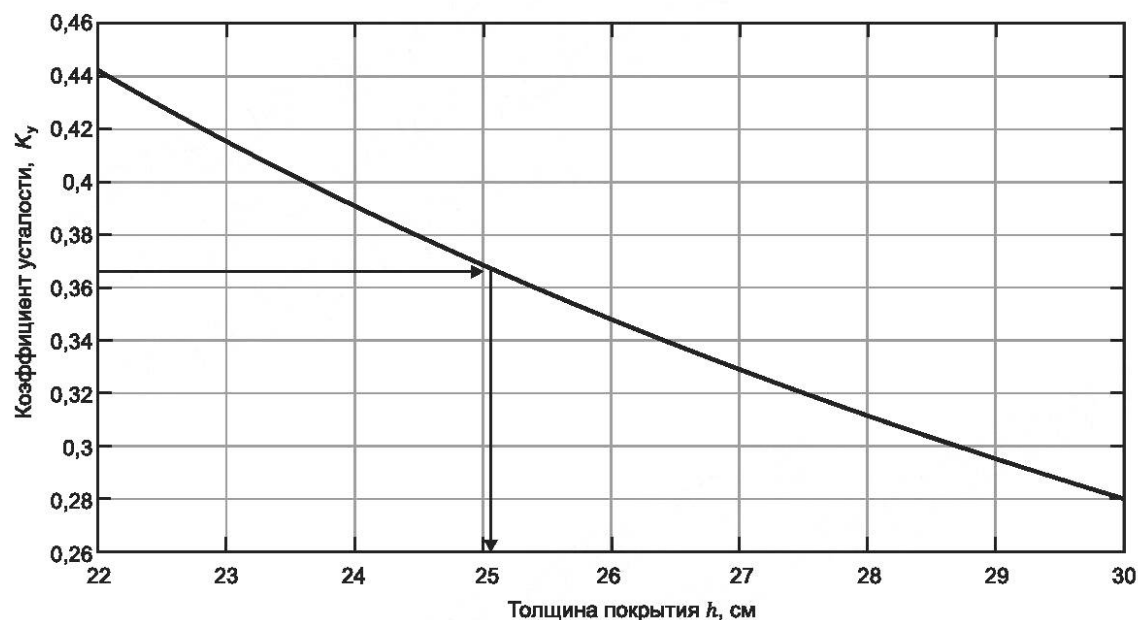


Рисунок Г.2 — Графическая интерпретация решения задачи расчета толщины бетонного покрытия.

Проверка условия прочности цементобетонного покрытия (1) для принятой толщины цементобетонного покрытия 26 см показывает:

$$K_{пр} = \frac{R_{пр}^{расч}}{\sigma_{pt}} = \frac{1,835}{1,59} = 1,15.$$

Г.2 Пример 2

Требуется запроектировать дорожную одежду с монолитным цементобетонным покрытием на автомобильной дороге III категории в Московской области.

Исходные данные

Категория дороги III.

Количество полос движения — 2.

Ширина земляного полотна — 12 м.

Ширина проезжей части — 7,0.

Ширина обочины — 2,50 м.

Тип дорожной одежды — капитальный.

Вид материала покрытия — монолитный бетон.

Наличие штыревых соединений из стальной арматуры (армирования покрытия) — нет.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица А.1) для монолитных бетонных покрытий индекс среды эксплуатации — XF4.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица В.3 и примечание 2 к ней), водонепроницаемость бетона покрытия — не менее W10 (Суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и других солей, мг/дм³, при наличии испаряющих поверхностей).

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица Д.1) для индекса среды эксплуатации XF4 минимальный класс бетона по прочности на сжатие — В35, максимальное В/Ц — 0,45.

В соответствии с таблицей А.3 для минимального класса бетона по прочности на сжатие В35 минимальный класс бетона по прочности на растяжение при изгибе — В_т4.0.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица Е.1) минимальная марка морозостойкости бетона покрытия для расчетной зимней температуры воздуха минус 29 °С в условиях воздействия противогололедных реагентов — F2 300.

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633—2015 (раздел А.2 приложения А) и ГОСТ Р 59300—2021 (подраздел 5.2) для приготовления бетонной смеси могут быть использованы следующие виды цемента ЦЕМ I 42,5Б; ЦЕМ II/A-Ш 42,5Б.

Тип нормативной нагрузки — А-11,5.

Осевая нагрузка на дорожную одежду — 115 кН.

Статическая нагрузка на колесо — 57,50 кН.

Коэффициент динамичности — 1,3.

Давление на покрытие — 0,8 МПа.

Показатель изменения интенсивности движения по годам — 1,03.

Проектный срок службы конструкции дорожной одежды — 30 лет.

Интенсивность движения, на последний год срока службы дорожной одежды — 5600 авт./сут и характеризуется составом транспортного потока, представленным в таблице Г.5.

Коэффициент распределения интенсивности движения для наиболее нагруженной полосы движения — 0,55.

Предварительное назначение конструктивных слоев дорожной одежды

Несущий слой основания — ЩГПС, укрепленная неорганическим вяжущим, марка материала М60, $E = 800$ МПа.

Дополнительный слой основания — песок средней крупности толщиной 35 см, $E = 120$ МПа.

Грунт земляного полотна — легкая песчанистая супесь, $E = 60$ МПа.

Модуль упругости грунта обеспечивается снижением расчетной влажности, определяемой по формуле (Б.1), при проведении мероприятий по укреплению обочин асфальтобетоном и устройством вертикального дренажа:

$$W_p = (0,57 + 0 + 0 - 0,05 - 0,05)(1 + 0,1 \cdot 1,45) = 0,54.$$

Согласно таблице Б.4 для супеси легкой песчанистой при $W_p = 0,54$, $E_{гр} = 60$ МПа.

Т а б л и ц а Г.5 — Число проездов транспортных средств по их категориям

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Легковые	3528 (63 %)
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	392 (7 %)
Двухосные грузовые автомобили	280 (5 %)
Трехосные грузовые автомобили	280 (5 %)
Четырехосные грузовые автомобили	112 (2 %)
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	112 (2 %)

Окончание таблицы Г.5

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	112 (2 %)
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168 (3 %)
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168 (3 %)
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	112 (2 %)
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	112 (2 %)
Шестиосные седельные автопоезда	56 (1 %)
Автомобили с семью и более осями	56 (1 %)
Автобусы	112 (3 %)

Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием представлен на рисунке Г.3. Расчетные коэффициенты и параметры для расчета монолитного цементобетонного покрытия представлены в таблице Г.6.

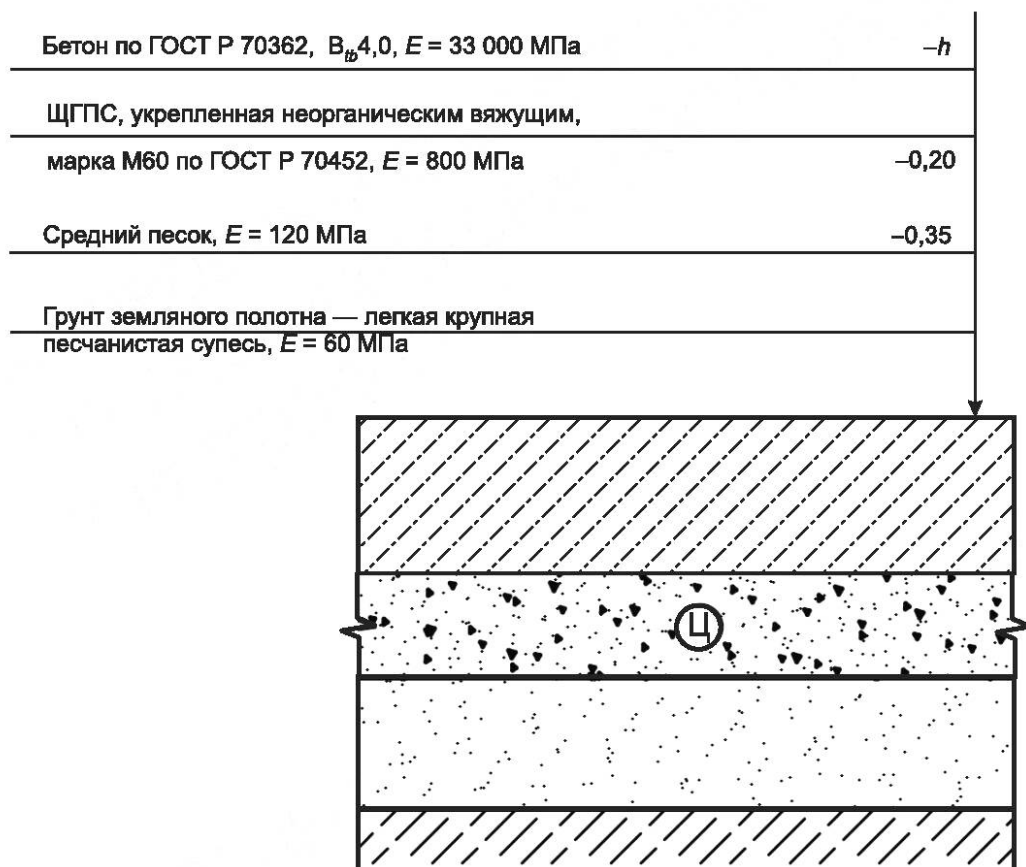


Рисунок Г.3 — Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием

Т а б л и ц а Г.6 — Расчетные коэффициенты и параметры расчета конструкции дорожной одежды

Наименование коэффициента и показателя	Обозначение	Значение коэффициента (показателя)
Расчетное число дней в году, соответствующее определенному состоянию деформируемости конструкции	$T_{рдг}$	125
Коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого	k_n	1,42
Расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности покрытия	A_n	14,0
Коэффициент, учитывающий влияние места приложения колесной нагрузки	K_m	1,5
Коэффициент набора прочности бетона во времени	$K_{н.п}$	1,2
Коэффициент условий работы	$K_{усл}$	0,66
Коэффициент, учитывающий воздействие циклов замораживания и оттаивания	K_F	0,95
Коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит покрытия с основанием	$K_{шт}$	1,0
Коэффициент линейного температурного расширения бетона	α	$1 \cdot 10^{-5}$
Угловая частота суточных колебаний температуры	ω	0,26
Коэффициент температуропроводности цементобетона	a_{tb}	0,004
Коэффициент Пуассона бетона	ν	0,20
Коэффициент прочности	$K_{пр}$	1,0
Коэффициент Пуассона основания	ν_o	0,25

Приведенную интенсивность движения к воздействию расчетной нагрузки на последний год срока службы определяют по формуле (7). Для удобства расчета данные представлены в таблице Г.7.

Т а б л и ц а Г.7 — Интенсивность движения, приведенная к нагрузке А11,5

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	392	0,0015	0,588
Двухосные грузовые автомобили	280	1,51	422,8
Трехосные грузовые автомобили	280	2,33	652,4
Четырехосные грузовые автомобили	112	2,56	286,72
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	112	2,54	284,48
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	112	2,13	238,56
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168	2,38	399,84
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168	2,96	497,28
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	112	2,83	316,96
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	112	3,01	337,12

Окончание таблицы Г.7

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Шестиосные седельные автопоезда	56	2,12	118,72
Автомобили с семью и более осями	56	1,58	88,48
Автобусы	112	1,16	129,92
Итого: $\sum_{m=1}^n N_m \cdot S_m \text{ сум}$			3774 ед./сут

$$N_p = 3774 \cdot 0,55 = 2076 \text{ ед./сут.}$$

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки за проектный срок службы дорожной одежды определяют по формуле (5):

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 2076 \cdot \frac{47,6}{1,03^{23}} \cdot 125 \cdot 1,38 = 4,4986 \cdot 10^6.$$

Коэффициент усталости бетона при повторном нагружении определяют по формуле (3):

$$K_y = 1,08 \cdot (4,4986 \cdot 10^6)^{-0,063} = 0,4114.$$

Расчет общего модуля упругости многослойного основания:

а) на уровне слоя песка при $E_{гр} = 60$ МПа, $E_n = 120$ МПа, $h_n = 35$ см, $D = 50$ см:

- эквивалентная толщина полупространства

$$h_э = 2 \cdot 35 \cdot \sqrt[3]{\frac{120}{6 \cdot 60}} = 48,5 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_0^э = \frac{120}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{60}{120}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 48,5}{60}\right) + \frac{120}{60} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{60}{48,5}\right)} = 78,1 \text{ МПа;}$$

б) на уровне слоя из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим при $E_{пц} = 800$ МПа, $h_{пц} = 20$ см, $D = 50$ см, $E_0^э = 78,1$ МПа:

- эквивалентная толщина полупространства

$$h_э^1 = 2 \cdot 20 \cdot \sqrt[3]{\frac{800}{6 \cdot 78,1}} = 47,8 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_1^э = \frac{800}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{78,1}{800}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 47,8}{50}\right) + \frac{800}{78,1} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{47,8}\right)} = 143,71 \text{ МПа.}$$

Определение расчетной прочности бетона по формуле (2):

$$R_{при}^{расч} = 4,0 \cdot 1,2 \cdot 0,4114 \cdot 0,95 = 1,87 \text{ МПа.}$$

Определение расчетной нагрузки:

$$Q = 57,50 \cdot 1,3 = 74,75 \text{ кН.}$$

Определение круга, равновеликого площади отпечатка колеса:

$$R = \sqrt{\frac{74,75}{0,1 \cdot \pi \cdot 0,8}} = 17,25 \text{ см.}$$

Для ряда значений толщины h рассчитывают:

- упругую характеристику плиты по формуле (11);
- напряжение от колесной нагрузки по формуле (9);

- температурный перепад по формуле (15);
 - напряжение от температуры по формуле (14);
 - коэффициент усталости по формуле (16).
- Значения указанных величин приведены в таблице Г.8.

Т а б л и ц а Г.8 — Результаты расчетов параметров вычисления

Толщина покрытия, см	Упругая характеристика плиты, см	Расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности покрытия, °С	Напряжение растяжения при изгибе от нагрузки, МПа	Напряжение от перепада температуры по толщине плиты, МПа	Суммарное напряжение, МПа	Коэффициент усталости
23	76,9	3,8	1,66	0,41	2,07	0,4545
24	80,29	3,6	1,56	0,39	1,95	0,4265
25	83,6	3,4	1,46	0,37	1,83	0,4008
26	86,9	3,2	1,38	0,35	1,73	0,3775
27	90,3	3,0	1,30	0,33	1,63	0,3560
28	93,6	2,8	1,22	0,31	1,53	0,3363

По линейной интерполяции таблицы между толщинами 24 и 25 см определяют значение толщины покрытия, соответствующее требуемому значению коэффициента усталости $K_y = 0,4114$:

$$h = \frac{25 - 24}{0,4265 - 0,4008} \cdot (0,4265 - 0,4114) + 24 \approx 24,6 \text{ см.}$$

Принимают толщину слоя цементобетонного покрытия дорожной одежды 25 см.

График коэффициента усталости K_y , построенный по результатам расчета для диапазона толщин от 23 до 28 см, также позволяет найти требуемое значение толщины, равное 25 см (рисунок Г.4).

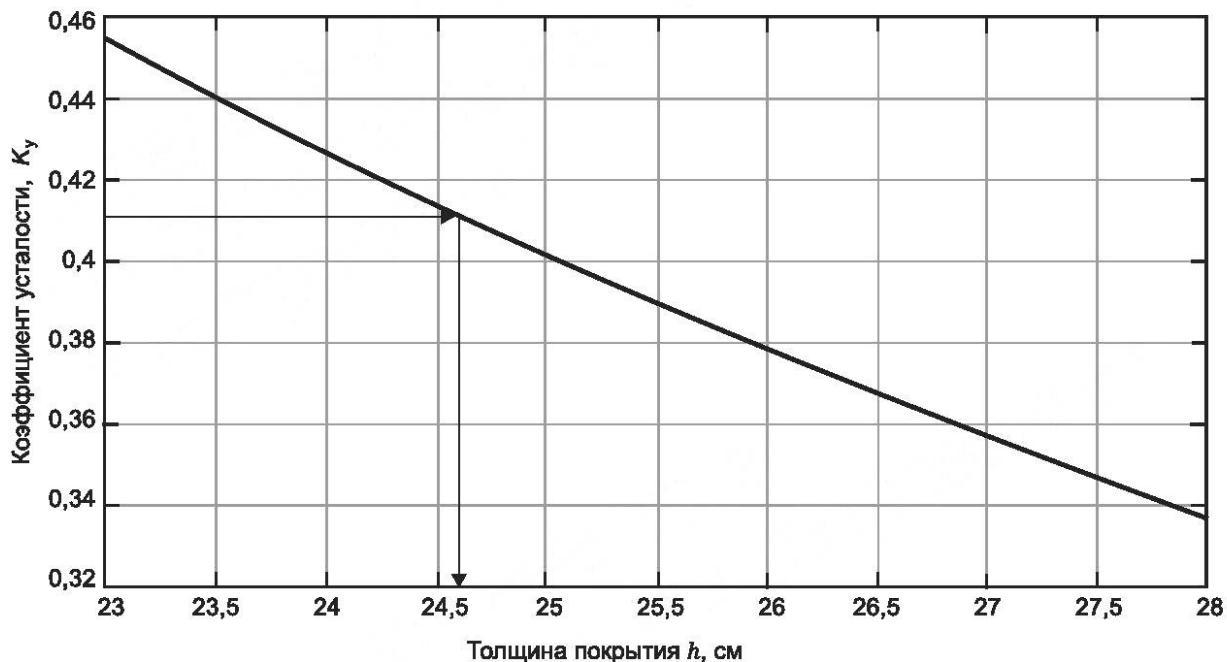


Рисунок Г.4 — Графическая интерпретация решения задачи расчета толщины бетонного покрытия.

Проверка условия прочности цементобетонного покрытия (1) для принятой толщины цементобетонного покрытия 25 см показывает:

$$K_{пр} = \frac{R_{пр}^{расч}}{\sigma_{pt}} = \frac{1,87}{1,83} = 1,02.$$

Приложение Д
(рекомендуемое)

Примеры расчета сборных покрытий из плит ПАГ и 1ПДН

Д.1 Пример 1

Требуется запроектировать дорожную одежду со сборным железобетонным покрытием на автомобильной дороге III категории в Московской области.

Исходные данные

Категория дороги — III.

Количество полос движения — 2.

Ширина земляного полотна — 12 м.

Ширина проезжей части — 7,0.

Ширина обочины — 2,50 м.

Тип дорожной одежды — капитальный.

Вид покрытия — железобетон ПАГ-14.

Класс бетона на растяжение при изгибе плиты $B_{tb} = 4,0$.

Требования к бетону в зависимости от класса эксплуатации:

максимальное В/Ц — 0,45;

минимальный класс бетона по прочности В35;

минимальный расход цемента 340 кг/м³;

минимальное воздуховлечение 4 %;

марка по морозостойкости F600;

марка по водопроницаемости W10.

Начальный модуль упругости плиты $E = 33\,000$ МПа.

Расчетное эксплуатационное сопротивление растяжению при изгибе при расчете по образованию трещин

$R_{tb,ser} = 4,0$ МПа.

Момент ядра сечения плиты $m_r = 5,32$ кН·м.

Тип нормативной нагрузки — А-11,5.

Осевая нагрузка на дорожную одежду — 115 кН.

Статическая нагрузка на колесо — 57,50 кН.

Коэффициент динамичности — 1,3.

Давление на покрытие — 0,8 МПа.

Показатель изменения интенсивности движения по годам — 1,03.

Проектный срок службы конструкции дорожной одежды — 24 года.

Интенсивность движения, на последний год срока службы дорожной одежды — 5600 авт./сут и характеризуется составом транспортного потока, представленным в таблице Д.1.

Коэффициент распределения интенсивности движения для наиболее нагруженной полосы движения — 0,55.

Предварительное назначение конструктивных слоев дорожной одежды

Несущий слой основания — ЩГПС, укрепленная неорганическим вяжущим, марка материала М60, $E = 800$ МПа.

Дополнительный слой основания — средней крупности песок толщиной 35 см, $E = 120$ МПа.

Грунт земляного полотна — легкая песчанистая супесь, $E = 60$ МПа.

Модуль упругости грунта обеспечивается снижением расчетной влажности, определяемой по формуле (Б.1), при проведении мероприятий по укреплению обочин асфальтобетоном и устройством вертикального дренажа:

$$W_p = (0,57 + 0 + 0 - 0,05 - 0,05)(1 + 0,1 \cdot 1,45) = 0,54.$$

Согласно таблице Б.4 для супеси легкой песчанистой при $W_p = 0,54$, $E_{гр} = 60$ МПа.

Т а б л и ц а Д.1 — Число проездов транспортных средств по их категориям

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Легковые	3528 (63 %)
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	392 (7 %)
Двухосные грузовые автомобили	280 (5 %)
Трехосные грузовые автомобили	280 (5 %)
Четырехосные грузовые автомобили	112 (2 %)

Окончание таблицы Д.1

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	112 (2 %)
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	112 (2 %)
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168 (3 %)
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168 (3 %)
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	112 (2 %)
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	112 (2 %)
Шестиосные седельные автопоезда	56 (1 %)
Автомобили с семью и более осями	56 (1 %)
Автобусы	112 (3 %)

Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды со сборным покрытием из плит представлен на рисунке Д.1.

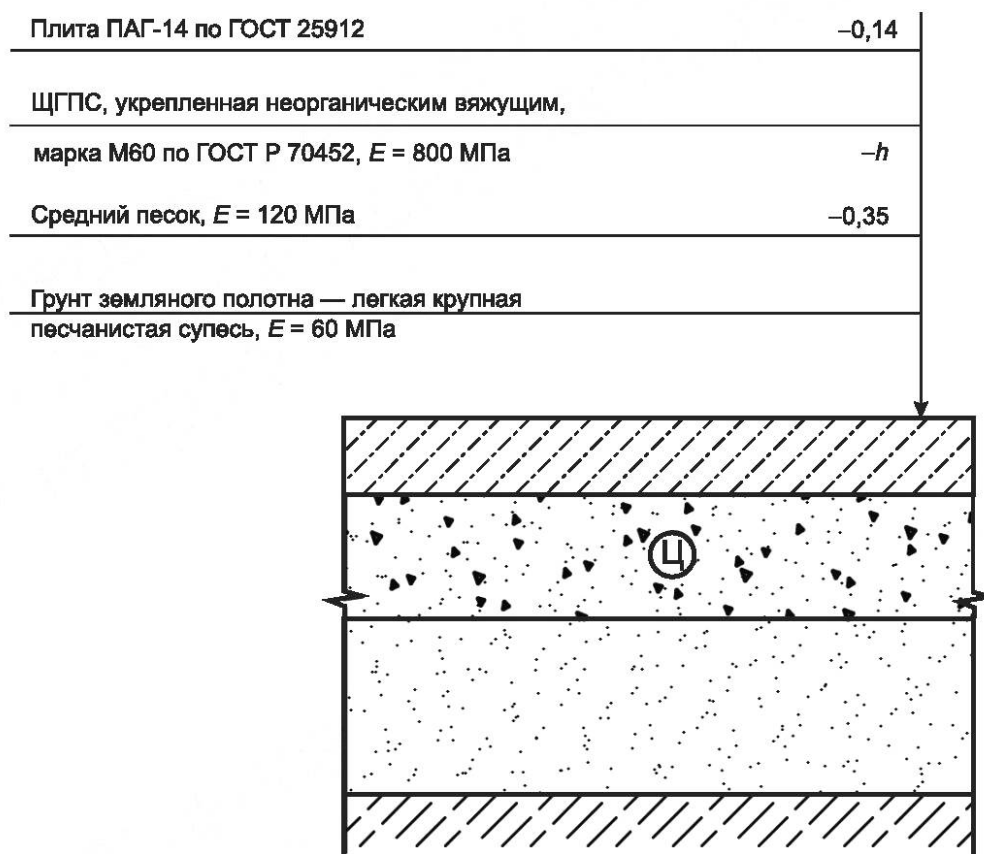


Рисунок Д.1 — Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды со сборным покрытием из плит

Приведенную интенсивность движения к воздействию расчетной нагрузки на последний год срока службы определяют по формуле (7). Для удобства расчета данные представлены в таблице Д.2.

Т а б л и ц а Д.2 — Интенсивность движения, приведенная к нагрузке А11,5

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	392	0,0015	0,588
Двухосные грузовые автомобили	280	1,51	422,8
Трехосные грузовые автомобили	280	2,33	652,4
Четырехосные грузовые автомобили	112	2,56	286,72
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	112	2,54	284,48
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	112	2,13	238,56
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168	2,38	399,84
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168	2,96	497,28
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	112	2,83	316,96
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	112	3,01	337,12
Шестиосные седельные автопоезда	56	2,12	118,72
Автомобили с семью и более осями	56	1,58	88,48
Автобусы	112	1,16	129,92
Итого: $\sum_{m=1}^n N_m \cdot S_{m \text{ сум}}$			3774 ед./сут

$$N_p = 3774 \cdot 0,55 = 2076 \text{ ед./сут.}$$

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки за проектный срок службы дорожной одежды определяют по формуле (5):

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 2076 \cdot \frac{47,6}{1,03^{23}} \cdot 125 \cdot 1,38 = 4,4986 \cdot 10^6.$$

Коэффициент усталости бетона при повторном нагружении определяют по формуле (3):

$$K_y = 1,08 \cdot (4,4986 \cdot 10^6)^{-0,063} = 0,4114.$$

Определение предельных значений сопротивления покрытия, соответствующих максимальному положительному и отрицательному моменту:

$$R^{(+)} = 1,95 \cdot 0,95 \cdot 60 \cdot \left(\frac{4 \cdot \left(\frac{14^2}{60} \right) + 5,32}{14^2} \right) = 10,43 \text{ МПа;}$$

$$R^{(-)} = 10,43 \cdot 1,24 = 12,93 \text{ МПа.}$$

Определение температурного перепада по толщине плиты покрытия:

$$\Delta t = 14 \cdot \left(e^{-\frac{14}{100} \sqrt{\frac{0,26}{2 \cdot 0,004}}} \right) = 6,30 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определение напряжения от воздействия температуры:

$$\sigma_t = \frac{10^{-5} \cdot 6,30 \cdot 3,3 \cdot 10^4}{2} \cdot 0,66 = 0,686 \text{ МПа}.$$

Расчет подбора толщины основания выполняют итерационным методом.

Предварительно назначают толщину слоя основания ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим $h_f = 22$ см.

Расчет общего модуля упругости многослойного основания:

а) на уровне слоя песка при $E_{гр} = 60$ МПа, $E_n = 120$ МПа, $h_n = 35$ см, $D = 50$ см:

- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3 = 2 \cdot 35 \cdot \sqrt[3]{\frac{120}{6 \cdot 60}} = 48,5 \text{ см},$$

- общий модуль упругости

$$E_0^3 = \frac{120}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{60}{120}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 48,5}{50}\right) + \frac{120}{60} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{48,5}\right)} = 78,09 \text{ МПа};$$

б) на уровне слоя из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим при $E_f = 800$ МПа, $h_f = 22$ см, $D = 50$ см, $E_0^3 = 78,09$ МПа:

- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3^1 = 2 \cdot 22 \cdot \sqrt[3]{\frac{800}{6 \cdot 78,09}} = 52,59 \text{ см},$$

- общий модуль упругости

$$E_1^3 = \frac{800}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{78,09}{800}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 52,59}{50}\right) + \frac{800}{78,09} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{52,59}\right)} = 151,8 \text{ МПа},$$

- упругая характеристика плиты

$$\ell = 14 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,3 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,25^2)}{6 \cdot 151,8 \cdot (1 - 0,20^2)}} = 45,96 \text{ см},$$

- коэффициент, учитывающий увеличение отрицательных изгибающих моментов при краевом нагружении для ПАГ-14 по графикам, равен 1,56.

Определяют значение напряжения $\sigma_p^{(+)}$:

$$\sigma_p^{(+)} = 60 \cdot \frac{74,75 \cdot 1,05 \cdot 0,66}{14^2} \cdot \left(0,0592 - 0,2137 \cdot \lg\left(\frac{17,25}{45,95}\right) \right) = 2,381 \text{ МПа}.$$

Определяют значения суммарных напряжений, вызванных положительными и отрицательными изгибающими моментами, и температурой:

$$\sigma_{pt}^{(+)} = 1,38 \cdot (2,381 + 0,686) = 4,23 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{pt}^{(-)} = 1,56 \cdot 1,10 \cdot (2,381 + 0,686) = 5,26 \text{ МПа}.$$

Определяют значения коэффициентов усталости при толщине основания из ЩГПС, укрепленного неорганическим вяжущим, $h_f = 22$ см:

$$K_y^{(+)} = \frac{4,23}{10,43} = 0,406,$$

$$K_y^{(-)} = \frac{5,26}{12,93} = 0,407.$$

Полученные значения коэффициентов усталости существенно меньше, чем его требуемое значение $K_y = 0,4114$.

Поэтому, расчет следует продолжить для более низких значений толщины основания из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим. Результаты расчетов приведены в таблицах Д.3 и Д.4.

Т а б л и ц а Д.3 — Результаты расчетов

Толщина основания h_f , см	Общий модуль упругости E_1^3 , МПа	Упругая характеристика плиты ℓ , см	Напряжение от нагрузки $\sigma_p^{(+)}$, МПа	Суммарное напряжение $\sigma_{pt}^{(+)}$, МПа	Коэффициент усталости $K_y^{(+)}$
16	128,04	48,645	2,47	4,35	0,4171
17	131,89	48,167	2,46	4,33	0,4151
18	135,79	47,701	2,44	4,31	0,4133
19	139,73	47,248	2,42	4,29	0,4114
20	143,71	46,808	2,41	4,27	0,4096
21	147,73	46,380	2,39	4,25	0,4078
22	151,78	45,963	2,38	4,23	0,4060

Т а б л и ц а Д.4 — Результаты расчетов

Толщина основания h_f , см	Общий модуль упругости E_1^3 , МПа	Коэффициент K_{mz}	Упругая характеристика плиты ℓ , см	Напряжение от нагрузки $\sigma_p^{(-)}$, МПа	Суммарное напряжение $\sigma_{pt}^{(-)}$, МПа	Коэффициент усталости $K_y^{(-)}$
16	128,04	1,542	48,645	2,47	5,34	0,4133
17	131,89	1,545	48,167	2,46	5,33	0,4123
18	135,79	1,548	47,701	2,44	5,32	0,4112
19	139,73	1,551	47,248	2,42	5,30	0,4102
20	143,71	1,554	46,808	2,41	5,29	0,4091
21	147,73	1,557	46,380	2,39	5,28	0,4081
22	151,78	1,560	45,963	2,38	5,26	0,4071

По линейной интерполяции таблицы между толщинами основания из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим, определяют значение толщины покрытия, соответствующее требуемому значению коэффициента усталости $K_y = 0,4114$, как максимальное значение из двух расчетов:

- по напряжениям, вызванным положительным изгибающим моментом, значение требуемой толщины плиты составляет:

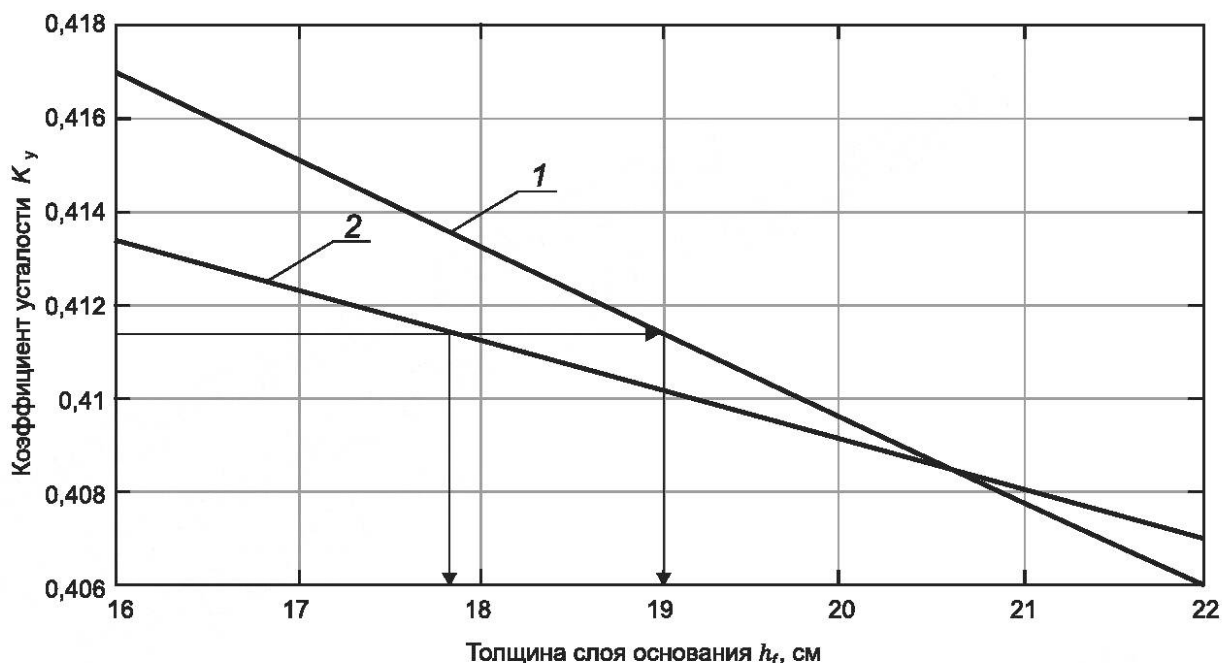
$$h_f = 19,0 \text{ см},$$

- по напряжениям, вызванным отрицательным изгибающим моментом интерполируют между 17 см и 18 см:

$$h_f = \frac{18 - 17}{0,4123 - 0,4112} \cdot (0,4123 - 0,4114) + 17 \approx 17,8 \text{ см}.$$

Принимают толщину слоя основания из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим сборной дорожной одежды 19 см.

Графическая интерпретация определения толщины основания сборной покрытия представлена на рисунке Д.2.



1 — расчет по положительным изгибающим моментам; 2 — расчет по отрицательным изгибающим моментам

Рисунок Д.2 — Графическая интерпретация решения задачи расчета толщины основания сборного покрытия

Проверка условия прочности по предельному состоянию для принятой толщины основания из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим, толщиной 19 см:

$$\begin{cases} \sigma_{pt}^{(+)} = 4,29 \leq 10,43 \cdot 0,4114 = 4,29 \\ \sigma_{pt}^{(-)} = 5,32 \leq 12,93 \cdot 0,4114 = 5,32 \end{cases}$$

Следовательно, прочность принятой конструкции сборной дорожной одежды обеспечена, коэффициент прочности по положительному моменту составляет:

$$K_{пр} = \frac{4,29}{4,29} = 1,0.$$

Д.2 Пример 2

Требуется запроектировать дорожную одежду со сборным железобетонным покрытием на автомобильной дороге III категории в Московской области.

Исходные данные:

Категория дороги — III.

Количество полос движения — 2.

Ширина земляного полотна — 12 м.

Ширина проезжей части — 7,0.

Ширина обочины — 2,50 м.

Тип дорожной одежды — капитальный.

Вид покрытия — железобетон 1ПДН-14.

Класс бетона на растяжение при изгибе плиты $B_{tb} = 4,0$.

Начальный модуль упругости плиты $E = 33\,000$ МПа.

Расчетное эксплуатационное сопротивление растяжению при изгибе при расчете по образованию трещин $R_{tb,ser} = 4,0$ МПа.

Момент ядра сечения плиты $m_f = 5,32$ кН·м.

Тип нормативной нагрузки — А-11,5.

Осевая нагрузка на дорожную одежду — 115 кН.

Статическая нагрузка на колесо — 57,50 кН.

Коэффициент динамичности — 1,3.

Давление на покрытие — 0,8 МПа.

Показатель изменения интенсивности движения по годам — 1,03.

Проектный срок службы конструкции дорожной одежды — 24 года.

Интенсивность движения, на последний год срока службы дорожной одежды — 5600 авт./сут и характеризуется следующим составом транспортного потока, представленным в таблице Д.5.

Коэффициент распределения интенсивности движения для наиболее нагруженной полосы движения — 0,55.

Предварительное назначение конструктивных слоев дорожной одежды

Несущий слой основания — ЦГПС, укрепленная неорганическим вяжущим, марка материала М20, $E = 500$ МПа.

Дополнительный слой основания — песок средней крупности толщиной 35 см, $E = 120$ МПа.

Грунт земляного полотна — легкая песчанистая супесь, $E = 60$ МПа.

Модуль упругости грунта обеспечивается снижением расчетной влажности, определяемой по формуле (Б.1), при проведении мероприятий по укреплению обочин асфальтобетоном и устройством вертикального дренажа:

$$W_p = (0,57 + 0 + 0 - 0,05 - 0,05)(1 + 0,1 \cdot 1,45) = 0,54.$$

Согласно таблице Б.4 для легкой песчанистой супеси при $W_p = 0,54$, $E_{гр} = 60$ МПа.

Т а б л и ц а Д.5 — Число проездов транспортных средств по их категориям

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Легковые	3528 (63 %)
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	392 (7 %)
Двухосные грузовые автомобили	280 (5 %)
Трехосные грузовые автомобили	280 (5 %)
Четырехосные грузовые автомобили	112 (2 %)
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	112 (2 %)
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	112 (2 %)
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168 (3 %)
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168 (3 %)
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	112 (2 %)
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	112 (2 %)
Шестиосные седельные автопоезда	56 (1 %)
Автомобили с семью и более осями	56 (1 %)
Автобусы	112 (3 %)

Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды со сборным покрытием из плит представлен на рисунке Д.3.

Приведенную интенсивность движения к воздействию расчетной нагрузки на последний год срока службы определяют по формуле (7). Для удобства расчета данные представлены в таблице Д.6.

Плита 1ПДН -14 по ГОСТ Р 56600	–0,14
ЩГПС, укрепленная неорганическим вяжущим, марка М20 по ГОСТ Р 70452, $E = 500$ МПа	– h
Средний песок, $E = 120$ МПа	–0,35
Грунт земляного полотна — легкая крупная песчанистая супесь, $E = 60$ МПа	

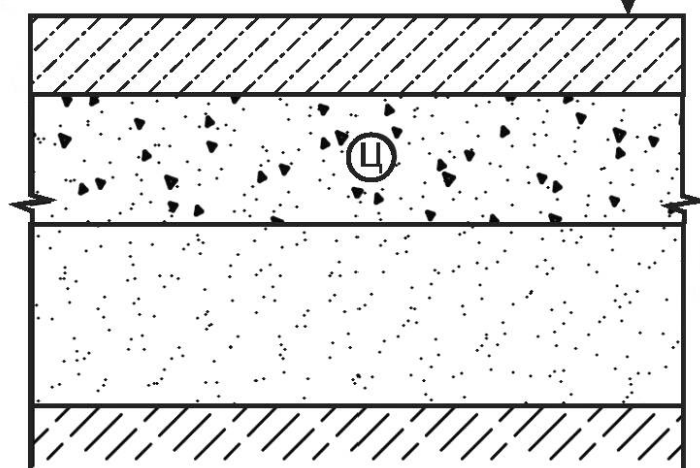


Рисунок Д.3 — Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды со сборным покрытием из плит

Таблица Д.6 — Интенсивность движения, приведенная к нагрузке А11,5

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	392	0,0015	0,588
Двухосные грузовые автомобили	280	1,51	422,8
Трехосные грузовые автомобили	280	2,33	652,4
Четырехосные грузовые автомобили	112	2,56	286,72
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	112	2,54	284,48
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	112	2,13	238,56
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168	2,38	399,84
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	168	2,96	497,28
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	112	2,83	316,96
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	112	3,01	337,12

Окончание таблицы Д.6

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Шестиосные седельные автопоезда	56	2,12	118,72
Автомобили с семью и более осями	56	1,58	88,48
Автобусы	112	1,16	129,92
Итого: $\sum_{m=1}^n N_m \cdot S_{m \text{ сум}}$			3774 ед./сут

$$N_p = 3774 \cdot 0,55 = 2076 \text{ ед./сут.}$$

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки за проектный срок службы дорожной одежды определяют по формуле (5):

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 2076 \cdot \frac{47,6}{1,03^{23}} \cdot 125 \cdot 1,38 = 4,4986 \cdot 10^6.$$

Коэффициент усталости бетона при повторном нагружении определяют по формуле (3):

$$K_y = 1,08 \cdot (4,4986 \cdot 10^6)^{-0,063} = 0,4114.$$

Определение предельных значений сопротивления покрытия, соответствующие максимальному положительному и отрицательному моменту:

$$R^{(+)} = 1,95 \cdot 0,95 \cdot 60 \cdot \left(\frac{4 \cdot \left(\frac{14^2}{60} \right) + 5,32}{14^2} \right) = 10,43 \text{ МПа;}$$

$$R^{(-)} = 10,43 \cdot 1,24 = 12,93 \text{ МПа.}$$

Определение температурного перепада по толщине плиты покрытия:

$$\Delta t = 14 \cdot \left(e^{-\frac{14}{100} \sqrt{\frac{0,26}{2 \cdot 0,004}}} \right) = 6,30 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Определение напряжения от воздействия температуры:

$$\sigma_t = \frac{10^{-5} \cdot 6,30 \cdot 3,3 \cdot 10^4}{2} \cdot 0,66 = 0,686 \text{ МПа.}$$

Расчет подбора толщины основания выполняем итерационным методом.

Предварительно назначаем толщину слоя основания ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим $h_f = 22$ см.

Расчет общего модуля упругости многослойного основания:

а) на уровне слоя песка при $E_{гр} = 60$ МПа, $E_n = 120$ МПа, $h_n = 35$ см, $D = 50$ см:

- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3 = 2 \cdot 35 \cdot \sqrt[3]{\frac{120}{6 \cdot 60}} = 48,5 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_0^3 = \frac{120}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{60}{120}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 48,5}{50}\right) + \frac{120}{60} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{48,5}\right)} = 78,09 \text{ МПа;}$$

б) на уровне слоя из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим, при $E_f = 500$ МПа, $h_f = 22$ см, $D = 50$ см, $E_0^3 = 78,09$ МПа:

- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3^1 = 2 \cdot 22 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{6 \cdot 78,09}} = 44,96 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_1^3 = \frac{500}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{78,09}{500}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 44,96}{50}\right) + \frac{500}{78,09} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{44,96}\right)} = 133,16 \text{ МПа},$$

- упругая характеристика плиты

$$\ell = 14 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,3 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,25^2)}{6 \cdot 133,16 \cdot (1 - 0,20^2)}} = 48,01 \text{ см},$$

- коэффициент, учитывающий увеличение отрицательных изгибающих моментов при краевом нагружении для 1ПДН-14 по графикам, равен 1,546.

Определяют значение напряжения $\sigma_p^{(+)}$:

$$\sigma_p^{(+)} = 60 \cdot \frac{74,75 \cdot 1,05 \cdot 0,66}{14^2} \cdot \left(0,0592 - 0,2137 \cdot \lg\left(\frac{17,25}{48,01}\right)\right) = 2,446 \text{ МПа}.$$

Определяют значения суммарных напряжений, вызванных положительными и отрицательными изгибающими моментами, и температурой:

$$\sigma_{pt}^{(+)} = 1,38 \cdot (2,445 + 0,686) = 4,32 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{pt}^{(-)} = 1,622 \cdot 1,10 \cdot (2,445 + 0,686) = 5,33 \text{ МПа}.$$

Определяют значения коэффициентов усталости при толщине основания из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим, $h_f = 22$ см:

$$K_y^{(+)} = \frac{4,32}{10,43} \approx 0,414,$$

$$K_y^{(-)} = \frac{5,33}{12,93} \approx 0,412.$$

Полученные значения коэффициентов усталости больше, чем его требуемое значение $K_y = 0,4114$.

Поэтому, расчет следует продолжить для более низких значений толщины основания из песка, укрепленного неорганическим вяжущим. Результаты расчетов приведены в таблицах Д.7 и Д.8.

Т а б л и ц а Д.7 — Результаты расчетов

Толщина основания h_f , см	Общий модуль упругости E_1^3 , МПа	Упругая характеристика плиты ℓ , см	Напряжение от нагрузки $\sigma_p^{(+)}$, МПа	Суммарное напряжение $\sigma_{pt}^{(+)}$, МПа	Коэффициент усталости $K_y^{(+)}$
20	127,27	48,742	2,47	4,353	0,4175
21	130,21	48,373	2,46	4,337	0,4160
22	133,16	48,012	2,45	4,322	0,4145
23	136,14	47,660	2,43	4,307	0,4131
24	139,12	47,317	2,42	4,293	0,4117
25	142,12	46,982	2,41	4,278	0,4103
26	145,12	46,656	2,403	4,264	0,4089
27	148,13	46,338	2,39	4,250	0,4076

Т а б л и ц а Д.8 — Результаты расчетов

Толщина основания h_f , см	Общий модуль упругости E_1^3 , МПа	Коэффициент K_{mz}	Упругая характеристика плиты ℓ , см	Напряжение от нагрузки $\sigma_p^{(-)}$, МПа	Суммарное напряжение $\sigma_{pt}^{(-)}$, МПа	Коэффициент усталости $K_y^{(-)}$
20	127,27	1,541	48,742	2,47	5,347	0,4135
21	130,21	1,544	48,373	2,46	5,337	0,4128

Окончание таблицы Д.7

Толщина основания h_f , см	Общий модуль упругости E_1^3 , МПа	Коэффициент K_{mz}	Упругая характеристика плиты ℓ , см	Напряжение от нагрузки $\sigma_p^{(-)}$, МПа	Суммарное напряжение $\sigma_{pt}^{(-)}$, МПа	Коэффициент усталости $K_y^{(-)}$
22	133,16	1,546	48,012	2,45	5,326	0,4120
23	136,14	1,548	47,660	2,43	5,316	0,4111
24	139,12	1,551	47,317	2,42	5,306	0,4104
25	142,12	1,553	46,982	2,41	5,295	0,4096
26	145,12	1,555	46,656	2,403	5,285	0,4088
27	148,13	1,557	46,338	2,39	5,275	0,4080

По линейной интерполяции таблицы между толщинами основания из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим, определяют значение толщины покрытия, соответствующее требуемому значению коэффициента усталости $K_y = 0,4114$ как максимальное значение из двух расчетов:

- по напряжениям, вызванным положительным изгибающим моментом интерполируют между 24 см и 25 см:

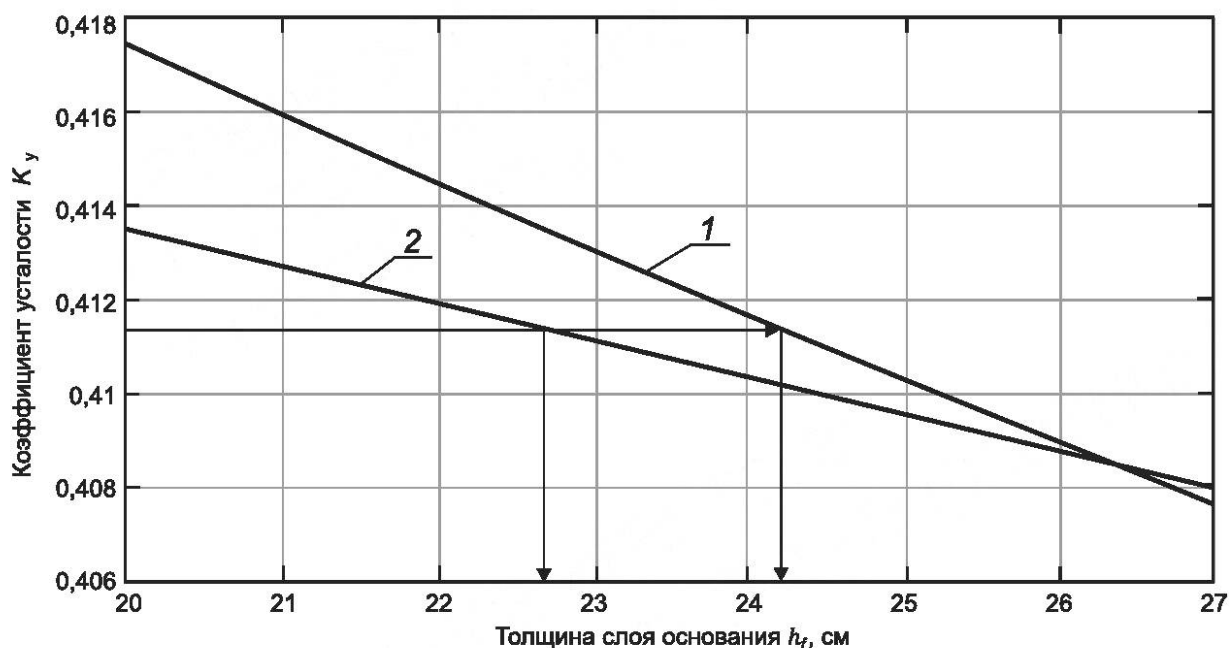
$$h_f = \frac{25 - 24}{0,4117 - 0,4103} \cdot (0,4117 - 0,4114) + 24 \approx 24,2 \text{ см};$$

- по напряжениям, вызванным отрицательным изгибающим моментом интерполируют между 22 см и 23 см:

$$h_f = \frac{23 - 22}{0,4120 - 0,4111} \cdot (0,4120 - 0,4114) + 22 \approx 22,7 \text{ см}.$$

Принимают толщину слоя основания из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим, сборной дорожной одежды 25 см.

Графическая интерпретация определения толщины основания сборной покрытия представлена на рисунке Д.4.



1 — расчет по положительным изгибающим моментам; 2 — расчет по отрицательным изгибающим моментам

Рисунок Д.4 — Графическая интерпретация решения задачи расчета толщины основания сборной покрытия

Проверка условия прочности по предельному состоянию для принятой толщины основания из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим, толщиной 25 см:

$$\begin{cases} \sigma_{pt}^{(+)} = 4,278 < 10,43 \cdot 0,4114 = 4,29 \\ \sigma_{pt}^{(-)} = 5,295 < 12,93 \cdot 0,4114 = 5,32 \end{cases}$$

Следовательно, прочность принятой конструкции сборной дорожной одежды обеспечена, коэффициент прочности по положительному моменту составляет:

$$K_{пр} = \frac{4,290}{4,278} = 1,003.$$

Приложение Е
(рекомендуемое)

Пример расчета конструкции дорожной одежды с монолитным железобетонным покрытием

Пример. Требуется запроектировать дорожную одежду с монолитным железобетонным покрытием на автомобильной дороге ІВ категории в Волгоградской области.

Исходные данные

Категория дороги ІВ.

Количество полос движения — 4.

Ширина земляного полотна — 26,5 м.

Ширина проезжей части — 7,5 × 2.

Ширина обочины — 3,75 м.

Ширина разделительной полосы — 4,0 м.

Тип дорожной одежды — капитальный.

Вид материала покрытия — монолитный бетон.

Наличие штыревых соединений из стальной арматуры (армирования покрытия) — да.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица А.1) для монолитных бетонных покрытий со штыревыми соединениями из стальной арматуры индекс среды эксплуатации — XD3.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица В.3) и примечания 2 к ней, водонепроницаемость бетона покрытия — не менее W10 (Суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и других солей, мг/дм³, при наличии испаряющих поверхностей).

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица Д.1) для индекса среды эксплуатации XD3 минимальный класс бетона по прочности на сжатие — B45, максимальное В/Ц—0,45.

В соответствии с таблицей А.3 для минимального класса бетона по прочности на сжатие B45 минимальный класс бетона по прочности на растяжение при изгибе — B_{fb} 4.4.

В соответствии с ГОСТ 31384—2017 (таблица Е.1) минимальная марка морозостойкости бетона покрытия для расчетной зимней температуры воздуха минус 24 °С в условиях воздействия противогололедных реагентов — F2 300.

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633—2015 (раздел А.2 приложения А) и ГОСТ Р 59300—2021 (подраздел 5.2) для приготовления бетонной смеси могут быть использованы следующие виды цементов ЦЕМ І 42,5Б; ЦЕМ ІІ/А-Ш 42,5Б.

Осевая нагрузка на дорожную одежду — 115 кН.

Статическая нагрузка на колесо — 57,50 кН.

Коэффициент динамичности — 1,3.

Давление на покрытие — 0,8 МПа.

Показатель изменения интенсивности движения по годам — 1,03.

Проектный срок службы конструкции дорожной одежды — 24 года.

Интенсивность движения на последний год срока службы дорожной одежды — 23 666 авт./сут и характеризуется следующим составом транспортного потока, представленным в таблице Е.1.

Коэффициент распределения интенсивности движения для наиболее нагруженной полосы движения — 0,45.

Предварительное назначение конструктивных слоев дорожной одежды

Несущий слой основания — ЩГПС, укрепленная неорганическим вяжущим, марка материала М60, $E = 800$ МПа, толщиной 18 см.

Дополнительный слой основания — средней крупности песок толщиной 25 см, $E = 130$ МПа.

Грунт земляного полотна — легкая песчанистая супесь, $E = 60$ МПа.

Т а б л и ц а Е.1 — Число проездов транспортных средств по категориям транспортных средств

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Легковые	12 780 (54 %)
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	1420 (6 %)
Двухосные грузовые автомобили	473 (2 %)
Трехосные грузовые автомобили	1183 (5 %)
Четырехосные грузовые автомобили	1183 (5 %)

Окончание таблицы Е.1

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	473 (2 %)
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	473 (2 %)
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	710 (3 %)
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	710 (3 %)
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	1183 (5 %)
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	947 (4 %)
Шестиосные седельные автопоезда	1183 (5 %)
Автомобили с семью и более осями	238 (1 %)
Автобусы	710 (3 %)

Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием представлен на рисунке Е.1. Расчетные коэффициенты и параметры для расчета монолитного цементобетонного покрытия представлены в таблице Е.2.

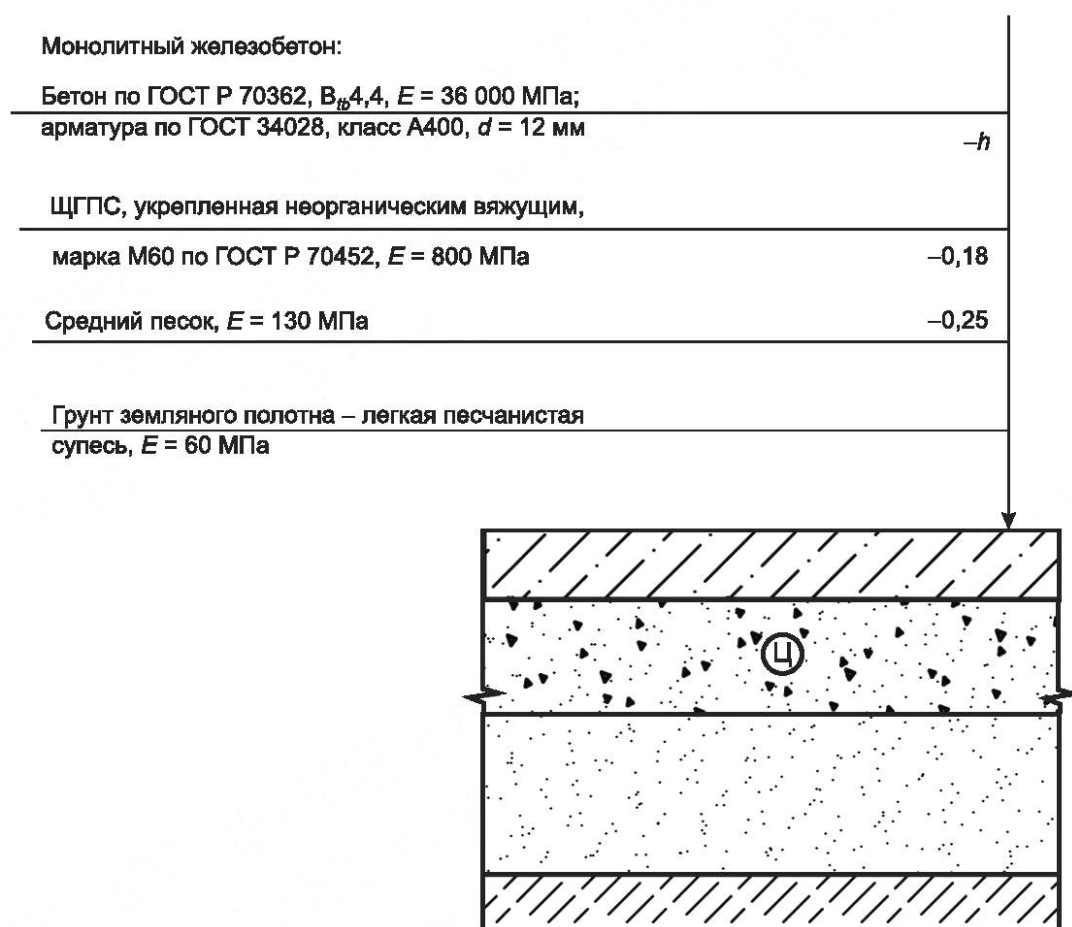


Рисунок Е.1 — Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды с монолитным железобетонным покрытием

Т а б л и ц а Е.2 — Расчетные коэффициенты и параметры расчета конструкции дорожной одежды

Наименование коэффициента и показателя	Обозначение	Значение коэффициента (показателя)
Расчетное число дней в году, соответствующее определенному состоянию деформируемости конструкции	$T_{рдг}$	145
Коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого	k_n	1,62
Расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности покрытия	A_n	15,0
Коэффициент, учитывающий влияние места приложения колесной нагрузки	K_m	1,15
Коэффициент условий работы	$K_{усл}$	0,66
Коэффициент, учитывающий воздействие циклов замораживания и оттаивания	K_F	0,95
Коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит покрытия с основанием	$K_{шт}$	1,0
Значение модуля упругости покрытия, МПа	E_b	36000
Класс арматуры А-400. Номинальный диаметр стержня, мм	d	12
Модуль упругости арматурной стали, МПа	E_s	$2 \cdot 10^5$
Расчетное сопротивление арматурной стали, МПа	R_s	365
Процент армирования	μ_a	0,35
Толщина защитного слоя, м	a_0	0,03
Коэффициент линейного температурного расширения бетона	α	$1 \cdot 10^{-5}$
Угловая частота суточных колебаний температуры	ω	0,26
Коэффициент температуропроводности цементобетона	a_{tb}	0,004
Коэффициент Пуассона бетона	ν	0,20
Коэффициент прочности	$K_{пр}$	1,1
Коэффициент Пуассона основания	ν_o	0,25

Приведенную интенсивность движения к воздействию расчетной нагрузки на последний год срока службы определяем по формуле (7). Для удобства расчета данные представлены в таблице Е.3.

Т а б л и ц а Е.3 — Интенсивность движения, приведенная к нагрузке А11,5

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	1420	0,0015	2,13
Двухосные грузовые автомобили	473	1,51	714,23
Трехосные грузовые автомобили	1183	2,33	2756,39
Четырехосные грузовые автомобили	1183	2,56	3028,48
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	473	2,54	1201,42

Окончание таблицы Е.3

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	473	2,13	1007,49
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	710	2,38	1689,80
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	710	2,96	2101,60
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	1183	2,83	3347,89
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	947	3,01	2850,47
Шестиосные седельные автопоезда	1183	2,12	2507,96
Автомобили с семью и более осями	238	1,58	376,04
Автобусы	710	1,16	823,60
Итого: $\sum_{m=1}^n N_m \cdot S_m \text{ сум}$			22 408 ед./сут

$$N_p = 22408 \cdot 0,45 = 10084 \text{ ед./сут.}$$

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки за проектный срок службы дорожной одежды определяют по формуле (5):

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 10084 \cdot \frac{47,6}{1,03^{23}} \cdot 145 \cdot 1,62 = 3,3473 \cdot 10^7.$$

Коэффициент усталости бетона при повторном нагружении, определяем по формуле (3):

$$K_y = 1,08 \cdot (3,2497 \cdot 10^{-7})^{-0,063} = 0,3659.$$

Расчет общего модуля упругости многослойного основания:

а) на уровне слоя песка при $E_{гр} = 60$ МПа, $E_n = 130$ МПа, $h_n = 25$ см, $D = 50$ см:

- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3 = 2 \cdot 25 \cdot \sqrt[3]{\frac{130}{6 \cdot 60}} = 35,6 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_0^3 = \frac{130}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{60}{130}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 35,6}{50}\right) + \frac{130}{60} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{35,6}\right)} = 75 \text{ МПа;}$$

б) на уровне слоя из ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим при $E_{пц} = 800$ МПа, $h_{пц} = 18$ см, $D = 50$ см, $E_0^3 = 75$ МПа:

- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3^1 = 2 \cdot 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{800}{6 \cdot 75}} = 43,6 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_1^3 = \frac{800}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{75}{800}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 43,6}{50}\right) + \frac{800}{75} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{43,6}\right)} = 131,68 \text{ МПа.}$$

Определение расчетной нагрузки:

$$Q = 57,50 \cdot 1,3 = 74,75 \text{ кН.}$$

Определение круга, равновеликого площади отпечатка колеса:

$$R = \sqrt{\frac{74,75}{0,1 \cdot \pi \cdot 0,8}} = 17,25 \text{ см.}$$

Назначают толщину железобетонного покрытия $h = 17$ см.

По формуле (11) вычисляют значение упругой характеристики плиты при $E_b = 36\,000$ МПа:

$$\ell = 17 \cdot \sqrt[3]{\frac{36000 \cdot (1 - 0,25^2)}{6 \cdot 131,68 \cdot (1 - 0,20^2)}} = 60,24 \text{ см.}$$

По формуле (9) определяют напряжение в покрытии при изгибе от колесной нагрузки:

$$\sigma_p = \frac{74,75 \cdot 0,66 \cdot 60 \cdot 1,15 \cdot 1}{17^2} \cdot \left(0,0592 - 0,2137 \cdot \lg \left(\frac{17,25}{60,24} \right) \right) = 2,065 \text{ МПа.}$$

По формуле (15) находят значение температурного перепада по толщине плиты покрытия:

$$\Delta t = 15 \cdot \left(e^{-\frac{17}{100} \cdot \sqrt{\frac{0,26}{2 \cdot 0,004}}} \right) = 5,69 \text{ }^\circ\text{C.}$$

По формуле (14) определяют напряжение в покрытии от воздействия температуры:

$$\sigma_t = \frac{1 \cdot 10^{-5} \cdot 5,69 \cdot 36000}{2} \cdot 0,66 = 0,6761 \text{ МПа.}$$

Суммарное напряжение от нагрузки и температуры с учетом коэффициента прочности:

$$\sigma_{pt} = (\sigma_p + \sigma_t) \cdot K_{np}^{TP} = (2,065 + 0,6761) \cdot 1,1 = 3,015 \text{ МПа.}$$

По формуле (38) находят момент от нагрузки и температуры:

$$m = \frac{3,015 \cdot 17^2}{60 \cdot 1,3} = 11,171 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Рассчитывают рабочую высоту сечения:

$$h_0 = 17 - 3 - \frac{1,2}{2} = 13,4 \text{ см.}$$

Площадь растянутой арматуры при назначенном проценте армирования $\mu_a = 0,35$ % на 1 м ширины сечения железобетонной плиты будет равна:

$$F_s = \frac{\mu_a \cdot h_0}{100} = \frac{0,35}{100} \cdot 0,134 = 4,69 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Количество стержней растянутой арматуры при назначенном проценте армирования $\mu_a = 0,35$ % на 1 м ширины сечения железобетонной плиты будет равно:

$$n = \frac{4,69 \cdot 4}{\pi \cdot 1,2^2} = 4,147 \text{ шт.}$$

Шаг арматуры l_s (см), параллельной рассматриваемому сечению, рассчитывают по формуле:

$$l_s = \frac{1}{4,147 - 1} \cdot 100 = 31,78 \text{ см.}$$

По интерполяции таблицы 8 находят значение параметра $\psi_c = 0,48$ при отношении

$$\frac{l_s}{h} = 1,869.$$

Определяют параметр θ_0 по формуле (34):

$$\theta_0 = \frac{2 \cdot 10^5}{36000} \cdot \frac{0,48}{0,2} \cdot 0,0035 = 0,0467.$$

Высота сжатой зоны бетона по формуле (33):

$$x = \left(-0,0467 + \sqrt{0,0467^2 + 2 \cdot 0,0467} \right) \cdot 13,4 = 3,5159 \text{ см.}$$

Рассчитывают по формуле (31) предельный изгибающий момент в сечении железобетонной плиты:

$$m_{\text{и}} = 4,69 \cdot 10^{-4} \cdot 365 \cdot 0,95 \cdot \left(13,4 - \frac{3,5159}{3} \right) \cdot 10^{-2} \cdot 10^3 = 19,886 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Коэффициент усталости по покрытию будет равен:

$$K_y = \frac{11,171}{19,886} = 0,5618.$$

Назначенная толщина не удовлетворяет требованиям, так как существенно ниже величины, определенной по формуле (3), $K_y = 0,3659$, поэтому делают перерасчет для других толщин.

Результаты расчетов для ряда значений толщины железобетонного покрытия приведены в таблице Е.4.

Т а б л и ц а Е.4 — Результаты расчетов параметров вычисления

Толщина покрытия, см	Упругая характеристика плиты, см	Высота сжатой зоны бетона, см	Суммарное напряжение, МПа	Момент от нагрузки и температуры m , кН · м	Предельный момент $m_{\text{и}}$, кН · м	Коэффициент усталости
17	60,2413	3,5159	3,02	11,171	19,886	0,5618
18	63,7849	3,7783	2,79	11,588	22,965	0,5046
19	67,3286	4,1128	2,59	11,982	26,220	0,4570
20	70,8722	4,5068	2,41	12,354	29,652	0,4166
21	74,4158	4,9059	2,25	12,704	33,290	0,3816
22	77,9594	5,3030	2,10	13,034	37,141	0,3509

По линейной интерполяции таблицы между толщинами 21 и 22 см определяют значение толщины покрытия, соответствующее требуемому значению коэффициента усталости $K_y = 0,3659$:

$$h = \frac{22 - 21}{0,3816 - 0,3509} \cdot (0,3816 - 0,3659) + 21 \approx 21,51 \text{ см.}$$

Принимают толщину слоя железобетонного покрытия дорожной одежды 22 см.

Проверка условия прочности цементобетонного покрытия (30) для принятой толщины железобетонного покрытия 22 см показывает:

$$K_{\text{пр}} = K_y \cdot \frac{m_{\text{и}}}{m} = 0,3659 \cdot \frac{37,141}{13,034} = 1,043.$$

Прочность железобетонной дорожной одежды обеспечена.

Расчет ширины раскрытия трещины для принятого варианта дорожной одежды представлен в таблице Е.5.

Т а б л и ц а Е.5 — Результаты расчетов параметров вычисления

Наименование параметра расчета	Обозначение	Размерность	Значение
Рабочая высота сечения	h_0	см	18,4
Упругая характеристика плиты	l	см	77,96
Суммарное напряжение от нагрузки и температуры	σ_{pt}	МПа	2,231
Момент в сечении плиты	m	кН · м	13,846
Площадь арматуры	F_s	см ²	6,44
Количество стержней арматуры	n	шт.	5,694
Расстояние между стержнями	l_s	см	21,303

Окончание таблицы Е.5

Наименование параметра расчета	Обозначение	Размерность	Значение
Безразмерный параметр	θ_0	—	0,01002
Коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций крайнего волокна сжатой зоны сечения плиты	ψ_c	—	0,51868
Высота сжатой зоны бетона	x	см	2,4342
Напряжение в растянутой арматуре	σ_s	МПа	122,236
Теоретическое расстояние между трещинами	a_c	см	22,141
Коэффициент	k_c	—	18,978
Ширина раскрытия трещины	a_{crc}	мм	0,135

Условие по ограничению ширины раскрытия трещины выполнено.

**Приложение Ж
(рекомендуемое)**

Пример расчета конструкции дорожной одежды на сдвигустойчивость

Пример расчета конструкции дорожной одежды на сдвигустойчивость для конструкции дорожной одежды, приведенной в примере 2 приложения Г.

Исходные данные к расчету

Дорожная одежда с монолитным цементобетонным покрытием на автомобильной дороге категории III в Московской области.

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки за проектный срок службы дорожной одежды:

$$\sum N_p = 4,4986 \cdot 10^6.$$

Расчетное давление колеса на покрытие $p = 0,8$ МПа, диаметр круга, равновеликого площади отпечатка колеса $D = 2 \cdot 17,25 = 34,5$ см.

Конструктивный разрез дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием представлен на рисунке Ж.1.

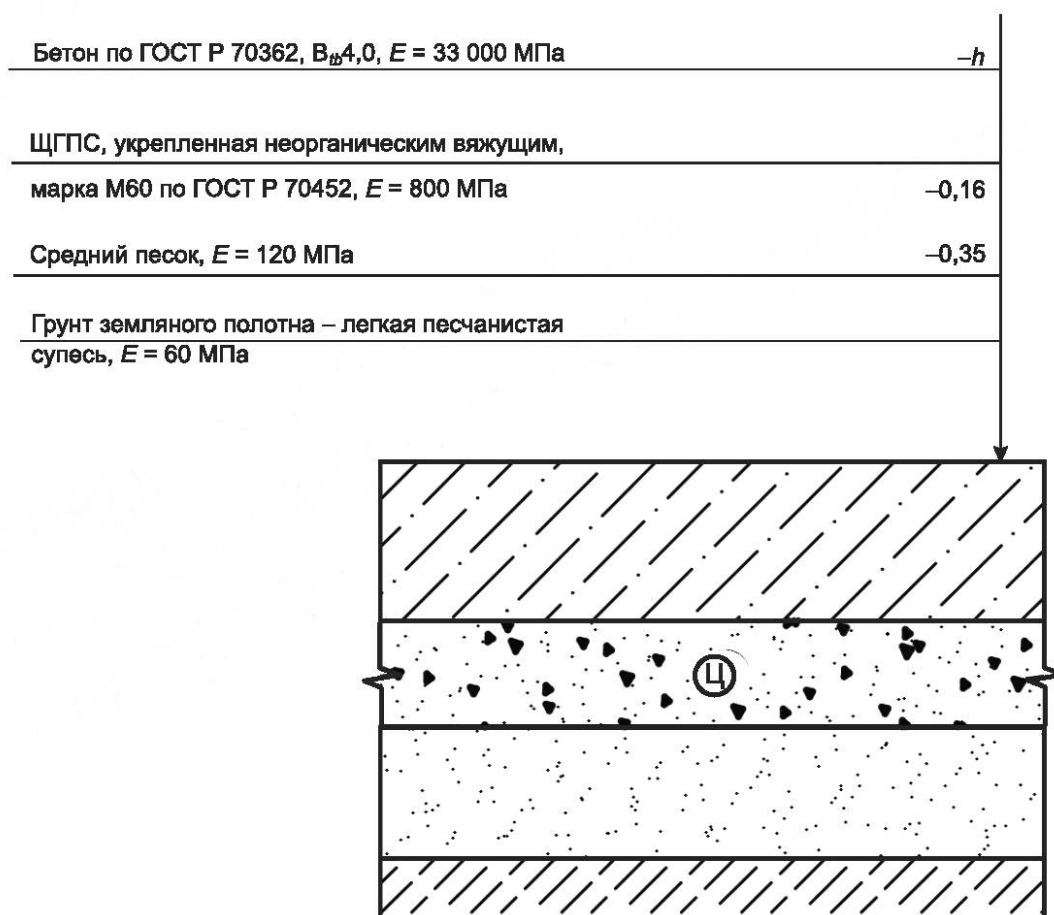


Рисунок Ж.1 — Конструктивный разрез проектируемой дорожной одежды с монолитным цементобетонным покрытием

Толщина слоя покрытия из бетона $h = 25$ см определена расчетом на прочность.

Расчетные значения модулей упругости и характеристики слоев жестких слоев дорожной одежды в соответствии с 7.5.1:

- расчетное значение модуля упругости бетона $E_b = 0,05 \cdot 33000 = 1650$ МПа;
- расчетное значение модуля упругости ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим $E_{пц} = 0,05 \cdot 800 = 40$ МПа;
- расчетная влажность рабочего слоя $W_p = 0,6 \cdot W_T$;
- удельное сцепление в грунте рабочего слоя (таблица Б.5) $c_N = 0,012$;
- угол внутреннего трения при $\sum N_p = 4,4986 \cdot 10^6$ $\phi_N = 9^\circ$;

по таблице В.5:

- объемная плотность бетона 24 кН/м³;
- объемная плотность ЩГПС, укрепленной неорганическим вяжущим 20 кН/м³;
- объемная плотность песка среднего 19,5 кН/м³;
- коэффициент $k_d = 2$.

Расчет по сдвигу в грунте земляного полотна на кратковременную нагрузку

Определяют средневзвешенный модуль упругости слоев покрытия:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{25 \cdot 1650 + 20 \cdot 40 + 35 \cdot 120}{25 + 20 + 35} = 578,13 \text{ МПа.}$$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции $z = 0,80$ м.

Средневзвешенная объемная плотность конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя в соответствии с 7.5.3:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{24 \cdot 25 + 20 \cdot 20 + 19,5 \cdot 35}{80} = 21,03 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

В соответствии с 7.5.3 рассчитывают предельное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя:

$$T_{\text{пр}} = k_d \cdot (c_N + 0,001 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z \cdot \text{tg } \varphi_N) = 2 \cdot (0,012 + 0,001 \cdot 21,03 \cdot 0,80 \cdot \text{tg}(9^\circ)) = 0,0293 \text{ МПа.}$$

По номограммам ГОСТ Р 71404 определяют удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:

- рассчитывают соотношения для номограмм

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{гр}}} = \frac{578,13}{60} = 9,6,$$

$$\frac{z}{D} = \frac{80}{17,25 \cdot 2} = 2,3,$$

- значение по номограмме при $\varphi_N = 9^\circ$, $\bar{\tau}_N = 0,0115$ МПа.

Вычисляют действующее активное напряжение сдвига:

$$T = \bar{\tau}_N \cdot p = 0,0115 \cdot 0,8 = 0,0092 \text{ МПа.}$$

Вычисляют отношение напряжений:

$$\frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0293}{0,0092} = 3,19 > K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1,0.$$

Следовательно, конструкция удовлетворяет требованию по сдвигу в грунте земляного полотна.

Расчет промежуточного слоя песка на устойчивость против сдвига на кратковременную нагрузку

- угол внутреннего трения при $\sum N_p = 4,4986 \cdot 10^6$ $\varphi_N = 27^\circ$;
- удельное сцепление в грунте рабочего слоя (таблица Б.7) $c_N = 0,002$;
- коэффициент $k_d = 4$.

Определяют средневзвешенный модуль упругости слоев покрытия:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{25 \cdot 1650 + 20 \cdot 40}{25 + 20} = 934,4 \text{ МПа.}$$

Толщина верхнего слоя $h_B = 0,35$ м.

Средневзвешенная объемная плотность конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя в соответствии с 7.5.3:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{24 \cdot 25 + 20 \cdot 20}{45} = 22,22 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

В соответствии с 7.5.3 рассчитывают предельное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя:

$$T_{\text{пр}} = k_d \cdot (c_N + 0,001 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z \cdot \text{tg } \varphi_N) = 4 \cdot (0,002 + 0,001 \cdot 22,22 \cdot 0,35 \cdot \text{tg}(27^\circ)) = 0,0239 \text{ МПа.}$$

Общий модуль упругости на уровне слоя песка, определенный в примере 2 приложения Г, $E_0^3 = 78,1$ МПа.

По номограммам ГОСТ Р 71404 определяют удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:
 - рассчитывают соотношения для номограмм

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{гр}}} = \frac{934,3}{78,1} = 11,96,$$

$$\frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{35}{17,25 \cdot 2} = 1,01,$$

- значение по номограмме при $\varphi = 27^\circ$, $\bar{\tau}_{\text{н}} = 0,033$ МПа.

Вычисляют действующее активное напряжение сдвига:

$$T = \bar{\tau}_{\text{н}} \cdot p = 0,033 \cdot 0,8 = 0,0264 \text{ МПа.}$$

Вычисляют отношение напряжений:

$$\frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,0239}{0,0264} = 0,91 < K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1,0.$$

Следовательно, условие по сдвигоустойчивости в песчаном слое основания не выполнено.

Процент перенапряжения составляет:

$$\varepsilon = \frac{1,0 - 0,91}{1,0} \cdot 100 = 9 \, \%.$$

Учитывая сравнительно небольшой процент перенапряжения, рекомендуется предусмотреть решение, рекомендованное ГОСТ Р 71404 — применить геосинтетические материалы.

Приложение И
(рекомендуемое)

Пример расчета конструкции жесткой дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием

И.1 Расчет усиления дорожной одежды из монолитного цементобетона слоями асфальтобетона

Требуется определить толщину слоев усиления из асфальтобетона для дорожной одежды из монолитного цементобетона на автомобильной дороге II категории с 4-я полосами движения в Московской области.

Исходные данные

Категория дороги II.

Число полос движения — 4.

Ширина земляного полотна — 24,5 м.

Ширина проезжей части — 7,0×2.

Ширина обочины — 3,75 м.

Ширина разделительной полосы — 3,0 м.

Тип дорожной одежды — капитальный.

Слой усиления — асфальтобетон.

Вид покрытия — монолитный цементобетон.

Класс бетона на растяжение при изгибе — $B_{tb} = 4,4$ МПа.

Тип нормативной нагрузки — А-11,5.

Осевая нагрузка на дорожную одежду — 115 кН.

Статическая нагрузка на колесо — 57,50 кН.

Коэффициент динамичности — 1,3.

Давление на покрытие — 0,8 МПа.

Показатель изменения интенсивности движения по годам — 1,02.

Проектный срок службы конструкции дорожной одежды — 24 года.

Интенсивность движения, на последний год срока службы дорожной одежды — 36 297 авт./сут и характеризуется следующим составом транспортного потока, представленным в таблице И.1.

Коэффициент распределения интенсивности движения для наиболее нагруженной полосы движения — 0,45.

Предварительное назначение конструктивных слоев дорожной одежды

Верхний слой усиления — ЦМА на битумном вяжущем PG X (от 70,1 до 82,0) — У(ФАКТ) толщиной 5 см, $E = 4250$ МПа.

Нижний слой усиления — асфальтобетон на битумном вяжущем PG X (от 58,1 до 70,0) — У(ФАКТ) толщиной 8 см, $E = 4100$ МПа.

Покрытие — монолитный бетон $B_{tb} 4,4$ МПа толщиной 24 см, $E = 36\,000$ МПа.

Основание из песка, укрепленного неорганическим вяжущим толщиной 18 см, марка материала по прочности М60, $E = 700$ МПа.

Нижний слой основания — щебеночная смесь толщиной 15 см, $E = 275$ МПа.

Дополнительный слой основания — песок мелкий толщиной 40 см, $E = 100$ МПа.

Грунт земляного полотна — супесь легкая крупная песчанистая, $E = 65$ МПа.

Т а б л и ц а И.1 — Число проездов транспортных средств по категориям транспортных средств

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Легковые	22 600 (62 %)
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	4800 (13 %)
Двухосные грузовые автомобили	1701 (5 %)
Трехосные грузовые автомобили	570 (2 %)
Четырехосные грузовые автомобили	570 (2 %)
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	960 (3 %)
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	956 (3 %)
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	850 (2 %)
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	780 (2 %)

Окончание таблицы И.1

Категория транспортных средств	Число проездов транспортных средств в обоих направлениях N_m , авт./сут (%)
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	780 (2 %)
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	750 (2 %)
Шестиосные седельные автопоезда	480 (1 %)
Автомобили с семью и более осями	200 (1 %)
Автобусы	300 (1 %)

Конструктивный разрез жесткой дорожной одежды из монолитного цементобетона, усиленной слоями асфальтобетона представлен на рисунке И.1. Расчетные коэффициенты и параметры для расчета усиления дорожной представлены в таблице И.2.

ЩМА по ГОСТ Р 58401.2 на битумном вяжущем PG X (от 70,1 до 82,0) – Y (ФАКТ), $E = 4250$ МПа	–0,05
Асфальтобетон по ГОСТ Р 58401.1 на битумном вяжущем PG X (от 58,1 до 70,0) – Y (ФАКТ), $E = 4100$ МПа	–h
Бетон по ГОСТ 70362, В _{тв} 4,4, $E = 36\,000$ МПа	–0,24
Песок, укрепленная неорганическим вяжущим, марка М60 по ГОСТ Р 70452, $E = 700$ МПа	–0,18
Щебеночно-песчаная смесь ЩПС 0-63 по ГОСТ Р 70458, $E = 275$ МПа	–0,15
Мелкий песок по ГОСТ 32824, $E = 100$ МПа	–0,40
Грунт земляного полотна – легкая крупная песчанистая супесь, $E = 65$ МПа	

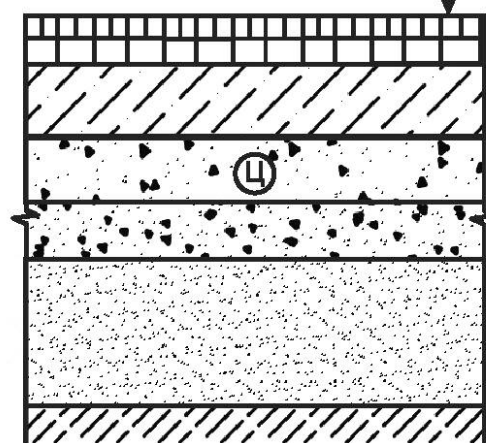


Рисунок И.1 — Конструктивный разрез жесткой дорожной одежды из монолитного цементобетона, усиленной слоями асфальтобетона.

Т а б л и ц а И.2 — Расчетные коэффициенты и параметры расчета конструкции дорожной одежды

Наименование коэффициента и показателя	Обозначение	Значение коэффициента (показателя)
Расчетное число дней в году, соответствующее определенному состоянию деформируемости конструкции	$T_{рдг}$	125
Коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого	k_n	1,62
Расчетная амплитуда колебаний температуры за сутки на поверхности покрытия	A_n	14,0
Коэффициент, учитывающий влияние места приложения колесной нагрузки	K_m	1,5
Коэффициент набора прочности бетона во времени	$K_{н.п}$	1,2
Коэффициент условий работы	$K_{усл}$	0,66
Коэффициент, учитывающий воздействие циклов замораживания и оттаивания	K_F	0,95
Коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений на условия контактирования плит покрытия с основанием	$K_{шт}$	1,0
Коэффициент линейного температурного расширения бетона	α	$1 \cdot 10^{-5}$
Угловая частота суточных колебаний температуры	ω	0,26
Коэффициент температуропроводности цементобетона	a_{tb}	0,004
Коэффициент Пуассона бетона	ν	0,20
Коэффициент Пуассона основания	ν_o	0,25
Коэффициент температуропроводности асфальтобетона	a_{ta}	0,002
Сопrotивление асфальтобетона на растяжение при изгибе, МПа	R_0	9,5
Уровень надежности	K_n	0,95
Коэффициент прочности	$K_{пр}$	1,0

Приведенную интенсивность движения к воздействию расчетной нагрузки на последний год срока службы определяют по формуле (7). Для удобства расчета данные представлены в таблице И.3.

Т а б л и ц а И.3 — Интенсивность движения, приведенная к нагрузке А11,5

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Небольшие грузовики (фургоны) и другие автомобили с прицепом и без него	4800	0,0015	7,2
Двухосные грузовые автомобили	1701	1,51	2568,51
Трехосные грузовые автомобили	570	2,33	1328,1
Четырехосные грузовые автомобили	570	2,56	1459,2
Четырехосные автопоезда (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)	960	2,54	2438,4
Пятиосные автопоезда (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)	956	2,13	2036,28
Трехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	850	2,38	2023

Окончание таблицы И.3

Категория транспортных средств	N_m , авт./сут	Суммарный коэффициент приведения к нагрузке А11,5	Приведенная интенсивность движения к А11,5
Четырехосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	780	2,96	2308,8
Пятиосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	780	2,83	2207,4
Пятиосные седельные автопоезда (трехосный седельный тягач с полуприцепом)	750	3,01	2257,5
Шестиосные седельные автопоезда	480	2,12	1017,6
Автомобили с семью и более осями	200	1,58	316
Автобусы	300	1,16	348
Итого: $\sum_{m=1}^n N_m \cdot S_m \text{ сум}$			20 316 ед./сут

$$N_p = 20316 \cdot 0,45 = 9142 \text{ ед./сут.}$$

Суммарное расчетное число приложение расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за проектный срок службы определяют по формуле (5):

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 9142 \cdot \frac{30,42}{1,02^{23}} \cdot 125 \cdot 1,62 = 25 \cdot 10^6.$$

Коэффициент усталости бетона при повторном нагружении, определяем по формуле (3):

$$K_y = 1,08 \cdot (25 \cdot 10^6)^{-0,063} = 0,369.$$

Расчет общего модуля упругости многослойного основания:

а) на уровне песка при $E_{гр} = 65$ МПа, $E_n = 100$ МПа, $h_n = 40$ см, $D = 50$ см:
- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3 = 2 \cdot 40 \cdot \sqrt[3]{\frac{100}{6 \cdot 65}} = 50,82 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_0^3 = \frac{100}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{65}{100}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 50,82}{50}\right) + \frac{100}{65} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{50,82}\right)} = 74,6 \text{ МПа;}$$

б) на уровне щебеночно-песчаной смеси при $E_{щпс} = 275$ МПа, $h_{щпс} = 15$ см, $D = 50$ см, $E_0^3 = 74,6$ МПа:
- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3^1 = 2 \cdot 15 \cdot \sqrt[3]{\frac{275}{6 \cdot 74,6}} = 25,5 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_1^3 = \frac{275}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{74,6}{275}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 25,5}{50}\right) + \frac{275}{74,6} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{25,5}\right)} = 96,22 \text{ МПа;}$$

в) на уровне песка, укрепленного неорганическим вяжущим при $E_{пц} = 700$ МПа, $h_{пц} = 18$ см, $D = 50$ см, $E_1^3 = 96,22$ МПа:
- эквивалентная толщина полупространства

$$h_3^2 = 2 \cdot 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{700}{6 \cdot 96,22}} = 38,52 \text{ см,}$$

- общий модуль упругости

$$E_2^3 = \frac{700}{0,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{96,22}{700}} \cdot \arctg\left(\frac{1,35 \cdot 38,52}{50}\right) + \frac{700}{96,22} \cdot \frac{2}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{50}{38,52}\right)} = 154,5 \text{ МПа.}$$

Определение расчетной прочности бетона по формуле (2):

$$R_{\text{ри}}^{\text{расч}} = 4,4 \cdot 1,2 \cdot 0,369 \cdot 0,95 = 1,85 \text{ МПа.}$$

Определение расчетной нагрузки на колесо:

$$Q = \frac{115}{2} \cdot 1,3 = 74,75 \text{ кН.}$$

Определение круга, равновеликого площади отпечатка колеса по формуле (10) (с учетом примечания к формуле (20) радиус отпечатка колеса в формуле увеличивается на общую толщину слоев из асфальтобетона):

$$R = \sqrt{\frac{74,75}{0,1 \cdot \pi \cdot 0,8}} + 13 = 30,25 \text{ см.}$$

Определение эквивалентной толщины слоев асфальтобетонного покрытия с цементобетонным основанием по формуле (18):

$$h_3 = 24 + 13 \cdot \sqrt[3]{\frac{4158}{36000}} = 30 \text{ см.}$$

Определение упругой характеристики плиты по формуле (11):

$$I = 30 \cdot \sqrt[3]{\frac{36000 \cdot (1 - 0,25^2)}{6 \cdot 154,5 \cdot (1 - 0,20^2)}} = 101,96 \text{ см.}$$

Определение напряжения растяжения при изгибе от нагрузки по формуле (9):

$$\sigma_p = \frac{74,75 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 0,66 \cdot 1,0}{24^2} \cdot \left(0,0592 - 0,2137 \cdot \lg\left(\frac{30,25}{101,96}\right) \right) = 1,33 \text{ МПа.}$$

Определяют величину температурного перепада с учетом асфальтобетонного покрытия по формуле (17):

$$\Delta t = 14 \cdot e^{-0,13 \cdot \sqrt{\frac{0,26}{2 \cdot 0,002}}} \cdot \left(1 - e^{-0,24 \cdot \sqrt{\frac{0,26}{2 \cdot 0,004}}} \right) = 3,66 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Определение напряжения от перепада температуры по толщине плиты по формуле (14):

$$\sigma_t = \frac{0,00001 \cdot 3,66 \cdot 36000}{2} \cdot 0,66 = 0,435 \text{ МПа.}$$

Определение суммарного напряжения растяжения при изгибе по формуле (8):

$$\sigma_{pt} = 1,33 + 0,435 = 1,76 \text{ МПа.}$$

Проверка условия прочности по формуле (1):

$$K_{\text{пр}} = \frac{1,85}{1,76} = 1,05.$$

Коэффициент усталости K_a определяется по формуле (21):

$$K_a = 2,38 \cdot (9142)^{-0,118} = 0,81.$$

Радиус круга, равновеликого площади отпечатка колеса, вычисляется по формуле (10) без учета толщины асфальтобетонных слоев и составляет 17,25 см. $R_0 = 0,95$ для нижнего слоя асфальтобетона.

Проверка толщины слоя асфальтобетонного покрытия из условия прочности по формуле (20):

$$9,5 \cdot 0,81 \geq \frac{10 \cdot 0,25 \cdot 74,75}{13 \cdot (2 \cdot 17,25 + 13)},$$

$$7,695 \geq 0,30.$$

Вывод: Прочность обеспечена.

И.2 Расчет конструкции дорожной одежды по условию сдвигоустойчивости грунта рабочего слоя земляного полотна и конструктивных слоев из малосвязных материалов

И.2.1 Исходные данные к расчету

Суммарное количество приложений приведенной расчетной нагрузки за проектный срок службы дорожной одежды:

$$\sum N_p = 25 \cdot 10^6.$$

Расчетное давление колеса на покрытие $p = 0,8$ МПа, диаметр круга, равновеликого площади отпечатка колеса $D = 2 \cdot 17,25 = 34,5$ см.

Расчетные значения модулей упругости жестких слоев дорожной одежды в соответствии с 7.5.1:

- расчетное значение модуля упругости цементобетона $E_b = 0,05 \cdot 36000 = 1800$ МПа;

- расчетная влажность рабочего слоя $W_p = 0,63 \cdot W_T$;

- удельное сцепление в грунте рабочего слоя (таблица Б.7) $c_N = 0,002$;

- угол внутреннего трения при $\sum N_p = 25 \cdot 10^6$ $\varphi_N = 23^\circ$.

Объемные плотности материалов конструктивных слоев определяются по таблице Б.5:

- объемная плотность асфальтобетона и щебеночно-мастичного асфальтобетона $24,5$ кН/м³;

- объемная плотность бетона 24 кН/м³;

- объемная плотность песка, укрепленного неорганическим вяжущим 20 кН/м³;

- объемная плотность ЦПС 20 кН/м³;

- объемная плотность песка мелкого 17 кН/м³;

- коэффициент $k_d = 2$.

И.2.2 Расчет на сдвиг в грунте земляного полотна на кратковременную нагрузку

Определяют средневзвешенный модуль упругости слоев покрытия:

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{5 \cdot 2950 + 8 \cdot 2550 + 24 \cdot 1800 + 18 \cdot 700 + 15 \cdot 275 + 40 \cdot 100}{5 + 8 + 24 + 18 + 15 + 40} = 901 \text{ МПа}.$$

Глубина расположения поверхности проверяемого слоя от верха конструкции $z = 1,10$ м.

Средневзвешенная объемная плотность конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя в соответствии с 7.5.3:

$$\gamma_{cp} = \frac{24,5 \cdot 5 + 24,5 \cdot 8 + 24 \cdot 24 + 20 \cdot 18 + 20 \cdot 15 + 17 \cdot 40}{110} = 20 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

В соответствии с 7.4.3 рассчитывают предельное напряжение сдвига в грунте рабочего слоя:

$$T_{пр} = k_d \cdot (c_N + 0,001 \cdot \gamma_{cp} \cdot z \cdot \operatorname{tg} \varphi_N) = 2 \cdot (0,002 + 0,001 \cdot 20 \cdot 1,10 \cdot \operatorname{tg}(23^\circ)) = 0,0227 \text{ МПа}.$$

По номограммам ГОСТ Р 71404 определяют удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:

- рассчитывают соотношения для номограмм

$$\frac{E_{cp}}{E_{гр}} = \frac{901}{65} = 13,86,$$

$$\frac{z}{D} = \frac{110}{17,25 \cdot 2} = 3,19,$$

- значение по номограмме при $\varphi_N = 23^\circ$, $\bar{\tau}_H = 0,0039$ МПа.

Вычисляют действующее активное напряжение сдвига:

$$T = \bar{\tau}_H \cdot p = 0,0039 \cdot 0,8 = 0,0031 \text{ МПа}.$$

Вычисляют отношение напряжений:

$$\frac{T_{пр}}{T} = \frac{0,0227}{0,0031} = 7,32 > K_{пр}^{тр} = 1,0.$$

Следовательно, конструкция удовлетворяет требованию по сдвигу в грунте земляного полотна.

И.2.3 Расчет промежуточного слоя песка на устойчивость к сдвигу на кратковременную нагрузку.

Расчетные значения:

- угол внутреннего трения при $\sum N_p = 25 \cdot 10^6$ $\varphi_N = 24^\circ$;

- удельное сцепление в грунте рабочего слоя (таблица Б.7) $c_N = 0,003$;

- коэффициент $k_d = 2$.

Определяют средневзвешенный модуль упругости слоев, расположенных выше проверяемого слоя:

$$E_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^3 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^3 h_i} = \frac{5 \cdot 2950 + 8 \cdot 2550 + 24 \cdot 1800 + 18 \cdot 700 + 15 \cdot 275}{5 + 8 + 24 + 18 + 15} = 1358 \text{ МПа.}$$

Толщина верхнего слоя двухслойной модели $h_{\text{в}} = 0,70 \text{ м}$.

Средневзвешенная объемная плотность конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя в соответствии с 7.5.3:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{24,5 \cdot 5 + 24,5 \cdot 8 + 24 \cdot 24 + 20 \cdot 18 + 20 \cdot 15}{70} = 22 \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}.$$

В соответствии с 7.5.3 рассчитывают предельное напряжение сдвига в песчаном слое:

$$T_{\text{пр}} = k_{\text{д}} \cdot (c_N + 0,001 \cdot \gamma_{\text{ср}} \cdot z \cdot \text{tg } \varphi_N) = 2 \cdot (0,003 + 0,001 \cdot 22 \cdot 0,70 \cdot \text{tg}(24^\circ)) = 0,020 \text{ МПа.}$$

Общий модуль упругости на уровне слоя песка, определенный в примере 2 приложения Е $E_0^3 = 74,6 \text{ МПа}$

По номограммам ГОСТ Р 71404 определяют удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки:

- рассчитывают соотношения для номограмм

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_{\text{гр}}} = \frac{1358}{74,6} = 18,20,$$

$$\frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{70}{17,25 \cdot 2} = 2,03,$$

- значение по номограмме при $\varphi_N = 24^\circ$, $\bar{\tau}_N = 0,0070 \text{ МПа}$.

Вычисляют действующее активное напряжение сдвига:

$$T = \bar{\tau}_N \cdot p = 0,0070 \cdot 0,8 = 0,0056 \text{ МПа.}$$

Вычисляют отношение напряжений:

$$\frac{T_{\text{пр}}}{T} = \frac{0,020}{0,0056} = 3,57 > K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1,0.$$

Следовательно, условие сдвигустойчивости в песчаном слое основания выполнено.

Приложение К
(рекомендуемое)

Примеры расчета дорожной конструкции на дренирующую способность

К.1 Пример 1

Требуется оценить работоспособность дополнительного слоя основания по условию дренирования.

Исходные данные.

Категория дороги — II, Московская область.

Число полос движения — 4, ширина земляного полотна — 24,5 м, ширина проезжей части — 7,0×2 м, ширина обочины — 3,75 м, ширина разделительной полосы — 3,0 м.

Высота насыпи — 1,5 м, толщина дорожной одежды — 1,05 м.

Толщина дополнительного слоя основания из мелкого песка — 0,4 м.

Коэффициент фильтрации песка $K_{\phi} = 1,5$ м/сут, пористость $n = 0,36$.

Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна — 3.

Уклон дренирующего слоя $i = 0,02$.

Поскольку коэффициент фильтрации < 3 м/сут и длина пути фильтрации превышает 10 м, проводится расчет на поглощение.

По таблице 13 ГОСТ Р 71404—2024 находят объем воды, поступающий в основание дорожной одежды за весь расчетный период $Q = 60$ л/м².

По таблице 16 ГОСТ Р 71404—2024 определяют значение коэффициента заполнения пор влагой к началу оттаивания $\varphi_{\text{зим}} = 0,4$.

Поскольку дренирующий слой устраивается из мелкого песка, то $h_{\text{зап}} = 0,2$ м.

По формуле (32) ГОСТ Р 71404—2024 определяют полную толщину дренирующего слоя

$$h_n = (Q / (1000 \cdot n) + 0,3 \cdot h_{\text{зап}}) / (1 - \varphi_{\text{зим}}) = (60 / (1000 \cdot 0,36) + 0,3 \cdot 0,2) / (1 - 0,4) = 0,38 \text{ м.}$$

Принятая толщина удовлетворяет расчету на поглощение.

К.2 Пример 2

Требуется оценить работоспособность дополнительного слоя основания по условию дренирования.

Исходные данные

Категория дороги — III, Московская область.

Число полос движения — 2, ширина земляного полотна — 12 м, ширина проезжей части — 7,0 м, ширина обочины — 2,5 м.

Высота насыпи — 1,5 м, толщина дорожной одежды — 0,76 м.

Толщина дополнительного слоя основания из песка среднего — 0,35 м.

Коэффициент фильтрации песка $K_{\phi} = 4$ м/сут, пористость $n = 0,33$.

Схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна — 2.

Уклон дренирующего слоя $i = 0,02$.

Поскольку коэффициент фильтрации ≥ 3 м/сут, а длина пути фильтрации не превышает 10 м, проводят расчет на осушение.

По таблице 9 находят удельный приток воды во II ДКЗ для 2 схемы увлажнения $q = 4$ л/(м² · сут). По таблице 10 определяют $K_n = 1,6$, $K_r = 1,2$. Ввиду отсутствия переломов продольного профиля на участке, $K_{\text{вог}} = 1$, из-за пылеватого грунта $K_p = 1$.

По формуле (50) расчетный объем притока воды за сутки в дренирующий слой составляет:

$$q_p = q \cdot K_n \cdot K_r \cdot K_{\text{вог}} \cdot K_p / 1000 = 4 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 / 1000 = 0,0077 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{сут}).$$

Для двускатного профиля погонный приток воды за сутки на 1 м длины дороги составляет:

$$q' = 0,5 \cdot q_p \cdot B = 0,5 \cdot 0,0077 \cdot 7 = 0,0027 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{сут}).$$

$$q' / K_{\phi} = 0,0027 / 4 = 0,00068.$$

По номограмме рисунка 16 находят ординату $a = 0,09$.

Определяют длину пути фильтрации по формуле $L = B / 2 + c + \delta$, где:

B — ширина проезжей части;

c — ширина обочины;

δ — средняя длина участка дренирующего слоя, расположенная в откосной части земляного полотна, равная сумме толщины дорожной одежды и половине толщины дренирующего слоя, умноженной на заложение откоса.

$$L = 7 / 2 + 2,5 + (0,76 + 0,35 / 2) \cdot 1,5 = 7,4 \text{ м.}$$

По формуле (56) определяют толщину слоя, полностью насыщенного водой, $h_{\text{нас}} = a \cdot L / 3,5 = 0,09 \cdot 7,4 / 3,5 = 0,19 \text{ м.}$

Поскольку геосинтетическая прослойка отсутствует, для определения полной толщины дренирующего слоя необходимо определить величину запаса на уменьшение толщины дренирующего слоя вследствие взаимопроникновения частиц между влажным грунтом верхней части земляного полотна и дренирующего слоя.

По таблице 12 определяют $v_B = 6$, по таблице 13 определяют $k_N = 0,3$. По формуле (53) вычисляют $\Delta h = \sum N_p \cdot v_B \cdot k_N / 10^8 = 5206500 \cdot 6 \cdot 0,3 / 10^8 = 0,09$ м.

Поскольку дренирующий слой устраивается из среднего песка, то $h_{\text{зап}} = 0,15$ м.

По формуле (52) вычисляют полную толщину дренирующего слоя $h_n = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}} + \Delta h = 0,19 + 0,15 + 0,09 = 0,43$ м.

Поскольку требуемая толщина дренирующего слоя превышает заданную, требуется ее увеличение, либо назначение мероприятий, направленных на уменьшение требуемой толщины дренирующего слоя. Для уменьшения требуемой толщины возможно применение геосинтетической прослойки между рабочим слоем земляного полотна и дренирующим слоем. В таком случае $h_n = h_{\text{нас}} + h_{\text{зап}} + \Delta h = 0,19 + 0,15 + 0 = 0,34$ м.

Также для уменьшения толщины дренирующего слоя возможно применение конструкции с дренажным ровиком. При условии, что дрена расположена под серединой обочины, длина пути фильтрации составит

$$L = B / 2 + c / 2 = 7 / 2 + 2,5 / 2 = 4,75 \text{ м.}$$

$$q_p / K_{\Phi} = 0,0077 / 4 = 0,0019.$$

По номограмме рисунка 18 определяем h_n для $L = 5,0$ м и $L = 3,5$ м. По методу интерполяции $h_n = 0,22$ м. С учетом величины запаса на уменьшение толщины дренирующего слоя $\Delta h = 0,09$, полная толщина дренирующего слоя $h_n = 0,31$ м.

Библиография

- [1] Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд
- [2] СТО АВТОДОР 2.2-2011 Смеси щебеночно-песчаные из металлургических шлаков для строительства слоев оснований и укрепления обочин автомобильных дорог

УДК 625.7/.8:006.354

ОКС 93.080.01

Ключевые слова: жесткая дорожная одежда, монолитное цементобетонное покрытие

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректоры *Л.С. Лысенко, Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 09.06.2025. Подписано в печать 04.07.2025. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 11,63. Уч.-изд. л. 10,48.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru