

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Проектирование дорог»

В. А. Веренько

ПРОЕКТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсового и дипломного проекта
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2019

УДК 625.72
ББК 39.311
В31

Рецензенты:

гл. науч. сотрудник ГП «БелдорНИИ», д-р техн. наук,
профессор *В. Н. Яромко*;
заведующий кафедрой лесных дорог БГТУ, канд. техн. наук,
доцент *М. Т. Насковец*

Веренько, В. А.

- В31 Проект дорожной одежды нежесткого типа : учебно-методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проекта для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / В. А. Веренько. – Минск : БНТУ, 2019. – 300 с.
ISBN 978-985-550-631-8.

В учебно-методическом пособии изложены вопросы проектирования нежестких дорожных одежд в соответствии с современной нормативной базой, приведена методика проектирования оптимальной конструкции нежесткой дорожной одежды. Для облегчения выполнения курсового и дипломного проекта в издании приведены необходимые справочные данные.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», изучающих дисциплину «Изыскания и проектирование автомобильных дорог», для выполнения курсового проекта «Проект дорожной одежды нежесткого типа», для дипломного проектирования, а также для самостоятельной работы студентов.

УДК 625.72
ББК 39.311

ISBN 978-985-550-631-8

© Веренько В. А., 2019
© Белорусский национальный
технический университет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	8
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДАХ. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД. ПОНЯТИЯ О НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД	8
1.1. Основы теории	8
1.1.1. Классификация дорожных одежд по типам и степени капитальности	8
1.1.2. Назначение и виды конструктивных слоев дорожных одежд	11
1.1.3. Факторы, влияющие на работу дорожных одежд	14
1.1.4. Основные понятия о прочности и надежности дорожных одежд, назначении уровня надежности и сроков службы	26
1.2. Реализация положений первого раздела в курсовом проекте	30
1.2.1. Определение категории дороги и назначение типа дорожной одежды	30
1.2.2. Назначение вида и параметров расчетной нагрузки, значения коэффициентов приведения, уровня надежности и сроков службы дорожной одежды	32
2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	41
2.1. Основы теории	41
2.1.1. Общие положения конструирования дорожных одежд ...	41
2.1.2. Материалы для устройства конструктивных слоев, их виды и свойства	44
2.1.3. Выбор материалов для устройства конструктивных слоев	57
2.2. Реализация положений второго раздела в курсовом проекте	63
2.2.1. Предварительное назначение конструкции дорожной одежды	64
2.2.2. Назначение расчетных характеристик материалов конструктивных слоев	66

2.2.3. Назначение расчетных прочностных и деформационных характеристик материалов конструктивных слоев	67
2.2.4. Выбор материалов для конструктивных слоев дорожной одежды	69
2.2.5. Установление пределов изменения толщин слоев дорожной одежды	72
3. ОСУШЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД	74
3.1. Основы теории	74
3.2. Реализация третьего раздела в курсовом проекте	75
3.2.1. Расчет дренарующего слоя дорожных одежд загородных дорог	75
4. РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ	78
4.1. Основы теории	78
4.1.1. Общие положения	78
4.1.2. Расчет дорожной одежды по критерию упругого прогиба	81
4.1.3. Расчет сдвигоустойчивости грунтов земляного полотна, несвязных и слабосвязных материалов конструктивных слоев дорожных одежд	88
4.1.4. Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от транспортной нагрузки	94
4.1.5. Обеспечение морозоустойчивости дорожных одежд и земляного полотна	99
4.2. Реализация четвертого раздела в курсовом проекте	100
4.2.1. Расчет по критерию упругого прогиба	101
4.2.2. Расчет на сдвигоустойчивость грунтов и несвязных слоев основания загородных дорог	115
4.2.3. Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе	128
4.2.4. Обеспечение морозоустойчивости дорожных одежд и земляного полотна	136
5. СОСТАВЛЕНИЕ КАРТОЧКИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	138
КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ	143

6. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ДИАГНОСТИКА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ. НАЗНАЧЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С ОТРАЖЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ	143
6.1. Основы теории.....	143
6.1.1. Общие положения капитального ремонта и реконструкции дорожных одежд.....	143
6.1.2. Диагностика материала покрытия и дорожной одежды	145
6.1.3. Мероприятия по борьбе с отраженными дефектами	149
6.1.4. Мероприятия по борьбе с отраженными трещинами при реконструкции дорожных одежд загородных дорог и городских улиц.....	151
6.1.5. Назначение конструкции усиления дорожной одежды	153
6.2. Реализация положений шестого раздела в курсовом проекте	154
6.2.1. Оценка состояния покрытия в курсовом проекте	154
6.2.2. Назначение конструкции дорожной одежды	156
7. НАЗНАЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	158
7.1. Основы теории.....	158
7.1.1. Общие положения	158
7.1.2. Расчет толщины слоев усиления	159
7.2. Расчет усиления дорожной одежды в курсовом проекте	160
8. РАСЧЕТ СЛОЕВ ПОКРЫТИЯ НА СДВИГОУСТОЙЧИВОСТЬ	173
8.1. Основы теории.....	173
8.2. Расчет на сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий в курсовом проекте.....	175
8.2.1. Оценка сдвигоустойчивости слоев покрытия	175
9. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛА МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ И ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	183
9.1. Основы теории и методика расчета устойчивости материала монолитных слоев на совместное действие транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов для загородных дорог и городских улиц.....	183

9.2. Расчет устойчивости материала монолитных слоев на совместное действие транспортной нагрузки и погоднo-климатических факторов в курсовом проекте	188
10. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА.....	203
10.1. Основы теории.....	203
10.1.1. Общие положения.....	203
10.1.2. Конструирование и расчет дорожных одежд при применении технологии холодного ресайклинга	206
10.2. Расчет холодного ресайклинга в курсовом проекте	210
11. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ	221
ДЕТАЛЬ ПРОЕКТА	225
12. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	225
12.1. Конструирование и расчет дорожной одежды с экстремальным градиентом распределения прочности и жесткости по толщине	225
12.2. Конструирование и расчет дорожной одежды повышенной долговечности.....	225
12.2.1. Основы теории	225
12.2.2. Реализация раздела в курсовом проекте	234
Библиографический список.....	236
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	237
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	241
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	244
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	247
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	250
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	251
ПРИЛОЖЕНИЕ 7	256
ПРИЛОЖЕНИЕ 8	264
ПРИЛОЖЕНИЕ 9	266
ПРИЛОЖЕНИЕ 10	275

ВВЕДЕНИЕ

Дорожная одежда – совокупность конструктивных слоев из различных дорожно-строительных материалов, предназначенная для создания ровной и прочной проезжей части с шероховатой поверхностью.

Дорожную одежду укладывают на грунт земляного полотна, верхнюю часть которого называют рабочим слоем.

Дорожные одежды в зависимости от структуры и свойств, применяемых для их строительства монолитных материалов, разделяются на нежесткие (монолитные материалы на основе органических вяжущих с коагуляционной структурой) и жесткие (монолитные материалы на основе минеральных вяжущих с кристаллизационной структурой).

Проектирование конструкции нежесткой дорожной одежды состоит из конструирования дорожной одежды и расчета толщины ее слоев. Конструирование и расчет дорожной одежды взаимосвязаны. Их задачей является обеспечение долговременной прочности и экономичности дорожной одежды, безопасности и удобства движения автомобильного транспорта.

Под долговременной прочностью дорожной одежды понимается сопротивление воздействию транспортных нагрузок и природных факторов в течение расчетного срока службы (до капитального ремонта) как всей дорожной одежды, так и отдельных ее слоев, а также грунта рабочего слоя без разрушения и образования деформаций, снижающих ровность проезжей части.

Курсовой проект выполняется в соответствии с заданием (образец представлен в прил. 1).

Задание на курсовой проект включает четыре основных раздела:

1. Выбор расчетной нагрузки. Назначаются расчетные характеристики материалов и выбираются материалы для устройства дорожной одежды. Назначается конструкция дорожной одежды.

2. Расчет конструкции, определение толщины слоев и проверка их долговременной прочности на действие транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов.

3. Конструирование и расчет дорожных одежд при их реконструкции и капитальном ремонте.

4. Деталь проекта.

В задании приводятся сроки выполнения этапов, виды чертежей и содержание.

При заполнении таблицы пункта 5 задания достаточно указать по 1–2 автомобиля каждой группы.

Примеры в методических указаниях приведены применительно к образцу задания (прил. 1).

Выражаю благодарность старшему преподавателю Р. К. Гатальскому за помощь в создании учебно-методического пособия.

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДАХ. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД. ПОНЯТИЯ О НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

1.1. Основы теории

1.1.1. Классификация дорожных одежд по типам и степени капитальности

Дорожная одежда – слоистая система, предназначенная для восприятия и перераспределения транспортной нагрузки до уровня допустимой из условия прочности грунта земляного полотна. Дорожная одежда – основной конструктивный элемент дороги, ее стоимость может составлять до 70 % всей стоимости строительства. Дорожная одежда укладывается на земляное полотно и вместе с ним образует дорожную конструкцию.

Транспортные средства вызывают напряжения в дорожном покрытии в пределах 0,5–1,4 МПа, что существенно выше прочности грунтов. В результате на грунтовой дороге появляются пластические деформации (волны, гребенка, колеи) и она выходит из строя.

Увеличить срок эксплуатации дороги можно путем уменьшения давления от транспортной нагрузки на грунт или отдалением этой нагрузки от грунта в вертикальном направлении на безопасное расстояние. Первый способ применяется на заболоченных участках, в тундре, где используются шины сверхнизкого давления или гусеничные движители. Подобные транспортные средства очень громоздки, имеют малую скорость и грузоподъемность. Поэтому эффективнее второй способ, реализуемый путем строительства дорожной одежды. Она перераспределяет напряжения, что приводит к снижению деформаций и продлению ресурса.

Поскольку давление от колеса автомобиля снижается по мере удаления от поверхности, дорожную одежду формируют из нескольких слоев, прочность которых убывает с глубиной. Это связано

с условиями напряженного состояния и экономическими факторами (менее прочные материалы имеют более низкую стоимость).

По сопротивлению нагрузкам от транспортных средств, особенностям напряженно-деформированного состояния и методам расчета дорожные одежды делятся на жесткие и нежесткие. Жесткие дорожные одежды содержат материалы с высокими модулями упругости (более 30 000 МПа), к которым в основном относят цементобетон, и рассчитываются на небольшие допустимые деформации. Нежесткие дорожные одежды имеют слои, содержащие органические вяжущие материалы (различные виды асфальтобетонов), несвязанные материалы (щебень, гравий), укрепленные грунты. Величина допустимых деформаций (прогибов) под колесом автомобиля у нежестких дорожных одежд существенно выше.

Жесткая дорожная одежда, работает как плита конечных размеров на упругом основании при свободном, шарнирном или ином способе соединения плит. Жесткая дорожная одежда может быть с цементобетонным покрытием, а также с асфальтобетонным покрытием на основании из цементобетона, расчлененного деформационными швами. Покрытия жестких одежд могут быть монолитные и сборные, армированные и неармированные, предварительно напряженные и струнбетонные. Основное отличие жестких одежд заключается в наличии деформационных швов, которые устраивают с целью предотвращения образования хаотических трещин (более подробно см. ниже). В Республике Беларусь наиболее распространены однослойные, монолитные цементобетонные покрытия.

Жесткие дорожные одежды применены на участках автодорог Брест–Москва, подъезд к Национальному аэропорту, Минск–Витебск, Минск–Гродно и др.

Нежесткая дорожная одежда – дорожная одежда, работающая как слоистая система бесконечных в плане размеров со сплошным покрытием на упругом основании. К нежестким относят дорожные одежды с покрытием из материалов с участием органических вяжущих веществ (асфальтобетонов, дегтебетонов), комплексных органических и гидравлических вяжущих веществ (битумных эмульсий и цемента), а также с покрытием из зернистых материалов (щебня, гравия, шлаков). Отличие между нежесткими и жесткими одеждами заключается в методах расчета и в параметрах допустимых деформаций (прогибов) под колесом расчетного автомобиля. Поскольку

соотношение между прочностью и модулем упругости материалов покрытия нежестких одежд значительно выше, чем жестких, толщина слоя покрытия нежесткой одежды существенно ниже (в среднем толщина асфальтобетонного покрытия составляет 10–15 см, цементобетонного – 20–26 см). Данный факт, а также лучшая ремонтоспособность покрытий нежестких дорожных одежд, привели к их более широкому распространению (в Республике Беларусь более 90 %).

По степени капитальности (срокам службы) дорожные одежды делят на усовершенствованные капитальные (срок до капитального ремонта 15–30 лет), усовершенствованные облегченные (10–15 лет), переходные (до 6 лет) и низшие.

Капитальность дорожной одежды определяется видом материала покрытия.

К усовершенствованным капитальным относят покрытие дорожной одежды, устраиваемое из цементобетона (монолитного или сборного), горячего асфальтобетона марки I и II, мостовой брусчатой или мозаиковой на цементобетонном основании. Капитальный тип покрытия применяют на дорогах 1–3 категорий с интенсивным движением. Уровень надежности подобных покрытий составляет 90–95 %. Расчетный срок службы для нежестких дорожных одежд – 15 лет и 30 лет – для жестких.

Облегченный тип – усовершенствованное покрытие дорожной одежды, устраиваемое из горячего асфальтобетона марки III, теплых и холодных асфальтобетонных смесей, дегтебетонов, смесей на основе эмульсий, слоев по методу пропитки и смешения на месте. К облегченным покрытиям также относятся слои износа (поверхностная обработка), устроенные на покрытиях переходного типа. Уровень надежности облегченных покрытий – 80–85 %. Расчетный срок службы – 10 лет.

Переходной тип – покрытие, устраиваемое на дорогах IV–V категорий или при стадийном строительстве и используемое в дальнейшем как основание под усовершенствованные покрытия. К покрытиям переходного типа относятся: щебеночные и гравийные покрытия из грунтов, укрепленных вяжущими (жидким битумом, эмульсией, известью и т. д.), булыжные мостовые. Уровень надежности покрытий переходного типа составляет 60%. Расчетный срок службы – 6 лет.

Низший тип – покрытие из грунтов или грунтов, улучшенных добавками гравия, извести, шлаков. Применяют на местных проездах, дорогах сельскохозяйственного назначения и т. д.

На мостах, путепроводах, виадуках, эстакадах дорожную одежду называют мостовым полотном. В его основании находится не грунт, а пролетное строение моста. Конструкция дорожной одежды на мостах, путепроводах и других искусственных сооружениях имеет определенные отличия от конструкции дорожной одежды автомобильной дороги. Дорожная одежда на мостах – это совокупность конструктивных элементов, воспринимающих действие подвижных нагрузок и передающих их на пролетное строение. В состав конструкции входят мостовое полотно и несущие элементы.

1.1.2. Назначение и виды конструктивных слоев дорожных одежд

Как было отмечено выше, дорожная одежда – слоистая система. Связано это с техническими и экономическими вопросами.

Слой дорожной одежды – ее часть из одного материала конечной толщины.

В конструкции дорожной одежды различают следующие элементы (слои): покрытие, основание, подстилающий слой. Данные элементы могут быть однослойными и многослойными из различных по составу и свойствам материалов.

Покрытие – верхний, наиболее прочный, слой дорожной одежды, воспринимающий непосредственное воздействие нагрузки, атмосферных факторов и определяющий основные транспортно-эксплуатационные качества дороги. Покрытие может быть одно-, двух- и трехслойным. В конструкции покрытия, помимо основного слоя, определяющего его эксплуатационные качества, часто предусматривается защитный слой, не учитываемый при расчете дорожной одежды. Он увеличивает шероховатость и водонепроницаемость покрытия.

В нежестких дорожных одеждах в качестве покрытия в основном используются различные разновидности асфальтобетона. Верхний слой покрытия устраивается из плотного мелкозернистого, нижний – из пористого или высокопористого крупнозернистого асфальтобетона. Это обусловлено тем, что верхний слой испытывает более интенсив-

ное воздействие погодно-климатических факторов (в основном воды). В то же время пористые смеси обладают большой устойчивостью к пластическим (колеи) и хрупким (трещины) деформациям.

Защитный слой – верхний тонкий слой дорожного покрытия (до 3 см), обладающий высокой шероховатостью и водонепроницаемостью. Может устраиваться одновременно с устройством покрытия дорожной одежды или через определенные промежутки его службы (обычно 3–6 лет). Основное назначение защитного слоя – предохранение материала дорожного покрытия от непосредственного воздействия погодно-климатических факторов и транспортной нагрузки и продление срока его службы. Его устраивают в виде поверхностной обработки, литых эмульсионно-минеральных смесей, горячего асфальтобетона специального состава. Защитный слой также обязателен, если в верхнем слое покрытия используются малоцебенистые или песчаные асфальтобетоны (это обусловлено низкой шероховатостью подобных материалов). В таких случаях защитные слои устраиваются через 3–6 лет после устройства покрытия.

Нижний (несущий) слой покрытия предназначен для восприятия максимальных касательных и растягивающих напряжений, перераспределения и снижения давления от транспортной нагрузки. Его устраивают из прочных и достаточно жестких материалов.

Основание – несущая часть дорожной одежды, совместно с покрытием обеспечивающая распределение и передачу нагрузок на грунт земляного полотна. Основание может состоять из двух слоев: верхнего, сооружаемого из более прочных материалов (обычно укрепленных вяжущими), и нижнего, к материалам которого предъявляют менее жесткие требования в отношении прочности. В состав основания в ряде случаев включают дополнительный слой основания.

Основание может быть устроено из щебня, гравия, песчано-гравийных смесей, укрепленных грунтов, цементобетона и др.

Дополнительный слой основания (подстилающий слой) – нижний конструктивный слой дорожной одежды, выполняющий функции передачи нагрузок на земляное полотно, а также функции морозозащитного и дренирующего слоя. Подстилающий слой обычно устраивают из песков и песчано-гравийных смесей с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сутки. Если земляное полотно представлено песчаными грунтами с вышеуказанным коэффициентом фильтрации, то подстилающий слой дорожной одежды не устраивается.

Толщина подстилающего слоя должна обеспечить требования морозозащиты и осушения (дренажа) земляного полотна, то есть его толщина должна быть не меньше толщины дренирующего и морозозащитного слоев.

Дренирующий слой обеспечивает осушение верхнего слоя земляного полотна в период избыточного увлажнения, что способствует повышению прочности и надежности дорожной одежды. Его устраивают из песков или песчано-гравийных смесей с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сутки.

Толщину дренирующего слоя рассчитывают из условия своевременного отвода всей воды (атмосферных осадков, грунтовых вод), поступающей в район верхнего слоя земляного полотна. Дренирующий слой обычно устраивается на всю ширину земляного полотна с целью отвода воды, поступившей на откос (рис. 1.1).

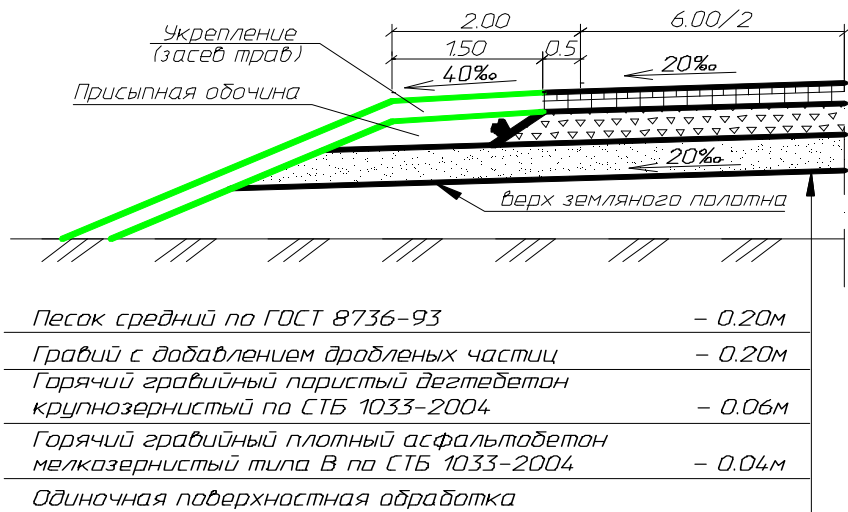


Рис. 1.1. Поперечный профиль дорожной одежды с дренирующим слоем

Морозозащитный слой обеспечивает недопущение деформаций покрытия вследствие морозного пучения грунта земляного полотна. Поскольку снижение морозного пучения достигается за счет увеличения толщины дорожной одежды, то функцию морозозащитного слоя выполняет подстилающий слой как наиболее дешевый. Если толщина морозозащитного слоя получается достаточно большой, в проек-

тах могут быть предусмотрены специальные мероприятия по повышению морозозащиты (устройство теплоизолирующих прослоек).

1.1.3. Факторы, влияющие на работу дорожных одежд

Влияние погодно-климатических факторов на работу дорожных одежд

Дорожные одежды за время эксплуатации испытывают комплекс воздействий погодно-климатических факторов, которые влияют на структуру материала и свойства материалов конструктивных слоев и как следствие на состояние и работоспособность дорожных одежд.

К погодно-климатическим факторам можно отнести:

- действие солнечной радиации;
- влажность воздуха, грунта земляного полотна и дорожной одежды (конструктивных слоев);
- понижение и повышение температуры воздуха и слоев дорожной одежды;
- попеременное замораживание и оттаивание воды в порах материалов и грунте земляного полотна;
- накопление влаги в грунтах, ее промерзание и увеличение в объеме (пучины).

Солнечная радиация обычно усиливает процессы полимеризации и поликонденсации вяжущих материалов. Это приводит к изменению свойств бетонов на их основе (старение). В результате снижается ресурс работы и долговечность материала.

Обычно с этими явлениями борются конструктивными методами, например, путем устройства защитных слоев (поверхностные обработки).

Более сложно влияют влажность и температура, связано это с их колебаниями в течение года, месяца, суток.

Влажность и температура, а также прочность покрытий и грунтов, не совпадают в своих экстремумах в течение года, например, наиболее высокая влажность и соответственно низкая прочность грунтов наблюдается весной, соответственно высокая температура покрытия и самая низкая его прочность – летом.

Для более полного учета вышеуказанных особенностей оперируют понятием расчетного периода.

Расчетный период – это временной интервал, в течение которого наблюдается наиболее неблагоприятный режим работы дорожной одежды либо ее отдельных конструктивных слоев.

Продолжительность и сезон назначения расчетного периода зависят от принятых критериев и методик расчета дорожной одежды.

Понижение температуры воздуха ведет к охлаждению материалов конструктивных слоев. При охлаждении материал стремится к сжатию (сокращению размеров), но в дорожной одежде конструктивные слои представляют собой защемленную ленту и свободное изменение размеров невозможно. Это приводит к появлению температурных напряжений и температурных трещин на покрытии.

Попеременное замораживание и оттаивание воды в порах грунта и слоев ведет к накоплению повреждаемости и разрушения материалов. В результате снижается прочность дорожной одежды, появляются коррозионные деформации (выбоины, ямы и др.).

Появление и развитие пучин ведет к снижению ровности покрытия и потере эксплуатационных качеств дорожной одежды.

Таким образом, дорожная одежда испытывает комплекс воздействий погодных-климатических факторов, которые необходимо учитывать при ее проектировании и расчете.

Влияние параметров транспортной нагрузки на работу дорожных одежд

По автомобильным дорогам обращаются транспортные средства различной конструкции, конфигурации, назначения и грузоподъемности, что приводит к появлению напряжений и деформаций в конструктивных слоях, развитию повреждаемости в строительстве и в последующем потерям их прочности и несущей способности.

Каждое транспортное средство, ввиду особенностей его конструкции, по-разному влияет на напряженное состояние дорожной одежды, поэтому важно знать основные характеристики транспортных средств и их влияние на напряженное состояние.

К основным характеристикам транспортных средств относят:

- грузоподъемность;
- количество осей и колес на оси;
- нагрузки на ось и колесо;
- параметры и характеристики шин колеса.

Грузоподъемность автомобилей может достигать 60 т. Количество осей – 6–8, нагрузки на ось – 13–15 т. Очень важное значение имеет конструкция и характеристика шины автомобиля. При контакте с покрытием особое значение приобретает ширина и длина беговой дорожки.

Современные шины высокого давления распределяют нагрузку не равномерно, а сконцентрированы в центре отпечатка, что приводит к повышению сдвигающих напряжений в покрытии и появлению колеи (рис. 1.2, *а*), в то время как шины низкого давления имеют плавное распределение нагрузки, однако ее интенсивность сохраняется на большую глубину (рис. 1.2, *б*). В результате автомобили с шинами высокого давления приводят к преждевременному выходу из строя материалов покрытия, а низкого давления – к накоплению остаточных деформаций в грунте земляного полотна и потере ровности. Поэтому при расчете дорожных одежд и оценке устойчивости материала покрытия желательно учитывать различные виды расчетных нагрузок.

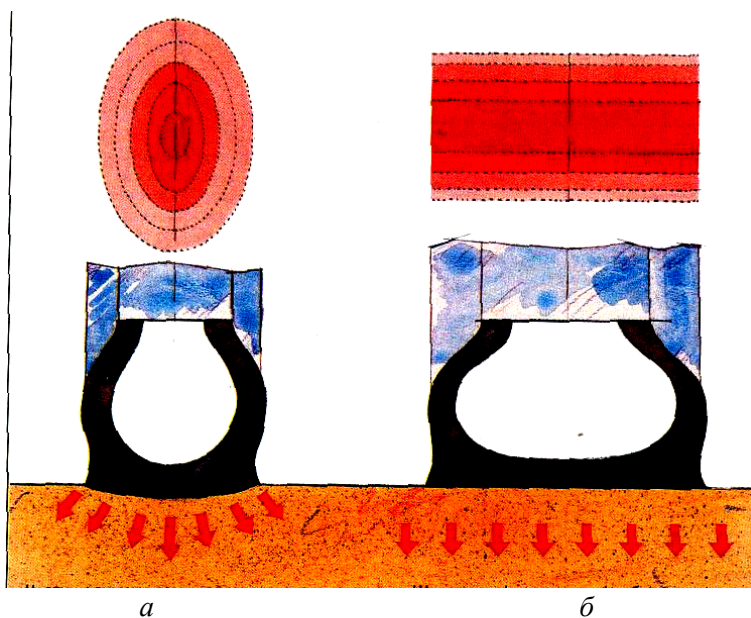


Рис. 1.2. Характер распределения давления и напряжений в шинах:
а – высокого давления; *б* – низкого давления

Ширина беговой дорожки B (рис. 1.3) мало зависит от грузоподъемности автомобиля и скорости движения. Она определяется в основном конструкцией шины.

Для большинства шин грузовых автомобилей $B = 20\text{--}30$ см.

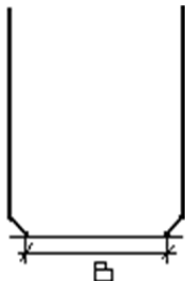


Рис. 1.3. Вид шины спереди с выделением беговой дорожки

Длина беговой дорожки L (рис. 1.4) зависит как от конструкции шины, так и нагрузки Q_n . Связано это с тем, что в продольном направлении происходит вертикальная деформация (смятие шины).

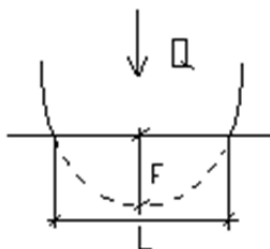


Рис. 1.4. Вид шины сбоку с выделением длины беговой дорожки

Вертикальная деформация определяется как

$$f = a \left(\frac{Q_n K_d}{P_w} \right)^B, \quad (1.1)$$

где a , B – константы шин, которые принимаются по справочнику в зависимости от их конструкции;

Q_n – нормативная нагрузка на колесо:

$$Q_n = \frac{Q_0}{n}, \quad (1.2)$$

где Q_0 – нагрузка на ось;

n – число колес на оси;

K_d – коэффициент динамичности, равный 1,1–1,3, зависит от типа и конструкции подвески;

P_w – давление воздуха в шине.

Если известно значение f и B , то можно определить L :

$$L = 1,38\sqrt{(D_{ш} - f)f}, \quad (1.3)$$

где $D_{ш}$ – наружный диаметр шины;

f – прогиб.

Используя значения B и L , можно определить такую важную характеристику, как площадь отпечатка следа колеса на покрытии:

$$F = 0,875B(6L), \quad (1.4)$$

Конфигурация отпечатка бывает различной от круга, до прямоугольника (рис. 1.5):

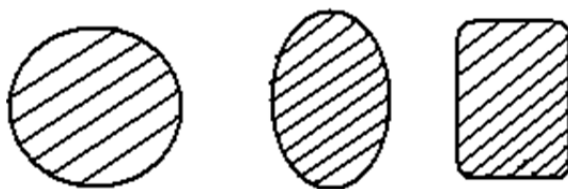


Рис. 1.5. Виды отпечатка следа колеса на покрытии

В зависимости от формы отпечатка вычисляют F . Зная форму и площадь отпечатка, можно определить такой важный показатель, как удельное давление колеса на покрытие (сила на ед. площади).

Удельное давление P

$$P = \frac{Q_n K_d}{F}. \quad (1.5)$$

В целом, эпюра давления на покрытии имеет сложный характер (рис. 1.6).

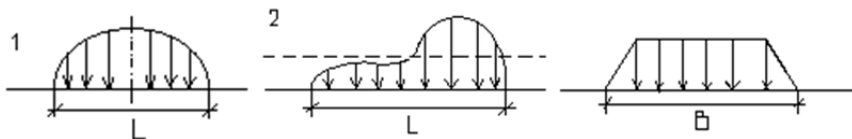


Рис. 1.6. Эпюры распределения давления шины на покрытие:
1 – статическое неподвижное положение; 2 – подвижное положение

Давления, вычисленные по формуле (1.5), являются средними. Учитывая сложный характер отпечатка колеса и характер распределения нагрузки, для упрощения построения расчетных схем и выполнения практических расчетов сложный отпечаток (прямоугольник, эллипс) заменяют равновеликим по размерам кругом.

Данный круг характеризуется эквивалентным диаметром (рис. 1.7).

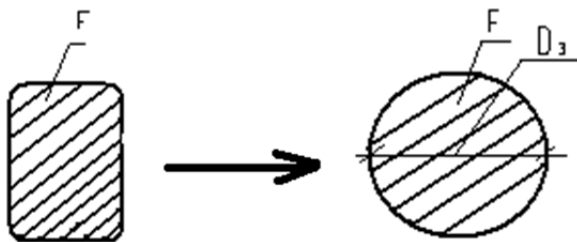


Рис. 1.7. Схема к определению эквивалентного диаметра.

Эквивалентный диаметр круга D_3 , равновеликого отпечатку следа колеса:

$$D_3 = 1,13\sqrt{F}. \quad (1.6)$$

Данная методика определения F , D_3 , P принята в странах Евросоюза. В России и некоторых странах СНГ принята упрощенная методика, в соответствии с которой D_3 вычисляется по формуле

$$D_3 = \sqrt{\frac{40Q_H K_d}{\pi P_w}}. \quad (1.7)$$

В этом случае F отпечатка получают сразу как круг:

$$F = \frac{\pi D_3^2}{4}, \quad P = \frac{Q_H K_d}{F}. \quad (1.8)$$

Таким образом, параметрами, характеризующими влияние транспортного средства на работу дорожного покрытия и дорожной одежды, являются:

- 1) нагрузки на ось и колеса расчетного автомобиля Q_0 и Q_H ;
- 2) эквивалентный диаметр и площадь круга D_3 и F , равновеликого отпечатку следа колеса;
- 3) удельное давление колеса на покрытие P .

На участках разгона и торможения, а также уклонах более 30 %, кроме вертикальной нагрузки Q_H , может учитываться горизонтальная сила T_T :

$$T_T = (0,5 - 1,0) Q_H. \quad (1.9)$$

Учет T_T способствует росту D_3 и P .

Понятие о расчетном автомобиле

В реальных условиях эксплуатации по а/д обращаются различные группы и типы автомобилей (от легковых до многоосных автопоездов). Каждый из этих автомобилей имеет собственные параметры и характеристики и по-разному влияет на работоспособность и ресурс д/о. Такая ситуация существенно усложняет учет транспортного потока при назначении конструкции и выполнении расчетов д/о. Для упрощения практических расчетов введено понятие расчетного автомобиля (расчетной нагрузки).

Расчетный автомобиль – это виртуальный автомобиль, имеющий одну ось и два колеса на ней. Характеризуется расчетный автомобиль нагрузкой на ось Q_0 , нагрузкой на колесо Q_H , эквивалентным диаметром отпечатка D_3 и удельным давлением. В разных странах приняты различные параметры и характеристики расчетных автомобилей.

Таким образом, *расчетная нагрузка* – виртуальная ось с определенными параметрами. Выбор конкретных параметров и вида расчетной нагрузки зависит от подходов и расчетов, принятых в различных странах. Данные параметры могут существенно отклоняться в зависимости от принятых расчетных подходов, уровня развития науки и квалификации научных и инженерных кадров. При выборе расчетной нагрузки имеются определенные отличия для загородных дорог и городских улиц [1], [2].

Для загородных дорог, согласно [1], возможно применение трех видов расчетных нагрузок: А1, А2, А3.

Параметрами, характеризующими величину и повторность действия нагрузки транспортных средств на дорожную одежду, приняты:

– при проектировании дорожной одежды на неподвижное нагружение – среднее расчетное давление p колеса на покрытие и расчетный диаметр D_n , равновеликий отпечатку колеса неподвижного автомобиля;

– при проектировании дорожной одежды на действие движущегося транспортного средства – давление p , расчетный диаметр D_0 отпечатка колеса движущегося автомобиля и расчетная интенсивность движения N_p , приведенная к нормируемому нагружению.

Расчетные значения D и p для групп расчетных нагрузок А₁, А₂ и А₃ изложены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$, кН	Расчетные параметры нагрузки	
		P , МПа	D , см
А ₁	50,0	0,60	$\frac{37}{33}$
А ₂	57,5	0,60	$\frac{39}{37}$
А ₃	65,0	0,60	$\frac{41}{39}$

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

Расчет на прочность дорожной одежды выполняют на многократное воздействие кратковременной нагрузки от расчетного автомобиля, которое определяют по результатам анализа прогнозируемого транспортного потока с учетом перспективы на межремонтный срок службы дорожной одежды. Для этого применяют группы расчетных нагрузок, назначаемые заказчиком или проектной организацией по согласованию с заказчиком. При этом в прогнозируемом транспортном потоке назначают не менее 10 % транспортных средств, соответствующих назначенной группе нагрузок.

*Определение интенсивности движения
расчетных автомобилей*

Для приведения реального потока транспортных средств к расчетной нагрузке используют коэффициенты приведения.

Коэффициент приведения S_i – отношение степени снижения ресурса и развития повреждаемости дорожной одежды от проезда реального автомобиля ψ_ϕ и расчетного автомобиля ψ_p :

$$S_i = \frac{\psi_\phi}{\psi_p}. \quad (1.10)$$

В большинстве стран пока коэффициент приведения рассчитывается по методике, разработанной специалистами AASHO (американской ассоциации дорожных специалистов, основанной в 1966 г.):

$$S_i = \left(\frac{Q_\phi}{Q_p} \right)^\beta, \quad (1.11)$$

где Q_ϕ – нагрузка на ось или колесо реального транспортного средства;

Q_p – то же, но расчетного автомобиля;

β – коэффициент, зависящий от конструкции и типа дорожной одежды.

Недостаток данной методики заключается в том, что не учитывается отпечаток колеса современной конструкции шин, влияние соседних колес и осей друг на друга. В ряде стран (Франции, Англии) используют более сложный подход.

Например,

$$S_i = \exp(C), \quad (1.12)$$

где C – эмпирический параметр:

$$C = 5,64 \left[\left(\frac{D_i}{D_p} \right)^{0,36} \left(\frac{Q_i}{Q_p} \right)^{0,54} K_B - 1 \right], \quad (1.13)$$

где D_i , Q_i – эквивалентный диаметр и нагрузка на ось или колесо реального автомобиля;

D_p , Q_p – эквивалентный диаметр и нагрузка на ось или колесо расчетного автомобиля;

K_B – коэффициент, учитывающий влияние соседних колес и осей друг на друга.

При расчетах дорожной одежды на устойчивость к пластическим деформациям коэффициенты приведения определяют как

$$S_i = \left(\frac{\tau_\phi l_\phi}{\tau_p l_p} \right)^\beta, \quad (1.14)$$

τ_ϕ и l_ϕ – максимальные значения касательных напряжений и вертикальных деформаций покрытия при движении реального автомобиля;

τ_p и l_p – максимальные значения касательных напряжений и вертикальных деформаций покрытия при движении расчетного автомобиля;

β – коэффициент, учитывающий тип дорожной одежды.

Поскольку реальные транспортные средства имеют не одну, а несколько осей, коэффициент приведения определяют для каждой из них, а общий вычисляют путем суммирования:

$$S_i = S_1 + S_2 + S_3. \quad (1.15)$$

Сегодня существуют методики, позволяющие принимать реальный автомобиль транспортного потока (МАЗ, Мерседес) в качестве расчетного.

Для выполнения практических расчетов невысоких категорий можно пользоваться укрупненными значениями коэффициентов приведения, которые приведены в таблицах соответствующих ТНПА [1, 2].

Значение суммарного коэффициента приведения для всего транспортного потока $S_{m \text{ сум}}$ определяют по формуле

$$S_{m \text{ сум}} = \sum_1^n S_n, \quad (1.16)$$

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

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

Коэффициенты приведения нагрузок S_n определяют по специальной методике [3].

Для практических расчетов допускается принимать значения коэффициентов приведения по таблицам (прил. 4, табл. П4.1).

Величину приведенной интенсивности движения на последний год срока службы дорожной одежды N_p , ед./сут, определяют по формуле

$$N_p = f_{\text{пол}} + N_t S_m, \quad (1.17)$$

где $f_{\text{пол}}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним, определяемый по таблицам ТНПА;

N_T – число поездок в сутки в обоих направлениях транспортных средств в физических единицах на конец срока службы;

$S_{m \text{ сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m -й марки к расчетной нагрузке $Q_{\text{расч}}$ (1.16).

Расчетное суммарное количество приложений расчетной нагрузки к дорожной конструкции за весь срок службы определяют по условию

$$\Sigma N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{\text{сл}}-1)}} T_{\text{рдг}} k_n, \quad (1.18)$$

где N_p – приведенная интенсивность воздействия нагрузки на последний год;

$T_{\text{рдг}}$ – расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции, определяемое по таблицам ТНПА;

k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, принимаемый по таблицам ТНПА;

K_c – коэффициент суммирования:

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1}, \quad (1.19)$$

где $T_{\text{сл}}$ – расчетный срок службы дорожной одежды;

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

Расчетное число расчетных дней в году $T_{\text{рдг}}$ за проектный срок службы конструкции $T_{\text{сл}}$ устанавливают по данным специальных исследований. Расчетным считается день, в течение которого сочетание состояния грунта земляного полотна по влажности и температуре асфальтобетонных слоев конструкции обеспечивает возможность накопления остаточной деформации в грунте земляного полотна или малосвязных слоях дорожной одежды и верхних слоях асфальтобе-

тона. Для условий Республики Беларусь значения $T_{рдг}$ принимают по таблицам ТНПА.

1.1.4. Основные понятия о прочности и надежности дорожных одежд, назначении уровня надежности и сроков службы

Основные понятия о прочности и надежности дорожных одежд

Дорожные одежды и материалы конструктивных слоев ее составляющих должны рассчитываться на прочность с некоторым уровнем надежности.

Под прочностью понимают способность материалов или конструкций сопротивляться разрушению, а также необратимым изменениям формы под действием внешних нагрузок

Применительно к дорожной одежде и материалам покрытия данный термин можно трактовать как отсутствие силовых трещин, проломов, просадок, приводящих к разрушению дорожной одежды; а также появление деформаций, вызванных погодными-климатическими факторами и транспортной нагрузкой, снижающих скорость и безопасность движения по дороге.

Обычно прочность оценивают путем сопоставления свойств материала, ответственных за появление тех или иных деформаций и разрушений с требуемыми свойствами при которых эти деформации отсутствуют. То есть проверяется следующее условие:

$$R_{ф} \leq R_{тр}, \quad (1.20)$$

где $R_{ф}$ – фактические свойства материала, ответственные за тот или иной вид деформаций;

$R_{тр}$ – требуемые свойства, при которых деформации отсутствуют.

Теоретико-экспериментальными является большинство методов оценки прочности и деформационной устойчивости материалов дорожных покрытий и одежд. К ним можно отнести расчеты на сдвигоустойчивость, морозостойкость и другие. В данных критериях одни параметры определены экспериментально, другие – получены теоретически.

Выполнение критериев прочности еще не гарантирует обеспечения нормативных сроков службы в эксплуатации.

На практике неизбежны колебания свойств материалов, грунтов, толщины слоев по всей площади дорожной одежды, связанные с технологическими, проектными и строительными нарушениями. Неизбежным является и несовершенство критериев прочности (как теоретических, так и экспериментальных), поэтому расчет на прочность ведут с определенным запасом, называемым уровнем надежности.

Надежность – способность материала покрытия или конструкции в целом сохранять заданные эксплуатационные характеристики (ровность, прочность, шероховатость) в течение расчетного срока службы. Интегральной характеристикой надежности является уровень надежности, характеризующий вероятность отказа (появление недопустимых деформаций, разрушения) ранее расчетного срока службы.

Уровень надежности (УН) – вероятность отказа покрытия или дорожной конструкции по одному (частный уровень) или ряду (общий уровень) критериев прочности. Значение уровня надежности P можно трактовать как

$$P = 1 - \frac{F_p}{F_0}, \quad (1.21)$$

где F_p – площадь покрытия дорожной одежды, имеющая недопустимые деформации или разрушения на конец срока службы;

F_0 – общая площадь дорожной одежды.

Таким образом, если уровень надежности равен 0,9 (90 %), то в конце расчетного срока службы 10 % покрытия будет находиться в неудовлетворительном состоянии.

Вычислить уровень надежности можно путем определения интеграла:

$$P = \int_{E_{\text{доп}}}^{E_{\text{max}}} F_E dE, \quad (1.22)$$

где E_{max} – максимальное значение параметра, встречающееся на практике;

$E_{\text{доп}}$ – допустимое значение параметра (модуля упругости, прочности), по которому оценивается УН;

F_E – функция распределения параметра.

Функция распределения параметра может быть представлена в виде теоретической кривой (нормального распределения, Вейбулла, Пирсона и т. д.) либо получена экспериментально.

Например, для нормального распределения (наиболее часто встречающегося) функция распределения имеет вид

$$F_E = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(E_i - m_E)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (1.23)$$

где E_i – текущее значение параметра E ;

m_E – его математическое ожидание;

σ^2 – дисперсия параметра E .

Уровень надежности можно вычислить также на основе анализа экспериментальной кривой распределения.

Если получена экспериментальная кривая распределения заданного параметра (например, модуля упругости), то для оценки уровня надежности достаточно определить площадь под кривой в пределах от допустимого до максимального параметра. В этом случае для оценки УН необходимо произвести ряд экспериментальных замеров параметра E , статистическую обработку, определить функцию распределения и вычислить интеграл надежности.

Различают частный и общий уровень надежности.

Частный уровень надежности – уровень надежности по какому-либо критерию прочности (упругому прогибу, устойчивости к пластическим деформациям и т. д.). Используя его, можно предсказать вероятность отказа материала или конструкции только по данному критерию. Отказ частного уровня свидетельствует о необходимости среднего ремонта.

Общий уровень надежности – уровень надежности, учитывающий весь комплекс возможных воздействий. Обычно его получают произведением частных уровней. Если общий уровень надежности ниже нормативного, снижается срок службы дорожной одежды.

На практике уровни надежности обычно реализуют через коэффициенты запаса прочности.

Если известны свойства материала, характеризующие его поведение в дорожной одежде, и требования к этим свойствам, можно определить коэффициент запаса прочности K_i :

$$K_i = \frac{R_i^{\phi}}{R_i^{\text{TP}}}, \quad (1.24)$$

где R_i^{ϕ} , R_i^{TP} – соответственно фактические и требуемые свойства материала.

Чтобы использовать значение коэффициентов запаса при оценке надежности, необходимо установить их связь с уровнем надежности, поскольку в реальной ситуации неизбежен статистический разброс.

Уровень надежности можно найти как вероятность того, что коэффициент запаса K будет меньше значения K_i , вычисленного по формуле (1.24).

Установить связь коэффициентов запаса и уровня надежности можно экспериментально путем строительства опытных участков дорожных одежд (или покрытий с различными свойствами), обладающих различными коэффициентами запаса с последующим долговременным наблюдением за развитием деформаций и определением уровня надежности по формуле (1.21). Затем полученные данные подвергают статистической обработке и получают зависимости связи коэффициентов запаса и уровня надежности. Таким образом, была получена зависимость частного уровня надежности дорожной одежды по упругому прогибу от коэффициента прочности, определяемого как

$$K_{\text{пр}} = \frac{E_{\phi}}{E_{\text{тр}}}, \quad (1.25)$$

где E_{ϕ} – фактический модуль упругости;

$E_{\text{тр}}$ – требуемый модуль упругости.

Используя вышеприведенные подходы, можно получить взаимосвязь коэффициентов запаса и уровней надежности для нормальных кривых распределения, Вейбулла, Пирсона и др.

В целом уровень надежности – это запас на незнание, неучет тех или иных показателей.

Дорожные одежды необходимо рассчитывать с учетом критериев надежности. Для основных случаев проектирования допустимый (необходимый) уровень (коэффициент) надежности K_n определяют как минимальное значение коэффициента прочности $K_{пр}$ в конце срока службы дорожной одежды в зависимости от категории дороги, типа дорожной одежды и вида покрытия. Данные параметры приведены в таблицах и представлены на графиках, соответствующих ТНПА [1, 2].

Срок службы верхнего слоя асфальтобетонного покрытия может быть меньше расчетного срока службы дорожной одежды. Допускается несколько полных замен верхнего слоя асфальтобетонного покрытия между капитальными ремонтами дорожной одежды.

Для дорог магистральной и республиканской сети проектная организация или заказчик могут установить требования к общему уровню надежности асфальтобетона верхнего слоя покрытия. Общий уровень надежности асфальтобетона используют при подборе состава асфальтобетонного покрытия. Рекомендуемые минимальные значения общего уровня надежности асфальтобетона принимают по графикам, представленным в [1].

Вид вяжущего для приготовления асфальтобетонных смесей принимают в зависимости от группы нагрузок и коэффициента надежности дорожной одежды по таблицам ТНПА.

1.2. Реализация положений первого раздела в курсовом проекте

1.2.1. Определение категории дороги и назначение типа дорожной одежды

Исходные данные для выполнения проекта принимаются в соответствии с заданием (см. прил. 1).

Категория автомобильной дороги назначается по интенсивности движения физических автомобилей на перспективу 20 лет [3].

Интенсивность движения на перспективу t_p вычисляется по формуле

$$N_t = N_0(1 + 0,01P)^{t-1}, \text{ авт./сут.}; \quad (1.26)$$

$$N_t = 500(1 + 0,01 \cdot 1)^{20-1} = 604 \text{ авт./сут.},$$

где N_0 – исходная интенсивность движения в год ввода дороги в эксплуатацию; $N_0 = 500$ авт./сут. (по заданию);

P – ежегодный прирост интенсивности движения; $P = 1\%$ (по заданию);

t – перспективный период для назначения категории дороги, $t = 20$ лет.

Сравнивая полученное значение интенсивности движения на перспективу 20 лет с данными табл. 1.2, принимаем дорогу IV технической категории.

Таблица 1.2

Категория дороги	Интенсивность движения на дорогах, авт./сут.	
	Республиканские	Местные
I-а	Более 8000	–
II-б	Более 10 000	–
I-в	Более 10 000	–
II	5000–10 000	Более 7000
III	2000–5000	3000–7000
IV	200–2000	400–3000
V	До 200	До 400
VI-а	–	25–50
VI-б	–	До 25

Примечание. На дорогах IV категории, относящихся к республиканским, следует предусматривать дорожную одежду капитального типа.

Тип дорожной одежды выбирается в зависимости от категории дороги по табл. 1.3.

Таблица 1.3

Типы дорожных одежд	Виды покрытий, материалы и способы их укладки	Категория дороги
Капитальные	Асфальтобетонные щебнемастичные;	I-а I-б I-в
	Асфальтобетонные из плотных смесей марки II, укладываемые в горячем и теплом состоянии	II III
	Асфальтобетонные из плотных смесей: марки II, укладываемые в горячем и теплом состоянии; марки I, укладываемой в холодном состоянии	III IV
Облегченные	Асфальтобетонные из плотных смесей: марки III, укладываемые в горячем и теплом состоянии; марки II, укладываемые в холодном состоянии. Каменные материалы, обработанные органическими вяжущими методами смешения в установке, на дороге, пропитки (полупропитки)	IV-V
Переходные	Щебеночные (из щебня прочных пород), устроенные по способу заклинки без применения вяжущих; грунты и малопрочные каменные материалы, укрепленные вяжущими; мостовые; щебеночно (гравийно)-песчаные смеси	
Низшие	Грунты, укрепленные или улучшенные различными местными материалами	V

Назначаем тип покрытия – капитальный (асфальтобетонные из плотных смесей марки II, укладываемые в горячем и теплом состоянии).

1.2.2. Назначение вида и параметров расчетной нагрузки, значения коэффициентов приведения, уровня надежности и сроков службы дорожной одежды

Выбор расчетной нагрузки. В соответствии с заданием сводим в таблицу 3 % автомобилей в составе потока с нагрузкой на ось для

загородных дорог. Параметры транспортной нагрузки принимаем по табл. П2.1 прил. 2. Расчет ведем в табличной форме (табл. 1.4).

Таблица 1.4

№ п/п	Вид и марка транспортного средства	Схема транспортного средства	Максимальная нагрузка на ось, т	%, автомобилей
1	Легковые автомобили	—	0,75	30
2	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 2,5 т	—	1,7	40
3	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 5 т	—	3,2	20
4	Двухосные грузовые автомобили марки МАЗ-5549		11,5	2
5	Трехосные грузовые автомобили марки КамАЗ-65221		11,5	2
6	Автопоезда марки МАЗ-5440А9-320-030		11,5	2
7	Автопоезда марки с прицепом КамАЗ-43118		11,5	2
8	Автобусы марки МАЗ 105		11,5	2

При отсутствии в составе транспортного потока (в первый год эксплуатации) автомобилей с нагрузкой на одиночную ось свыше 12 т группа расчетной нагрузки принимается:

A_1 – в случае, когда доля автомобилей с нагрузкой на одиночную ось свыше 10 т не превышает 5 % от общего количества грузовых автомобилей;

A_2 – когда число таких автомобилей составляет более 5 % общего количества грузовых автомобилей.

Из данных табл. 1.4 видно, что количество автомобилей с нагрузкой на одиночную ось более 10 т составляет 10 % (строки 4–8). Нагрузки выше 11,5 т отсутствуют. Следовательно, в качестве расчетной принимаем нагрузку класса A_2 .

Назначение уровня надежности загородных дорог. Дорожные одежды рассчитываем с учетом критериев надежности. Для основных случаев проектирования допустимый (необходимый) коэффициент надежности K_n определяем как минимальное значение коэффициента прочности $K_{пр}$ в конце срока службы дорожной одежды в зависимости от категории дороги, типа дорожной одежды и вида покрытия.

Для дороги IV категории с капитальным типом покрытия и нагрузки A_2 по табл. 1.5 принимаем уровень надежности 0,85.

Назначение сроков службы материала покрытия и дорожной одежды. Рекомендуемые расчетные сроки службы дорожной одежды до капитального ремонта представлены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Рекомендуемый расчетный срок службы дорожной одежды

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

Для IV категории дороги с капитальным типом покрытия при коэффициенте надежности 0,85 срок службы составит 8 лет.

Срок службы верхнего слоя асфальтобетонного покрытия может быть меньше расчетного срока службы дорожной одежды. Допускается несколько полных замен верхнего слоя асфальтобетонного покрытия между капитальными ремонтами дорожной одежды.

Вид вяжущего для приготовления асфальтобетонных смесей принимаем по табл. 1.6 в зависимости от группы нагрузок и коэффициента надежности дорожной одежды.

Таблица 1.6

Применяемые марки органического вяжущего (по СТБ 1062)

Категория автомобильной дороги	Коэффициент надежности дорожной одежды K_n	Группа нагрузок	Рекомендуемая марка вяжущего	
			Асфальтобетон верхнего слоя покрытия	Асфальтобетон несущего слоя покрытия
I	0,95–0,98	A ₁	БНД 90/130	БНД 90/130
		A ₂	БНД 90/130 БНД 60/90 БМА 100/130	БНД 90/130 БНД 60/90
		A ₃	БМА 70/100	БМА 100/130
II	0,95–0,98	A ₁	БНД 90/130	БНД 90/130
		A ₂	БНД 90/130 БНД 60/90 БМА 100/130	БНД 90/130 БНД 60/90
		A ₃	Модифицированный битум	БНД 60/90
III	0,90–0,98	A ₁	БНД 90/130	БНД 90/130
		A ₂	БНД 90/130 БНД 60/90	БНД 90/130
		A ₃	БМА 100/130	БНД 60/90
IV	0,75–0,85	A ₁	БНД 90/130	БНД 90/130
		A ₂	БНД 90/130	БНД 90/130
		A ₃	БНД 60/90	БНД 90/130

Битум для устройства покрытия (верхнего и нижнего слоя) прием марки БНД 90/130 по СТБ 1062 (см. табл. 1.6).

Определение интенсивности движения расчетных автомобилей.
 Для приведения реального потока транспортных средств к расчетной нагрузке используют коэффициенты приведения. Для практических расчетов допускается принимать их значения по табл. П4.1 прил. 4.

Значение суммарного коэффициента приведения при упрощенном подходе $S_{m \text{ сум}}$ определяем по формуле

$$S_{m \text{ сум}} = \sum_1^n S_n p_n, \quad (1.27)$$

где n – число групп отдельных автомобилей;

S_n – коэффициент приведения конкретной группы автомобилей (табл. П4.1 прил. 4);

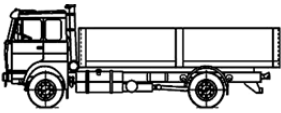
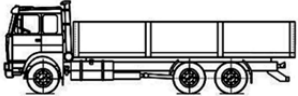



p_n – удельное количество автомобилей данной группы, в долях единицы (по заданию).

Расчет выполним в табличной форме (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Выполнение расчета

Вид и марка транспортного средства	Схема транспортного средства табл. П2.1 прил. 2	Максимальная нагрузка на ось, т	Процент автомобилей, в долях единицы	Строчка табл. П2.1 прил. 2	Коэффициент приведения
2	3	4	5	6	7
Легковые автомобили	–	0,75	0,30	1	0,0015
Грузовые автомобили грузоподъемностью до 2,5 т	–	1,7	0,40	3.1	0,10
Грузовые автомобили грузоподъемностью до 5 т	–	3,2	0,20	3.1	0,10

2	3	4	5	6	7
Двухосные грузовые автомобили марки МАЗ-5549		11,5	0,02	3.3.2	1,0
Трехосные грузовые автомобили марки КамАЗ-65221		11,5	0,02	3.3.4	1,60
Автопоезда марки МАЗ-5440А9-320-030		11,5	0,02	4.3	1,90
Автопоезда марки с прицепом КамАЗ-43118		11,5	0,02	5.5	2,5
Автобусы марки МАЗ-105		11,5	0,02	6.3	1,20

Получаем суммарный коэффициент приведения по формуле

$$S_m \text{ сум} = \sum_1^n S_n p_n = 0,3 \cdot 0,015 + 0,4 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,1 + 0,02 \cdot 1,0 + \\ + 0,02 \cdot 1,6 + 0,02 \cdot 1,9 + 0,02 \cdot 2,5 + 0,02 \cdot 1,2 = 0,229.$$

Величину приведенной интенсивности движения на последний год срока службы дорожной одежды N_p , ед./сут, определяют по формуле

$$N_p = f_{\text{пол}} N_m S_m, \text{ авт./сут}; \quad (1.28)$$

$$N_p = 0,55 \cdot 536 \cdot 0,229 = 68 \text{ авт./сут},$$

где $f_{\text{пол}}$ – коэффициент, учитывающий количество полос движения и распределение движения по ним (дорога IV категории – количество полос движения – 2).

Принимаем $f_{\text{пол}} = 0,55$ по табл. 1.8.

Таблица 1.8

Значения коэффициента, учитывающего количество полос движения и распределение движения по ним

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

Примечание. Порядковый номер полосы считается справа по ходу движения в одном направлении.

N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств в физических единицах на конец срока службы (по формуле (1.26)):

$$N_m = 500 \cdot (1 + 0,01 \cdot 1)^{8-1} = 536 \text{ авт./сут.}$$

Для IV категории дороги с капитальным типом покрытия при коэффициенте надежности 0,85 срок службы составляет 8 лет.

$S_{m \text{ сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства заданной марки к расчетной нагрузке $Q_{\text{расч}}$.

Выполненный расчет позволяет назначить уровень надежности материала покрытия, который необходимо обеспечить на стадии подбора состава (рис. 1.8).

Интенсивность 68 авт./сут. выходит за пределы графика. Поэтому принимаем минимальное значение 0,75.

Определим суммарное число воздействий расчетного автомобиля за срок службы

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q(T_{\text{сл}} - 1)} T_{\text{ргд}} k_n. \quad (1.29)$$

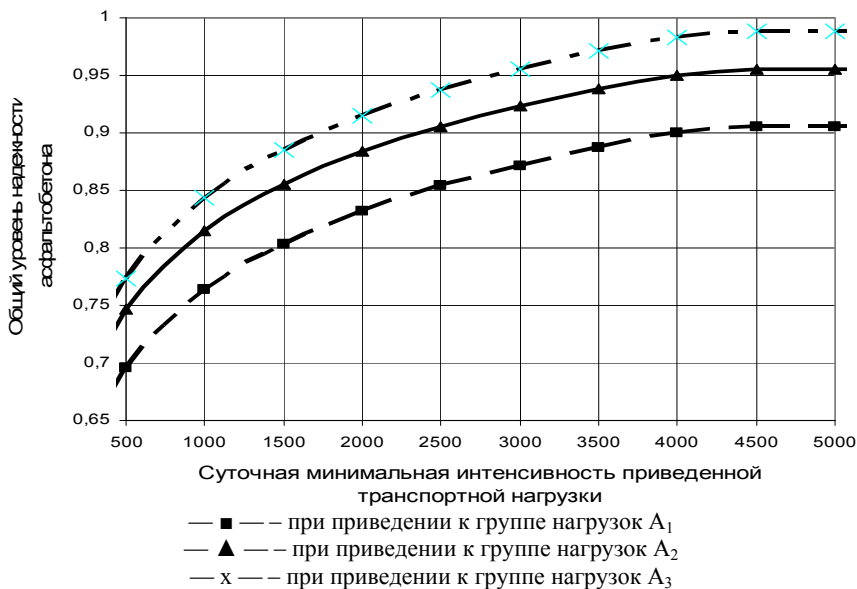


Рис. 1.8. Зависимость общего уровня надежности асфальтобетона от минимальной суточной интенсивности приведенной транспортной нагрузки на последний год службы дорожной одежды

Коэффициент суммирования K_c определим по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1} = \frac{1,01^8 - 1}{1,01 - 1} = 8,29, \quad (1.30)$$

где q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам: $q = 1 + 0,01p = 1 + 0,01 \cdot 1 = 1,01$;

$p = 1\%$ (по заданию).

Расчетное число расчетных дней в году $T_{\text{ргд}}$ за проектный срок службы конструкции $T_{\text{сл}}$ устанавливают по данным специальных исследований. Расчетным считается день, в течение которого сочетание состояния грунта земляного полотна по влажности и температуре асфальтобетонных слоев конструкции обеспечивают возможность накопления остаточной деформации в грунте земляного по-

лотна или малосвязных слоях дорожной одежды и верхних слоях асфальтобетона.

Для условий Республики Беларусь значения $T_{\text{ргд}}$ приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Значения $T_{\text{ргд}}$ в зависимости от местоположения дороги

Дорожно-климатический район	$T_{\text{ргд}}$ при расчете на прочность дорожной одежды
Северный, влажный	125
Центральный	130
Южный, неустойчиво-влажный	135

Значение $T_{\text{ргд}}$ центрального дорожно-климатического района (по заданию – Минский район) составит 130 дней.

Район принимаем по карте (рис. П5.1 прил. 5).

k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, принимаемый по табл. 1.10.

Таблица 1.10

Значения коэффициента, учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого

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

В нашем случае $k_n = 1,31$.

Тогда

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 68 \frac{8,29}{1,01^{(8-1)}} 130 \cdot 1,31 = 62\,680 \text{ авт.}$$

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

2.1. Основы теории

2.1.1. Общие положения конструирования дорожных одежд

Процесс конструирования дорожной одежды включает:

- обоснование типа дорожной одежды;
- выбор вида покрытия;
- назначение числа конструктивных слоев с выбором материалов для их устройства, размещение в конструкции и назначение их ориентировочных толщин;
- предварительную оценку необходимости назначения дополнительных морозозащитных мер с учетом условий дорожно-климатического района, типа грунта рабочего слоя земляного полотна и схемы увлажнения рабочего слоя на различных участках;
- предварительную оценку необходимости назначения мер по осушению конструкции, а также по повышению ее трещиностойкости;
- оценку целесообразности укрепления или улучшения верхней части рабочего слоя земляного полотна;

При конструировании дорожной одежды загородных дорог необходимо руководствоваться следующими принципами:

- тип дорожной одежды и вид покрытия, конструкция одежды в целом должны удовлетворять транспортно-эксплуатационным требованиям, предъявляемым к дороге соответствующей категории, и ожидаемым в перспективе составу и интенсивности движения с учетом изменения интенсивности движения в течение заданных межремонтных сроков и предполагаемых условий ремонта и содержания;
- конструкция дорожной одежды должна быть разработана индивидуально для каждого характерного участка или их ряда (при выборе конструкции дорожной одежды для данных условий предпочтение следует отдавать конструкции, проверенной на практике в данных условиях на аналогичных объектах) или может быть принята типовой на основании действующих дорожных методических документов;
- в районах, недостаточно обеспеченных минеральными материалами, удовлетворяющими требованиям ТНПА, допускается применять местные материалы (в том числе доломитовый щебень), по-

бочные продукты промышленности и грунты при условии их обработки вяжущими материалами;

– конструкция должна быть технологичной и обеспечивать возможность максимальной механизации и индустриализации дорожно-строительных работ, для достижения этой цели число слоев, их толщина и вид материалов в конструкции должны быть минимальными;

– при конструировании необходимо учитывать реальные условия выполнения дорожно-строительных работ (летняя или зимняя технология и т. п.).

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

Основание дорожной одежды из зернистых материалов для групп нагрузок A_1 и A_2 должно быть, как правило, двухслойным: несущий слой из жестких и сдвигоустойчивых материалов (щебня, гравия, щебеночно-песчано-гравийных смесей, шлаковые смеси, а также грунтов, укрепленных неорганическим или органическим вяжущим) и дополнительный слой необходимой прочности и сдвигоустойчивости, выполняющий морозозащитные и дренирующие функции.

Основание дорожной одежды, предназначенной для движения для группы нагрузки A_3 , должно быть трехслойным: два верхних несущих слоя из асфальтобетона и материала, укрепленного органическим или минеральным вяжущим, и дополнительный слой необходимой прочности и сдвигоустойчивости, выполняющий морозозащитные и дренирующие функции.

В несущих слоях оснований дорожных одежд под группу нагрузок A_3 и A_2 при интенсивности более 375 000 накопленных осей за расчетный срок службы не допускается использование материалов, не укрепленных вяжущими с модулем упругости слоя E менее 250 МПа.

Если в дополнительном слое основания применяют песок со степенью неоднородности менее 3 (по СТБ 943), поверх него предусматривают устройство защитного (технологического) слоя из песчано-гравийных смесей по ГОСТ 23735, песков из отсева дробления горных пород, гравелистых песков, асфальтогранулята и т. п. При степени неоднородности песка от 2 до 3 защитный слой принимают толщиной 0,1 м, при степени неоднородности менее 2 – толщиной 0,15 м. В расчетах прочности дорожной одежды толщину защитного слоя включают в толщину дополнительного слоя основания.

Вместо защитного слоя возможно применение синтетических геосеток для предотвращения взаимопроникновения материалов смежных слоев.

На участках дорог с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями в основании дорожной одежды не допускается применять (в том числе для нижних слоев) необработанные вяжущими материалы, у которых для частиц размером менее 0,16 мм число пластичности W_p более 7 %.

При проектировании новых автомобильных дорог расположение неукрепленных зернистых материалов между слоями из материалов или грунтов, обработанных вяжущим, не допускается.

Для предотвращения появления температурных трещин на покрытии толщину слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на верхний слой основания из материалов, укрепленных минеральным вяжущим, следует принимать не менее толщины укрепленных минеральным вяжущим слоев основания. При этом толщина слоев, содержащих органическое вяжущее, не должна быть менее 0,16 м для капитального типа дорожной одежды и 0,12 м – для облегченного.

С целью обеспечения нормальных условий работы краевых полос дорожной одежды основание проектируют на 0,50 м шире, чем проезжая часть и укрепленные полосы, а дренарующий слой, при его наличии, проектируют на всю ширину земляного полотна.

Толщину каждого конкретного слоя предварительно назначают равной минимальной конструкционной толщине, регламентированной в соответствии с действующими нормами или равной практически принимаемым значениям (например, из альбома типовых конструкций) для данного района.

В случае устройства морозозащитного слоя из зернистых материалов с коэффициентом фильтрации 1 м/сут и более он может выполнять также функцию дренающего слоя и его следует проектировать на всю ширину земляного полотна.

Дренарующие слои проектируют на участках с рабочим слоем земляного полотна из пучинистых, сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов по ТКП 45-3.03-19 во всех случаях при третьей схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна. Также дренарующие слои устраивают при первой и второй схемах увлажнения по ТКП 45-3.03-19 в первом и втором дорожно-климатическом районе,

а также на участках, в основании дорожной одежды которых возможно скопление воды (участки с затяжными продольными уклонами, на вогнутых переломах продольного профиля и др.).

На пучиноопасных участках рациональным является устройство верхней части земляного полотна из дренирующего материала без специальных водоотводящих устройств.

2.1.2. Материалы для устройства конструктивных слоев, их виды и свойства

Материалы для устройства конструктивных слоев дорожных одежд

Вид материала покрытия назначается в зависимости от его срока службы и уровня надежности.

Сроки службы устанавливают на основе теоретических и экспериментальных исследований. В табл. 2.1 приведены данные для основных конструкций и материалов.

Таблица 2.1

Рекомендуемые материалы для устройства дорожных покрытий

№ п/п	Материал верхнего слоя покрытия (слоя износа) (по разделу 6)	Материал нижнего слоя покрытия (несущего слоя) (по разделу 6)	Уровень надежности материала дорожной конструкции, P	Расчетный срок службы материала покрытия $T_{сл}$, лет
1	1.4	2.3, 2.5	0,96–0,99	14–18
2	1.5	2.3, 2.5, 2.7–2.11	0,92–0,97	9–14
3	1.6	2.3, 2.5, 2.7–2.11	0,91–0,96	8–12
4	1.7	2.1, 2.7–2.13	0,82–0,91	4–8
5	1.8	2.1, 2.7–2.13	0,82–0,94	4–10
6	1.2	2.4	0,90–0,96	7–12
7	1.1	1.7	0,90–0,96	7–12
8	1.3	1.7	0,90–0,94	7–10

Примечание. Позиции 6–8 справедливы при условии восстановления слоев износа через 3–5 лет.

Материалы для устройства слоев покрытия (по нумерации табл. 2.1):

1.1. Поверхностная обработка в соответствии.

1.2. Двойная поверхностная обработка в соответствии.

1.3. Слой «Сларри-Сил».

1.4. Смесь битумоминеральная горячая литая марки ЛБС-МЖ по СТБ 1257.

1.5. Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные горячие по СТБ 1033.

1.6. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие плотные типа А марки I по СТБ 1033 с остаточной пористостью 2–3 % и водонасыщением 1–2 %.

1.7. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие плотные типа А марки I по СТБ 1033.

1.8. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие плотные типа Б марки I по СТБ 1033.

Материалы для устройства нижнего несущего слоя покрытия:

2.1. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие пористые марки I по СТБ 1033.

2.2. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие плотные типа А марки I по СТБ 1033 с остаточной пористостью не более 5 % и водонасыщением не более 3 %.

2.3. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие пористые марки I по СТБ 1033.

2.4. Смеси асфальтобетонные мелкозернистые горячие пористые для нижнего слоя покрытия городских улиц марки I по СТБ 1033 с остаточной пористостью не более 5 % и водонасыщением не более 3 %.

2.5. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие пористые для нижнего слоя покрытия городских улиц марки I по СТБ 1033.

2.6. Смеси асфальтобетонные крупнозернистые горячие пористые для нижнего слоя покрытия городских улиц марки I по СТБ 1033 с остаточной пористостью не более 5 % и водонасыщением не более 3 %.

2.7. Смеси на органо-гидравлических вяжущих 1 группы марки I по СТБ 1415.

2.8. Смеси на органо-гидравлических вяжущих 2 группы марки I по СТБ 1415.

2.9. Смеси на органо-гидравлических вяжущих 3 группы марки I по СТБ 1415.

2.10. Смеси на органо-гидравлических вяжущих 2 группы марки II по СТБ 1415.

2.11. Смеси на органо-гидравлических вяжущих 3 группы марки II по СТБ 1415.

2.12. Смеси на органо-гидравлических вяжущих 2 группы марки III по СТБ 1415.

2.13. Смеси на органо-гидравлических вяжущих 3 группы марки III по СТБ 1415.

2.14. Смеси на органо-гидравлических вяжущих 2 группы марки I по СТБ 1415 с остаточной пористостью не более 5 % и водонасыщением не более 3 %.

Как видно из табл. 2.1, один и тот же материал может иметь различные сроки службы и уровни надежности. Связано это с колебаниями состава и свойств материалов в пределах одного типа. Поэтому в проекте должен четко указываться конкретный срок службы и уровень надежности материала покрытия. Данный уровень необходимо обеспечить на стадии подбора состава.

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

- покрытие и верхние слои основания должны соответствовать проектным нагрузкам и быть водо- и морозостойкими;

- вид, марку и тип асфальтобетона для покрытия назначают в соответствии с ТКП 45-3.03-19 и СТБ 1033;

- при перспективной интенсивности движения в физических единицах до 2000 авт./сут или менее 110 000 накопленных осей за расчетный срок службы и при стадийном строительстве допускается устройство покрытия из пористого асфальтобетона с устройством поверхностной обработки или из высокопористого асфальтобетона с устройством двойной поверхностной обработки;

- конструкция дорожной одежды остановок общественного транспорта, на регулируемых пересечениях и в других местах изменения скорости или движения с пониженными скоростями должна обеспечивать повышенную сдвигоустойчивость при высоких летних температурах (для обеспечения этого требования в верхнем слое покрытия применяют асфальтобетонные щебеночно-мастичные смеси, смеси типов А и Б либо другие асфальтобетонные смеси, предназначенные для применения на остановках общественного транспорта, а в нижнем слое покрытия – крупнозернистые пористые или

плотные асфальтобетонные смеси с содержанием щебня не менее 50 % от массы заполнителя либо укрепленные материалы).

На площадках перед пунктами весогабаритного контроля и взимания дорожных сборов для устройства верхнего слоя покрытия рекомендуется применять асфальтобетоны на вяжущем, модифицированном полимерами;

– основная задача при конструировании асфальтобетонного покрытия – уменьшение толщины верхнего слоя и сокращение числа слоев.

По ГОСТ 3344 шлаковый щебень из неактивных и малоактивных шлаков допускается использовать для устройства покрытий на дорогах IV–VI категорий и для оснований дорог I–V категорий. Щебень неустойчивой структуры из малоактивных шлаков допускается использовать только для устройства оснований на дорогах IV–VI категорий, а щебень из активных шлаков неустойчивой структуры – только после приобретения им устойчивой структуры.

Морозозащитные слои устраивают из прочных, стабильных и морозостойких зернистых материалов, таких как песок, песчано-гравийная смесь, гравий, шлаки и др., а также из грунтов, укрепленных вяжущими, гидрофобизированных грунтов или из других непучинистых материалов. Показателем пригодности материала по морозостойкости является его степень пучинистости, принимаемая по ТКП 45-3.03-19.

Дренирующие слои проектируют из песка, гравийных материалов, шлака и других фильтрующих материалов. В конструкциях, где дренирующий слой оказывается выше глубины промерзания, материалы слоя должны быть морозостойкими и прочными. Требуемый коэффициент фильтрации материала дренирующего слоя определяют расчетом с учетом геометрических параметров проезжей части и других условий.

Независимо от результатов расчета коэффициент фильтрации дренирующего материала должен быть не менее 1,0 м/сут на участках дорог, проходящих в насыпях, и не менее 2,0 м/сут на участках дорог, проходящих в насыпях высотой до 1,5 м или в выемках.

При наличии материалов для устройства дренирующего слоя с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 1,0 м/сут или при количестве воды более 0,007 м/сут, подлежащей отводу с 1 м² проезжей части, а также в выемках и местах с нулевыми отметками, предусматривают устройство продольных трубчатых, плоских геосинтетических

дрен и других с поперечными выпусками у краев покрытия, а также применение продольного дренажа из крупнопористого материала. Конструкцию дренажа назначают на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Свойства материалов конструктивных слоев

Материалы, которые содержат вяжущее, называются *монолитными*, а которые их не содержат – *дискретными (дисперсными)*.

К основным физико-механическим свойствам материалов конструктивных слоев дорожных одежд и грунтов земляного полотна можно отнести: реологические, прочностные, деформационные и теплофизические свойства.

Практически все материалы слоев дорожной одежды обладают реологическими свойствами. Особенно это относится к материалам, содержащим битум. Наличие реологических свойств приводит к ситуации, когда прочностные и деформационные показатели непостоянны, а зависят от температуры, времени, действия нагрузок, режимов нагружения.

Различают простые и сложные реологические свойства. К простым относят упругость, вязкость и пластичность. К сложным – эластичность и релаксацию.

Упругость – свойство материалов восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после ликвидации действия нагрузок.

Для упругих тел связь между напряжением и деформацией линейна и описывается законом Гука. Основной характеристикой упругих тел является модуль упругости, представляющий собой отношение напряжения к деформации. К упругим условно можно отнести металлы, цементобетон, асфальтобетон при температурах ниже температуры стеклования.

Вязкость – свойство материала сопротивляться перемещению одной его части относительно другой с рассеянием энергии.

Вязкие материалы имеют линейную зависимость между напряжением и скоростью деформации. Вязкие свойства характеризуются коэффициентом вязкости или вязкостью. Примером таких материалов является битум при высоких температурах.

Пластичность – это свойство материала резко увеличивать деформацию после превышения определенного напряжения. Пластические

свойства характеризуются коэффициентом пластичности. Примером таких материалов является глина при высокой влажности.

Реальные дорожно-строительные материалы, особенно содержащие органическое вяжущее (асфальтобетон), обладают целым спектром простых и сложных свойств, что приводит к сложному влиянию временных и температурных факторов на физико-механические свойства.

Например, модуль упругости дорожно-строительных материалов – величина не постоянная, а является функцией времени. Чем больше время действия нагрузки, тем меньше модуль упругости. Чем ниже температура, тем выше модуль упругости.

Наличие реологических свойств приводит к сложной зависимости прочности от температуры и времени нагружения. Эта зависимость имеет вид, изображенный на рис. 2.1.

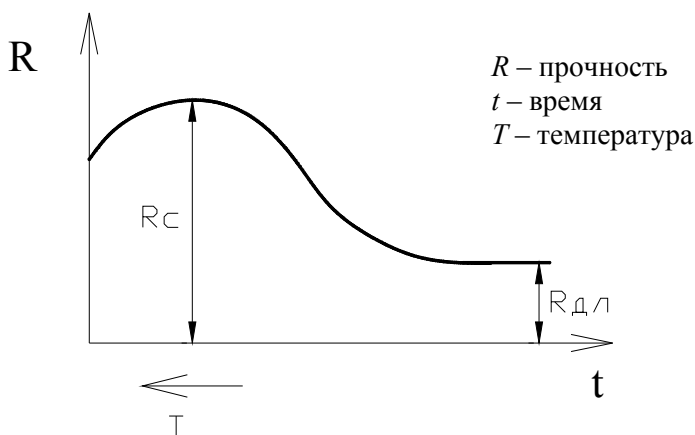


Рис. 2.1. Феноменологическая зависимость свойств асфальтобетона от времени нагружения или температуры

На данной зависимости можно выделить два параметра: максимальную прочность R_c (максимально возможная предельно-структурная прочность) и минимальную прочность $R_{дл}$ (длительная).

Такая же зависимость наблюдается и для модуля упругости (релаксации) E_t . Выделяют значение максимального модуля E_c и длительного модуля $E_{дл}$. Влияние температуры и времени нагружения

сказывается на показателях прочности при различных видах напряженного состояния и режимах нагружения. Более подробно о реологических свойствах можно ознакомиться в [3].

Деформационные свойства характеризуют развитие деформации материалов под действием нагрузок и широких температурно-временных полях. К деформационным свойствам относят модуль упругости материала, модуль релаксации, характеризующий связь между напряжением и деформацией с учетом времени и температуры, коэффициент поперечной деформации (для упругих тел – коэффициент Пуассона).

Кроме деформационных свойств, материал обладает прочностными свойствами, то есть прочностью.

Прочность – способность материала выдерживать определенный уровень нагрузки без разрушения (разделения на части).

К прочностным свойствам относят прочность материалов на сжатие, растяжение, изгиб, сдвиг, раскол – $R_{сж}$, R_p , $R_{и}$, $R_{сд}$, $R_{ск}$; угол внутреннего трения φ характеризует влияние зернистой составляющей структуры материала; силу внутреннего сцепления C , характеризующую влияние вяжущего вещества; максимальную структурную прочность R_c , являющуюся важнейшей константой материала, R_c также будет различной для различных видов напряженного состояния.

Дорожно-строительные материалы в своей структуре сочетают свойства дискретных (зернистых) и однородных (монолитных) материалов.

Дискретные – щебень, песок, гравий.

Однородные – сталь.

В результате свойства материала (прочность, модуль упругости и др.) определяются как свойствами зернистой части, так и вяжущего вещества.

В общем случае прочность материала зависит от следующих факторов:

$$R_c = \sigma \operatorname{tg} \varphi + R_c \left(\frac{E_t + E_{дп}}{E_c} \right), \quad (2.1)$$

где σ – нормальные напряжения в структуре материала по площадке разрушения;

φ – угол внутреннего трения материала;

R_c – максимальная структурная прочность;

E_t – модуль упругости материала при конкретной температуре и времени нагружения;

$E_{дл}$ – длительный модуль упругости;

E_c – максимальный модуль упругости.

Первое слагаемое в формуле – составляющая прочности, связанная с зернистой компонентой материала, второе – составляющая, связанная с вяжущим веществом.

На практике, в отдельных случаях, для простоты второе слагаемое заменяют показателем силы внутреннего сцепления и тогда зависимость (2.1) превращается в формулу закона Кулона:

$$R_c = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (2.2)$$

где C – сила внутреннего сцепления, зависящая от температуры T и времени действия нагрузки t .

Теплофизические свойства ответственны за распределение температурных полей, а также изменение формы и размеров материала при колебании температуры.

К основным теплофизическим свойствам асфальтобетонов и им подобных материалов можно отнести:

- теплопроводность и температуроводность, характеризующиеся коэффициентами теплопроводности и температуропроводности;
- теплоемкость, оцениваемую коэффициентом теплоемкости;
- теплоусвоение, характеризующее способность материала сохранять тепло при колебаниях температуры на его поверхности.

Тепловое расширение является наиболее важным для оценки устойчивости материала температурным трещинам. Различают линейное и объемное тепловое расширение. При оценке температурной трещиностойкости наиболее часто используют показатель линейного расширения, который вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta T}, \text{ град}^{-1}, \quad (2.3)$$

где l_0 – первоначальная длина образца;

Δl – удлинение образца при нагревании (охлаждении) на ΔT градусов.

Для определения коэффициента линейного температурного расширения обычно используют кварцевые дилатометры.

Параметры температурного расширения являются наиболее важными при оценке напряженного состояния материала покрытия. Чем выше значения α , тем больше нереализованная температурная деформация и выше напряжения. Если добиться ситуации, когда α будет равна нулю, то проблема температурных трещин отпадет.

Коэффициент линейного температурного расширения обычно определяют с помощью кварцевых дилатометров.

Можно воспользоваться и справочными данными. В среднем коэффициент линейного температурного расширения асфальтобетона колеблется в пределах $8 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-5}$.

Расчетные характеристики материалов и методы их определения

При расчете дорожных одежд используют прочностные и деформационные характеристики материалов, которые определяют при расчетных температурах и временах нагружения. Для грунтов требуется знать также расчетную влажность.

Различают прочностные и деформационные расчетные характеристики. Для монолитных материалов (содержащих вяжущее) к расчетным характеристикам относят: модуль упругости (деформационную характеристику) и предел прочности на растяжение при изгибе (прочностную характеристику).

Для слабосвязных материалов (щебня, гравийно-песчаных смесей, грунтов) к расчетным характеристикам относят: модуль упругости (деформационная характеристика), угол внутреннего трения и коэффициент удельного сцепления (прочностные характеристики).

Расчетные характеристики определяют в пределах расчетного времени действия нагрузки при температурах и вязкости, соответствующих расчетному периоду. Чем выше расчетные характеристики материалов конструктивных слоев, тем выше прочность и долговечность дорожной одежды.

Свойства материалов на основе органических вяжущих существенно зависят от температуры и скорости деформирования (нагрузки). В общем случае данная зависимость имеет вид S-образной кривой. Поэтому расчетные характеристики материала очень сильно зависят от расчетной температуры.

Повышая вязкость органического вяжущего, повышаем и расчетные характеристики (модуль упругости и прочность на изгиб). Поэтому, применяя битумы более высокой вязкости, можно добиться повышения надежности дорожной одежды в целом.

Расчетные характеристики зависят от макро- и микроструктуры материалов. Чем плотнее и однороднее структура, тем выше и расчетные характеристики. Поэтому песчаные асфальтобетоны способствуют более высокой надежности дорожной одежды, чем щебеночные. Данная ситуация обусловлена несоответствием периода расчета дорожной одежды и эксплуатации. Для устранения данного несоответствия следует правильно конструировать дорожную одежду.

Расчетные характеристики зернистых материалов (щебня, гравия, песка) можно повысить за счет ввода дробленых частиц, содержание которых по массе должно быть не менее 25 %. При этом следует иметь в виду, что модуль упругости выше у материалов с более плотной структурой. В этом плане эффективны смеси подобранного состава (смеси щебня, гравия, гранитного отсева и т. д.).

Определение расчетных характеристик материалов и их контроль – важнейшие практические задачи. К сожалению, контроль расчетных характеристик, особенно при приемке объекта в эксплуатацию, практически не производится. Это связано с необходимостью наличия сложного оборудования и квалифицированных кадров.

Деформационные свойства грунтов и других сыпучих материалов определяют по методу вдавливания штампа определенного диаметра. Для этого в образец материала устанавливают штамп диаметром d и погружают силой F , измеряют деформацию l_0 , затем снимают нагрузку и фиксируют упругую часть деформации.

Модуль упругости определяют из условия

$$E = \frac{Pd(1-\mu^2)}{l_y}, \quad (2.4)$$

где P – удельное давление на штампе:

$$P = \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}}$$

Прочностные характеристики в зернистых материалах (φ , C) обычно определяют методом плоско-параллельного сдвига. К образцу материала прикладывают нормальную нагрузку P и определяют сдвигающую силу T , строят график зависимости $T = f(P)$.

Таким образом получают деформационные характеристики E и прочностные φ , C .

Во всех случаях расчетные характеристики выше указанных материалов определяют при расчетной влажности.

На практике расчетные характеристики дискретных материалов допускается определять по таблицам нормативных документов. Расчетные значения модуля упругости E , угла внутреннего трения φ , удельного сцепления C пылевато-глинистых грунтов и пылеватых песков принимают по табл. П.6.1 прил. 6 с учетом данных табл. П.6.2 и П.6.3 прил. 6. При назначении характеристик песков достаточно табл. П.6.1 прил. 6.

Более сложной задачей является определение расчетных характеристик монолитных материалов, особенно содержащих органическое вяжущее. Связано это с наличием реологических свойств и зависимостью характеристик от температуры и времени нагружения.

Модуль упругости монолитных материалов можно определить методами статического и динамического нагружения. При статическом методе строят зависимость деформации от времени при постоянном напряжении.

При методе динамического нагружения используются специальные испытательные машины, обеспечивающие расчетную скорость деформации образца, а также запись диаграммы (нагрузка–деформация). Получают кривую, на которой находят прямолинейный участок с соответствующими ему σ и ε .

Во всех случаях прочностные и деформационные характеристики монолитных материалов измеряют при расчетной температуре T , расчетном времени нагружения t_p (статический метод) либо расчетной скорости деформации V_d (динамический метод).

В целом определение свойств монолитных материалов – сложная и трудоемкая задача, которая требует больших трудозатрат, дорогостоящего оборудования, высокой квалификации специалистов, поэтому на практике прибегают к упрощенным способам определения выше указанных характеристик.

Упрощенная методика отражена в СТБ 1415–2003 «Бетоны на органических вяжущих. Технические условия» и ТКП 45-3.03-3–2004 «Проектирование дорожной одежды улиц и дорог населенных пунктов».

Испытания проводятся при расчетной температуре $t = 10,0$ °С и скорости деформирования $V_0 = 3$ мм/мин. Также проводятся испытания при $t = 15,0$ °С и двух скоростях нагружения: 3 и 10 мм/мин. Определяется только прочность, расчетом по формулам определяются R_c и E_c . Расчетом находят модуль упругости и пределы прочности на изгиб при любой температуре. Кроме вышеуказанных характеристик, для монолитных материалов определяют угол внутреннего трения φ и силу внутреннего сцепления C .

Значения прочностных и деформационных характеристик, полученные в лаборатории, являются нормативными.

Для того, чтобы использовать данные характеристики в расчетах, они корректируются путем ввода ряда коэффициентов.

Скорректированные нормативные характеристики называются *расчетными*.

$$R_p = K_1 K_2 \cdot \dots \cdot K_n R_n, \quad (2.5)$$

где $K_1 - K_n$ – корректирующие коэффициенты;

R_n – нормативная характеристика.

Корректирующие коэффициенты учитывают неоднородность свойств материала (вариацию), повторность действия нагрузок (усталость), изменение свойств во времени (старение) и т. д. В зависимости от принятой методики расчета может вводиться несколько корректирующих коэффициентов либо не вводится вообще.

Может учитываться структурная неустойчивость материала, отклонение в технологии, влияние повторных воздействий нагрузок, изменение свойств материала во времени и т. д.

Число коэффициентов, методики их определения зависят от принятой схемы и критериев расчета дорожной одежды.

Отклонение от состава и структуры материала, технологии устройства слоев учитывают путем ввода коэффициента неоднородности:

$$K_H = (1 \pm tK_B), \quad (2.6)$$

где t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый по статистическим таблицам в зависимости от числа экспериментов и требуемой точности результата при определении нормативных значений;

K_B – коэффициент вариации:

$$K_B = \frac{\sigma}{\bar{R}}, \quad (2.7)$$

где σ – среднеквадратичное отклонение;

\bar{R} – среднеарифметическое значение.

σ и \bar{R} получают при оценке нормативных характеристик.

Влияние повторности действия транспортных нагрузок учитывают путем ввода коэффициента усталости. При многократном повторном воздействии транспортных нагрузок в структуре материала накапливается повреждаемость, образуются микротрещины, что снижает прочностные показатели и ресурс дорожной одежды.

Коэффициент усталости вычисляют как

$$K_y = A(N)^{-m}, \quad (2.8)$$

где A , m – структурные коэффициенты, учитывающие вид материала и его состав;

N – число нагружений.

Кроме неоднородности и усталости, может учитываться изменение свойств материала во времени (старение), действие погодноклиматических факторов и т. д., если учитывается старение материала, то вводится коэффициент K_S .

Таким образом, в результате ввода ряда коэффициентов, учитывающих структурные особенности материала, усталость, неоднородность, значение нормативных характеристик корректируется, принимаются меньшие показатели, что идет в запас прочности.

2.1.3. Выбор материалов для устройства конструктивных слоев

Основные понятия об эквивалентных слоях

Дорожная одежда – это конструкция, состоящая из слоев различных материалов с разными свойствами.

Такая ситуация существенно усложняет выполнение практических расчетов (особенно при ручном счете). Для упрощения используются понятия об эквивалентных системах или слоях.

Представим полупространство толщиной более 1 м (рис. 2.2, а).

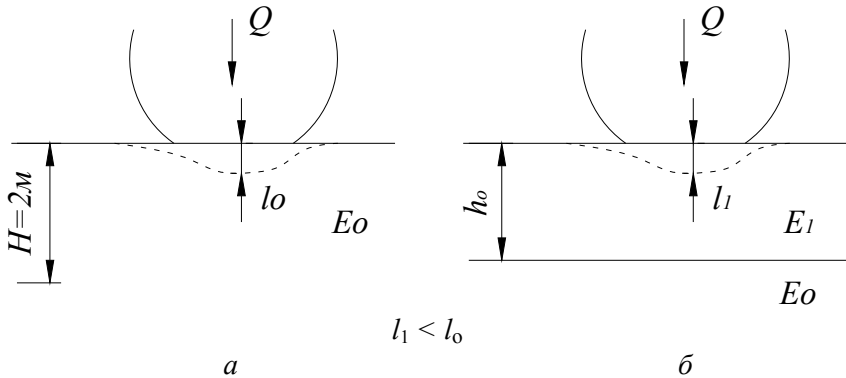


Рис. 2.2. Схемы однородного (а) и слоистого (б) полупространства

Для упругой среды значение прогиба l_0 :

$$l_0 = \frac{PD(1-\mu^2)}{E_0}, \quad (2.9)$$

где P – удельное давление от колеса на единицу площади;
 D – эквивалентный диаметр;
 μ – коэффициент Пуассона.

Если на полупространство будет уложен слой некоторого материала с модулем упругости E_1 , то упругий прогиб будет отличаться от l_0 (рис. 2.2, б).

Если слоистую систему заменить однородным полупространством, то можно подобрать значение его модуля E_3 , при котором прогиб будет равен l_1 .

$$E_3 = \frac{PD(1 - \mu_3^2)}{l_1}. \quad (2.10)$$

Таким образом, используя данный подход, можно заменить двухслойную систему на однослойную. Слой из однородного материала с модулем E_3 называется *эквивалентным слоем двухслойной системы*, а модуль E_3 – *эквивалентным модулем*.

Для практических расчетов разрабатываются формулы и номограммы, связывающие двухслойную систему и эквивалентные ей однослойные системы.

На практике применяют номограммы, учитывающие свойства и толщину слоев, а также параметры E_1 , h , E_3 , D , E_0 . Данная номограмма представлена на рис. 2.3.

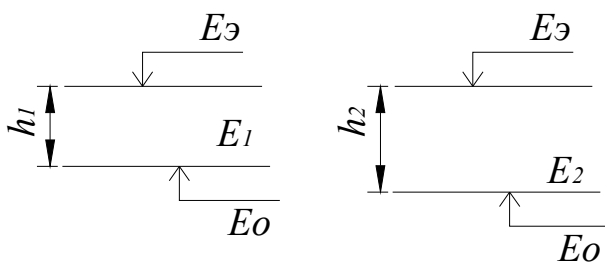


Рис. 2.3. Расчетная схема равнопрочных слоев.

Используя понятие об эквивалентных слоях, любую многослойную конструкцию можно привести к однослойной или двухслойной, что существенно упрощает практические расчеты.

Конструктивные слои дорожной одежды (покрытие, основание и др.) могут устраиваться из различных материалов. Обычно мате-

риалы назначают на стадии конструирования, но при их большом выборе, для упрощения расчетов, могут использоваться некоторые упрощенные методики. Одна из них основана на оценке стоимости равнопрочных слоев. Под *равнопрочными* понимают слои из разных материалов, разной толщины, уложенные на одинаковое полупространство и имеющие одинаковый эквивалентный модуль упругости (см. рис. 2.3).

Методика выбора материалов. Для каждого из имеющихся в наличии материалов определяют в лаборатории либо назначают по таблицам модули упругости E_1, E_2, E_3, E_{\min} (наименьший модуль упругости из рассматриваемого ряда материалов).

Произвольно задаются значением E_0 и E_3 . Рекомендуется:

$$E_0 = (0,15-0,30)E_{\min}; \quad (2.11)$$

$$E_3 = (0,30-0,30)E_{\min}. \quad (2.12)$$

Составляют расчетные схемы и, используя номограммы, находят толщины слоев h_1, h_2, h_3 . Вычисляют стоимость каждого слоя и окончательно принимают материал с меньшей стоимостью.

Предварительное назначение конструкции дорожной одежды

Для правильного проектирования дорожной одежды необходимо предварительно назначить конструкцию дорожной одежды и всю гамму возможных материалов для устройства конструктивных слоев. При назначении конструкции пользуются данными нормативных документов, типовых альбомов, имеющегося опыта.

В общем случае дорожная одежда включает три основных конструктивных слоя (рис. 2.4): первый – покрытие, которое может быть одно-, двух- или трехслойным; второй – основание, которое бывает одно- или двухслойным; третий – дополнительный слой основания, выполняющий функции дренирующего и морозозащитного слоя.

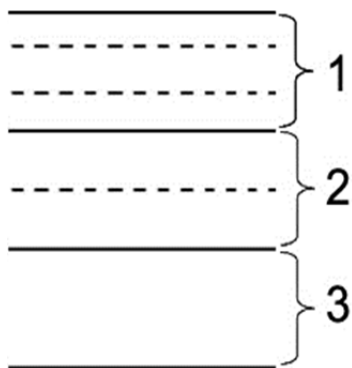


Рис. 2.4. Основные конструктивные слои дорожной одежды

В курсовом проекте предлагается принять следующие конструкции.

Конструкция дорожной одежды под нагрузку 11,5 т (рис. 2.5). Она включает двухслойное покрытие, двухслойное основание и дополнительный слой основания.

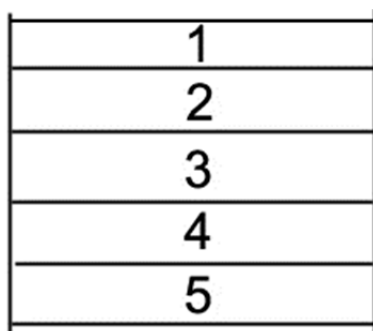


Рис. 2.5. конструкция дорожной одежды под нагрузку 11,5 т (А₂)

Верхний слой покрытия 1 назначают из щебнемастичного асфальтобетона либо горячего плотного асфальтобетона типов А и Б марки 1 или 2 по СТБ 1033.

Битум назначают в соответствии с табл. 1.6. При этом при подборе состава необходимо обеспечить уровень надежности в соответствии с рис. 1.8.

Нижний слой покрытия 2 устраивают из горячего крупно- или мелкозернистого плотного асфальтобетона типа А или Б на битумах, выбранных в разделе 1. Допускается использовать крупнозернистый пористый асфальтобетон по СТБ 1033.

Верхний слой основания 3 устраивают из укрепленных вяжущих (битума, цемента, битумной эмульсии, композиционных вяжущих).

В курсовом проекте в качестве укрепленного основания рекомендуется принять обработанные битумом или цементом минеральные материалы, приведенные в задании. Например, обработанный битумом щебень, ПГС и др.

Нижний слой основания устраивают из щебеночных и гравийных смесей оптимального состава, щебня по методу заклинки асфальтогранулятом, цементно-песчаной смесью и т. д.

Дополнительный слой основания 5 устраивают из песков с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сутки. В курсовом проекте используют пески, представленные в задании.

Конструкция дорожной одежды под нагрузку 10 т (A_1) при интенсивности движения расчетных автомобилей менее 500 в сутки приведена на рис. 2.6.

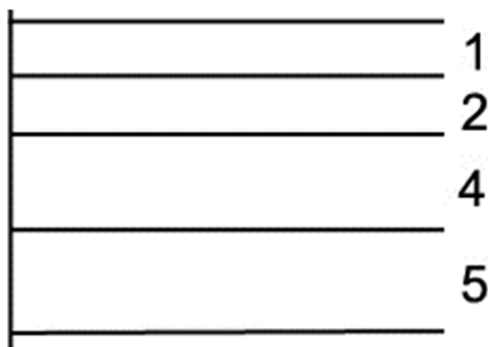


Рис. 2.6. Конструкция дорожной одежды под нагрузку A_1

Данная конструкция включает двухслойное покрытие. Верхний слой 1 назначают из щебнемастичного асфальтобетона либо горячего плотного асфальтобетона типа А и Б марки 1 или 2 по СТБ 1033.

Битум назначают в соответствии с разделом 1. При этом при подборе состава необходимо обеспечить уровень надежности в соответствии с рис. 1.8.

Нижний слой покрытия 2 устраивают из горячего, крупно- или мелкозернистого пористого асфальтобетона типа А или Б на битумах, выбранных в табл. 1.6. Допускается использовать крупнозернистый плотный асфальтобетон по СТБ 1033.

Основание 4 является однослойным. Его устраивают из материалов, предлагаемых для слоя 4 конструкции, представленной на рис. 2.3.

Дополнительный слой основания 5 устраивают из песков с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сутки. В курсовом проекте используют пески, представленные в задании.

Если интенсивность движения автомобилей A_1 более 500 в сутки, принимают конструкцию 1 (рис. 2.7).

Под нагрузку 13 т (A_3) предлагается конструкция, представленная на рис. 2.7.

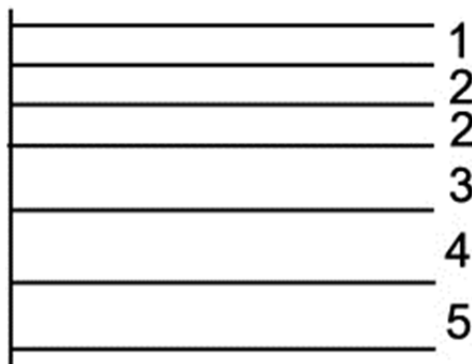


Рис. 2.7. Конструкция дорожной одежды под нагрузку A_3

Данная конструкция отличается от конструкции 1 появлением третьего слоя покрытия 2¹. Его устраивают из горячего пористого либо высокопористого асфальтобетона по СТБ 1033.

Минимальная толщина конструктивных слоев дорожных одежд определяется технологическими возможностями дорожно-строительных машин и особенностями технологии.

Толщина верхнего слоя покрытия из плотного асфальтобетона должна быть не менее, чем в 1,5 раза больше максимального размера зерна при содержании щебня в составе асфальтобетона до 50 % и в 2,5 раза больше максимального размера зерна при содержании щебня в составе асфальтобетона 50 % и более.

Для других конструктивных слоев дорожной одежды толщина слоя должна превышать размер наибольших частиц каменных материалов более, чем в 1,5 раза (за исключением слоев из материалов, которые применяются по способу пропитки). Верхний слой покрытия толщиной 0,03 м и менее в расчет прочности конструкции дорожной одежды не включают.

Максимальные значения толщин конструктивных слоев дорожной одежды ограничиваются возможностью уплотнения имеющихся катками.

2.2. Реализация положений второго раздела в курсовом проекте

В курсовом проекте процесс конструирования дорожной одежды включает:

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

2.2.1. Предварительное назначение конструкции дорожной одежды

Для проектирования дорожной одежды предварительно назначают ее конструкцию и всю гамму возможных материалов для устройства конструктивных слоев.

Основные конструктивные слои дорожной одежды.

В курсовом проекте принимаем конструкцию дорожной одежды под нагрузку 11,5 т (A_2), которая включает:

- двухслойное покрытие (слой 1–2);
- двухслойное основание (слой 3–4);
- дополнительный слой основания (слой 5).

Верхний слой покрытия 1 назначаем из горячего плотного асфальтобетона типа Б марки II (по СТБ 1033).

Нижний слой покрытия 2 назначаем из горячего крупнозернистого пористого асфальтобетона по СТБ 1033 на битуме БНД 90/130 (по СТБ 1033).

Верхний слой основания 3 устраиваем из песчано-гравийной смеси, укрепленной вяжущим (битум, цемент).

Нижний слой основания 4 примем из неукрепленных материалов (из песчано-гравийной смеси – ПГС).

Дополнительный слой основания 5 устраиваем из крупнозернистых песков с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сутки.

Из СТБ 1033: для приготовления горячих смесей следует применять вязкие нефтяные дорожные битумы марок БНД (БН) 60/90, БНД (БН) 90/130 по ГОСТ 22245; БД 60/90, БД 90/130 по СТБ 1062; модифицированные битумы марок БМА 70/100, БМА 100/130 по СТБ 1220.

Таблица 2.2

Классификация смесей (по СТБ 1033)

Тип смеси		Количество щебня (гравия), % по массе	Вид песка	Марка смеси	
Горячая и теплая	Холодная			Горячая и теплая	Холодная
Плотные асфальтобетоны					
Щебеночно-мастичная (С)	–	Щебень свыше 65 до 80 включительно	Дробленый или из отсева дробления, природный	I	–
A	–	Щебень свыше 50 до 65 включительно		I, II	–
B	B _x	Щебень или гравий свыше 35 до 50 включительно		I, II, III	I, II
B	B _x	Щебень или гравий свыше 20 до 35 включительно		II, III	II
Г	Г _x	–	Природный – до 30 %, дробленый или из отсева дробления	I, II, III	I
Д	Д _x	–	Дробленый или из отсева дробления – до 30 %, природный	II, III	II
Пористые асфальтобетоны					
Крупно- и мелко-зернистая	–	Щебень или гравий свыше 35 до 73 включительно	Дробленый или из отсева дробления; природный	I, II	–

2.2.2. Назначение расчетных характеристик материалов конструктивных слоев

Расчетные значения модуля упругости E , угла внутреннего трения φ , удельного сцепления C пылевато-глинистых грунтов и пылеватых песков принимаем по табл. П6.1 прил. 6 с учетом данных табл. П6.2 и П6.3 прил. 6.

При назначении характеристик песков достаточно табл. П6.1 прил. 6.

Расчетные характеристики грунтов определяем по следующей методике.

В зависимости от климатического района, назначаемого по карте изолиний (прил. 5), табл. П6.1 и П6.2 прил. 6, условий увлажнения (табл. П6.3 прил. 6) находим относительную нормативную влажность грунта.

Определяем расчетную влажность грунтов.

По табл. П6.1 прил. 6 в зависимости от вида грунта, зернового состава и числа пластичности определяем расчетную влажность грунта.

Расчетные схемы увлажнения верхней части земляного полотна приведены в табл. П6.3 прил. 6.

Расчет. Принимаем грунт земляного полотна в виде глины. Для Минского района по прил. 5 назначаем второй климатический район.

В качестве основного источника увлажнения назначаем атмосферные осадки, что соответствует схеме увлажнения № 1 (см. табл. П6.3 прил. 6).

По таблице относительной нормативной влажности грунта (см. табл. П6.2 прил. 6), уровня надежности 0,85, второго климатического района, первой схемы увлажнения относительная нормативная влажность для глины составляет 0,65.

Расчетную влажность грунта W_p определяем по формуле

$$W_p = W_{\text{таб}}(1 + 0,1t), \quad (2.13)$$

где $W_{\text{таб}} = 0,65$ – среднее многолетнее значение относительной (доли от границы текучести) влажности грунта в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна в зависимости от дорожно-климатической зоны, схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта;

$t = 1,06$ – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности по табл. 2.3.

Таблица 2.3

Коэффициент нормированного отклонения

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

$$W_p = 0,65 \cdot (1 + 0,1 \cdot 1,06) = 0,72.$$

По таблице расчетных значений характеристик грунтов (см. табл. П6.1 прил. 6) методом интерполяции определим расчетные характеристики для глины легкой непылеватой:

- модуль упругости – 21,2 МПа;
- угол внутреннего трения – $10,4^\circ$;
- силу внутреннего сцепления – 0,02 МПа.

В качестве дополнительного слоя основания, согласно заданию, применяем песок крупнозернистый и песок мелкозернистый.

По табл. П6.1 прил. 6 определим характеристики для песка: мелкозернистого:

- модуль упругости – 100 МПа;
- угол внутреннего трения – 31° ;
- силу внутреннего сцепления – 0,003 МПа;

крупнозернистого:

- модуль упругости – 130 МПа;
- угол внутреннего трения – 35° ;
- силу внутреннего сцепления – 0,004 МПа.

2.2.3. Назначение расчетных прочностных и деформационных характеристик материалов конструктивных слоев

Для асфальтобетона и нагрузки A_2 расчет асфальтобетона на сдвиг не производится. Поэтому достаточно назначить характеристики для расчета на упругий прогиб и сплошность монолитных слоев.

Для устройства верхнего слоя покрытия I используем горячий плотный асфальтобетон типа Б марки II по СТБ 1033 на битуме

БНД 90/130. Для устройства нижнего слоя покрытия 2 используем горячий крупнозернистый пористый асфальтобетон по СТБ 1033 на битуме БНД 90/130. Верхний слой основания 3 устраиваем из песчано-гравийной смеси, укрепленной вяжущими (битумом или цементом). Нижний слой основания 4 примем из неукрепленных материалов (ПГС). Дополнительный слой основания устраиваем из крупнозернистых песков с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сутки.

Значения расчетных характеристик определим, используя данные табл. П7.1–П7.6 прил. 7.

Характеристики материалов для устройства дополнительных слоев (песок мелкий и крупный) были получены выше. Все данные сводим в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Значения расчетных характеристик

Материал	Модуль упругости при температуре, МПа			Прочность на изгиб при 0 °С, МПа	Угол внутр. трения φ , °	Внутр. сцепление C , МПа	Коэффициенты m и a
	0 °С	10/20 °С	50 °С				
Горячий, плотный, м/з а/б типа Б марки 2 на битуме БНД 90/130	3600	2400 1200	420	9,5			5,0; 4,8
Горячий, пористый, к/з а/б на битуме БНД 90/130	2200	1400 800	350	7,8			4; 8,6
Песчано-гравийная смесь		180			41	0,02	
ПГС, укр. цементом		600		0,4			
ПГС, укр. битумом		350		0,2			
Песок крупный		130			35	0,004	
Песок мелкий		100			31	0,003	
Грунт земляного полотна (глина)		21,2			10,4	0,02	

2.2.4. Выбор материалов для конструктивных слоев дорожной одежды

Материалы для конструктивных слоев дорожной одежды, кроме слоев покрытия и дренирующего слоя, выбираются по методу минимальной строительной стоимости равнопрочных слоев. Этим методом для каждого слоя дорожной одежды из всех имеющихся в районе строительных материалов (местных и привозных), которые могут быть применены в данном конструктивном слое, определяется материал, обеспечивающий минимальную стоимость единицы прочности данного слоя. При практически одинаковой или близкой стоимости вариантов при выборе следует учитывать и другие факторы: технологичность, максимальное использование местных материалов и др.

При выборе материалов для нижнего слоя основания из имеющихся местных материалов, пригодных для устройства этого слоя, составляются двухслойные системы с одинаковым общим модулем упругости $E_{\text{общ}}$ (не выше наименьшего модуля упругости рассматриваемых материалов) и одинаковым модулем упругости полупространства, равным модулю упругости грунта земполотна $E_{\text{гр}}$, то есть равнопрочные системы.

Выбираем материал для устройства верхнего слоя основания из ПГС, укрепленной битумом, и ПГС, укрепленной цементом.

При выборе материалов для слоя основания из имеющихся местных материалов, пригодных для устройства этого слоя, составляем двухслойные системы с одинаковым эквивалентным общим модулем упругости E_3 (не выше наименьшего модуля упругости рассматриваемых материалов) и одинаковым модулем упругости полупространства, равным модулю упругости грунта земполотна E_0 , то есть равнопрочные системы (рис. 2.8).

Назначаем E_0 , принимая что $E_0 = (0,1-0,5)E_{\text{min}}$, $E_{\text{min}} = 350$ МПа. Принимаем $E_0 = 36$ МПа.

Принимаем значение E_3 в два раза больше E_0 : $E_3 = 2E_0 = 2 \cdot 36 = 72$ МПа.

Вычислим соотношения характеристик для слоя основания из ПГС, укрепленной битумом (рис. 2.8, а):

$$E_0 / E_1 = 36/350 = 0,1; \quad E_3 / E_1 = 72/350 = 0,21.$$

Вычислим соотношения характеристик для слоя основания из ПГС, укрепленной цементом (рис. 2.8, б):

$$E_0 / E_2 = 36/600 = 0,06; \quad E_3 / E_2 = 72/600 = 0,12.$$

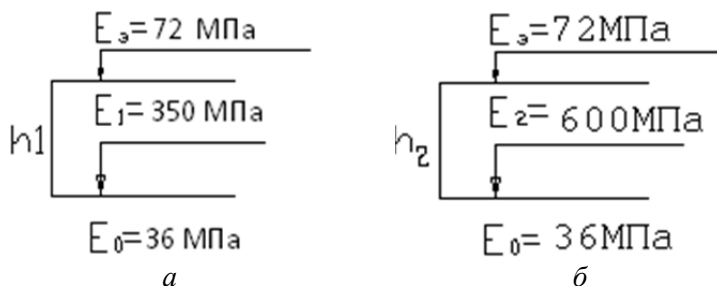


Рис. 2.8. Варианты равнопрочных систем:
а – ПГС + битум; б – ПГС + цемент

Определим соотношения h / D , используя номограмму для определения общего модуля упругости $E_{\text{экр}}$ двухслойной системы, и толщины слоев (рис. 2.9):

$$h_1 / D = 0,48 \quad h_1 = 0,48 \cdot 39 = 18,7 \text{ см};$$

$$h_2 = 0,4 \cdot 39 = 15,6 \text{ см}; \quad h_2 / D = 0,4$$

Определим стоимость слоев основания из заданных материалов с учетом найденных толщин, обеспечивающих их одинаковую прочность.

Стоимость по заданию

Общая стоимость слоя

ПГС + битум – 2500 руб.;

$$C_1 = 2500 \cdot 18,7 = 46\,750 \text{ руб/м}^3;$$

ПГС + цемент – 2100 руб.

$$C_2 = 2100 \cdot 15,6 = 32\,760 \text{ руб/м}^3$$

Из рассмотренных вариантов для дальнейшего проектирования основания принимаем ПГС, укрепленную цементом, имеющую минимальную стоимость.

Для устройства нижнего слоя по заданию можно принять только ПГС. Поэтому сравнение материалов не выполняем.

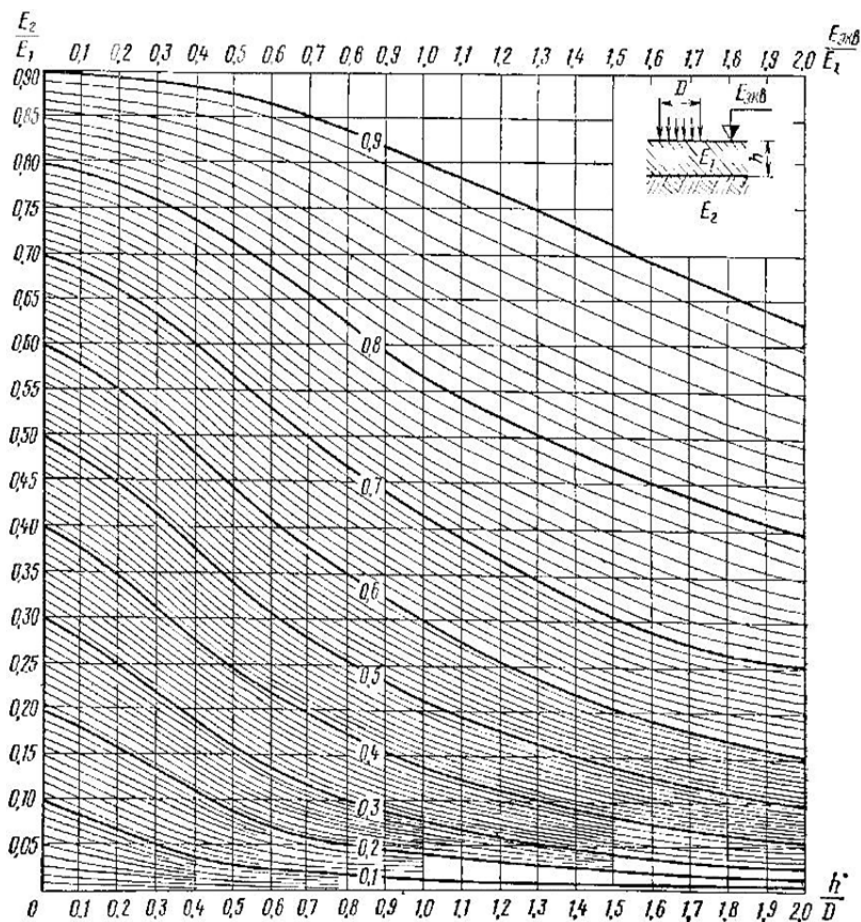


Рис. 2.9. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{экв}$ двухслойной системы

Цифры на кривых означают отношение $E_{экв} / E_1$.

2.2.5. Установление пределов изменения толщин слоев дорожной одежды

Минимальная толщина конструктивных слоев дорожных одежд определяется технологическими возможностями дорожно-строительных машин и особенностями технологии (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Минимальная толщина конструктивных слоев дорожной одежды

Вид материала	Минимальная толщина слоя, м
Щебеночно-гравийные материалы, обработанные органическим вяжущим	0,08
Щебень, устроенный по способу пропитки	0,10
Укрепленные грунты и малопрочные материалы, асфальтогранулят	0,12
Неукрепленные материалы, устроенные на прочном основании (на каменистом или укрепленном грунте)	0,15
Неукрепленные материалы, устроенные на песчаном основании	0,17
Неукрепленный песчаный грунт	0,50

Толщина верхнего слоя покрытия из плотного асфальтобетона должна быть не менее чем в 1,5 раза больше максимального размера зерна при содержании щебня в составе асфальтобетона до 50 % и в 2,5 раза больше максимального размера зерна при содержании щебня в составе асфальтобетона 50 % и более.

Для других конструктивных слоев дорожной одежды толщина слоя должна превышать размер наибольших частиц каменных материалов более чем в 1,5 раза (за исключением слоев из материалов, которые применяются по способу пропитки).

Максимальные значения толщин конструктивных слоев дорожной одежды ограничиваются возможностью уплотнения имеющихся катками и приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Максимальные толщины слоев

Наименование материала слоя	Максимальная толщина $h_{\text{упл}}$, см, при уплотнении катками		
	моторными 8–13 т	на пневмо- шинах 16–18 т	на пневмо- шинах 30–35 т
Гравий, песок, шлак	$\frac{30-35}{20-30}$	$\frac{30-35}{20-30}$	$\frac{40-60}{40-60}$
Щебень по принципу заклинки	16–20	16–20	25–30
Щебень рядовой; грунт, закрепленный цементом, золы	18	16–20	20–22
Гравийные материалы, укреп- ленные цементом, золой	18	16–20	20–22
Грунты, укрепленные органичес- кими вяжущими	15	18	20

Примечание. В числителе даны значения $h_{\text{упл}}$ для плотности $0,95\delta_{\text{max}}$, в знаменателе – до $(0,8-0,95)\delta_{\text{max}}$.

При необходимости применения больших толщин основания устраи-
вают в два слоя (два приема). На основании выполненных рас-
четов с учетом минимальных толщин окончательно принимаем кон-
струкцию дорожной одежды (рис. 2.10) и ее характеристики.

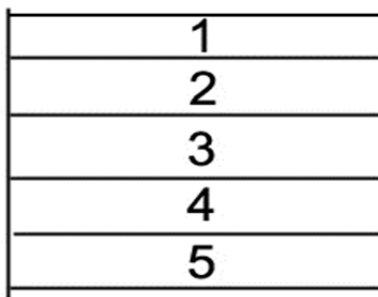


Рис. 2.10. Принятая конструкция дорожной одежды

1. Горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б марки II на битуме 90/130. Минимальная толщина – 4 см (максимальный размер частиц в мелкозернистых смесях – не более 20 мм).

2. Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон на битуме 90/130. Минимальная толщина – 6 см (максимальный размер частиц в крупнозернистых смесях не более 40 мм).

3. ПГС, укрепленная цементом. Минимальная толщина – 12 см.

4. ПГС. Минимальная толщина – 17 см.

5. Песок. Минимальная толщина – 50 см.

В курсовом проекте по указанию руководителя минимальная толщина песка может быть принята 25 см.

3. ОСУШЕНИЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

3.1. Основы теории

Целью расчета осушающей конструкции является определение требуемой толщины дренирующего слоя в зависимости от объема воды, поступающей весной в расчетный период в основание проезжей части. Он складывается из объемов воды, освобождающейся при оттаивании увлажненного грунта под проезжей частью и проникающей в основание с поверхности дороги.

Для расчета толщины дренирующего слоя объем воды q , поступающей в основание за сутки на 1 м^2 проезжей части, принимают по таблицам ТНПА.

Полную толщину дренирующего слоя дорожной одежды h_n , м, определяют по формуле

$$h_n = h_m b K_c + h_{\text{зап}}, \quad (3.1)$$

где h_m – толщина слоя, определяемая по номограмме (рис. 3.1) в зависимости от коэффициента фильтрации материала дренирующего слоя K_f и объема воды, поступающей в основание проезжей части за сутки q , м (табл. 3.1);

b – коэффициент, зависящий от длины пути фильтрации воды, в зависимости от категории дороги равный: I – 0,8, II – 0,5, III – 0,4; IV и V – 0,33;

K_c – коэффициент, учитывающий снижение фильтрационных свойств материала фильтрующего слоя в процессе эксплуатации дорог;

$h_{\text{зап}}$ – дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала (вида песка).

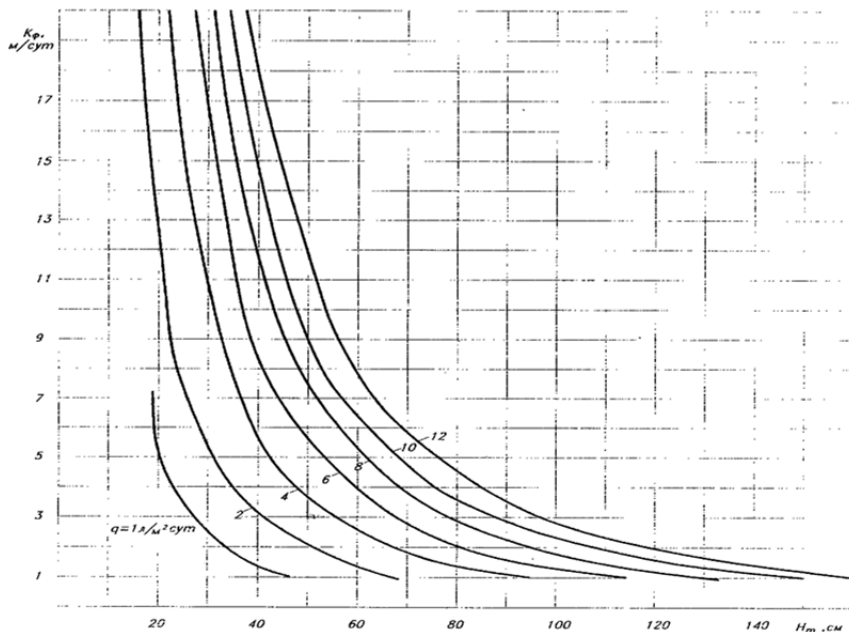


Рис. 3.1. Номограмма для определения толщины h_m в зависимости от коэффициента фильтрации материала дренажного слоя K_f и объема воды, поступающей в основание q

3.2. Реализация третьего раздела в курсовом проекте

3.2.1. Расчет дренажного слоя дорожных одежд загородных дорог

Целью расчета дренажной конструкции является определение требуемой толщины дренажного слоя в зависимости от объема воды, поступающей весной в расчетный период в основание проезжей части.

Для расчета толщины дренирующего слоя объем воды q , поступающей в основание за сутки на 1 м^2 проезжей части, принимают по табл. 3.1.

Таблица 3.1

Расчетные значения объемов воды, поступающей в дорожное основание

Дорожно-климатический район	Объем воды, поступающей в основание q , л/ $\text{м}^2 \cdot \text{сут}$.			
	Супесь легкая непылеватая, песок пылеватый	Суглинок непылеватый, глины	Суглинок пылеватый	Супесь пылеватая
1	5,0	6,0	8,0	9,0
2	4,6	5,6	7,5	8,5
3	4,2	5,2	7,0	8,0

Примечание.

1. При наличии в дорожной одежде основания из монолитных материалов объем воды q уменьшают на 10 %.

2. При обеспечении водонепроницаемости обочин значение q уменьшают на 20 %.

3. На участках перелома продольного профиля при встречных уклонах значение q увеличивают на 20 %.

Полная толщина дренирующего слоя дорожной одежды $h_{\text{п}}$, м, определяется по формуле (3.1):

$$h_{\text{п}} = h_{\text{м}} b K_{\text{с}} + h_{\text{зап}},$$

$K_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий снижение фильтрационных свойств материала фильтрующего слоя в процессе эксплуатации дорог, для сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов равен 1,1; в остальных случаях – 1,0;

$h_{\text{зап}}$ – дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала: $h_{\text{п}} = h_{\text{м}} b K_{\text{с}} + h_{\text{зап}}$. Для крупных песков $h_{\text{зап}} = 0,10-0,12$; для песков средней крупности $h_{\text{зап}} = 0,14-0,15$; для песков мелких $h_{\text{зап}} = 0,18-0,20$.

Во всех случаях полную толщину дренирующего слоя дорожной одежды следует принимать не менее 0,25 м.

Расчет. Полную толщину дренирующего слоя дорожной одежды $h_{\text{п}}$, м, определяем по формуле

$$h_{\text{п}} = h_m b K_c + h_{\text{зап}}.$$

По номограмме (см. рис. 3.1) определяем толщину слоя h_m в зависимости от коэффициента фильтрации материала дренирующего слоя $K_{\text{ф}}$ и объема воды, поступающей в основание q :

– для крупнозернистого песка при $q = 5,6 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$ и $K_{\text{ф}} = 11 \text{ м/сут}$ $h_m = 0,37 \text{ м}$;

– для мелкозернистого песка при $q = 5,6 \text{ л/м}^2 \cdot \text{сут}$ и $K_{\text{ф}} = 3,5 \text{ м/сут}$ $h_m = 0,65 \text{ м}$;

$b = 0,33$ для дороги IV категории;

$K_c = 1,0$;

$h_{\text{зап}}$ – дополнительная толщина слоя, зависящая от капиллярных свойств материала:

– для крупных песков – 0,10–0,12;

– для мелких песков – 0,18–0,20.

Определим толщину дренирующего слоя из крупнозернистого песка:

$$H_{\text{д}} = 0,37 \cdot 0,33 \cdot 1,0 + 0,11 = 0,23 \text{ м} < 25 \text{ см}, \text{ принимаем } 25 \text{ см}.$$

Определим толщину дренирующего слоя из мелкозернистого песка:

$$H_{\text{д}} = 0,65 \cdot 0,33 \cdot 1,0 + 0,19 = 0,40 \text{ м} > 25 \text{ см}, \text{ принимаем } 40 \text{ см}.$$

Рассчитаем стоимость обоих слоев.

Стоимость по заданию

Общая стоимость слоя

Песок к/з – 1000 руб.;

$$C_1 = 1000 \cdot 25 = 25\,000 \text{ руб./м}^3;$$

Песок м/з – 800 руб.

$$C_2 = 800 \cdot 40 = 32\,000 \text{ руб./м}^3.$$

Учитывая более низкую стоимость слоя из крупнозернистого песка, принимаем его в качестве дренирующего слоя.

4. РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ

4.1. Основы теории

4.1.1. Общие положения

Дорожные одежды рассчитывают на прочность с заданным уровнем надежности.

Под *прочностью* понимают способность материалов или конструкций сопротивляться разрушению, а также необратимым изменениям формы под действием внешних нагрузок.

Применительно к дорожной одежде данный термин можно трактовать как отсутствие силовых трещин, проломов, просадок, приводящих к разрушению дорожной одежды; а также как появление деформаций, снижающих скорость и безопасность движения на дороге.

Целью расчета дорожных одежд является назначение толщины конструктивных слоев и при необходимости характеристик и свойств материалов слоев, обеспечивающих их надежную работу в течение расчетного срока службы, то есть окончательная конструкция дорожных одежд должна обеспечить проектный уровень надежности и в итоге суммарный объем недопустимых деформаций и разрушений на конец срока службы не более допустимого.

Дорожная одежда – сложная слоистая система, испытывающая совместные действия транспортных нагрузок и погоднo-климатических факторов, поэтому разработать простой и единственный критерий прочности по всем видам деформаций и разрушений до настоящего времени не удалось.

На практике пользуются несколькими критериями прочности. Одни из этих критериев интегральные, то есть учитывают устойчивость к нескольким видам деформаций и разрушений, другие – индивидуальные и относятся к одному виду деформаций.

В целом большое количество критериев прочности усложняет расчет дорожных одежд и приводит к ошибкам при оценке ее надежности. Итоговый уровень надежности равен произведению частных уровней.

Интегральные критерии охватывают несколько критериев прочности. К ним можно отнести критерий прочности по упругому про-

гибу. К критериям, оценивающим устойчивость по одному фактору, можно отнести критерий сдвигоустойчивости грунта земляного полотна и несвязных слоев основания; критерий сдвигоустойчивости слоев покрытия; критерий устойчивости усталостным деформациям от действия транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов. Во всех случаях по каждому из них ведут расчет на некоторый узкий температурно-временной интервал. Предыстория работы конструкции, возможные отклонения состава и интенсивности движения учитываются путем ввода коэффициентов условий работы и коэффициентом запаса прочности (уровня надежности).

Дорожную одежду проектируют с учетом следующих граничных условий:

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

- силы инерции в расчетах не учитывают (квазистатическая задача);

- предельное состояние дорожной одежды характеризуется показателями, зависящими от особенностей материалов каждого слоя дорожной одежды и грунта земляного полотна, а также от их размещения и условий работы в конструкции.

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

В соответствии с принципами расчета дорожных одежд по предельным состояниям их можно рассчитать по следующим критериям:

Дорожные одежды капитального типа для групп нагрузок A_1 и A_2 :

- сопротивление упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивление сдвигу в грунтах и в малосвязанных материалах;
- сдвигоустойчивость несвязных слоев дорожной одежды;
- сопротивление слоев из монолитных материалов усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Дорожные одежды капитального типа для группы нагрузок A_3 :

- сопротивление упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивление сдвигу в грунтах и в малосвязанных материалах;

- сопротивление слоев из монолитных материалов усталостному разрушению от растяжения при изгибе;
- сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев дорожной одежды (дополнительный расчет);
- устойчивость материалов монолитных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов (дополнительный расчет).

По двум дополнительным критериям для групп нагрузок A_2 и A_3 дополнительно рассчитывают участки дорог с продольными уклонами более 35 %, а также площадки перед пунктами взимания дорожных сборов и весогабаритного контроля.

Дорожные одежды облегченного типа:

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

Дорожные одежды переходного типа:

- сопротивление упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивление сдвигу в грунтах и малосвязанных материалах.

Последовательность расчета дорожных одежд по критериям предельного состояния должна быть следующей.

1. Расчет дорожной одежды по допустимому упругому прогибу на основании зависимости требуемого модуля упругости конструкции от расчетной интенсивности движения. В результате этого расчета назначают толщины конструктивных слоев дорожной одежды и их модули упругости так, чтобы общий модуль упругости дорожной одежды был не менее требуемого с учетом соответствующего коэффициента прочности.

2. Расчет полученной конструкции дорожной одежды по двум независимым критериям прочности: сопротивлению сдвигу в грунте и слоях малосвязанных материалов и прочности слоев из монолитных материалов при изгибе. Для дорожных одежд капитального типа в зависимости от заданной осевой грузоподъемности автомобилей проводят дополнительные расчеты.

Конструкцию дорожной одежды считают прочной, если коэффициент прочности по каждому из критериев больше или равен $K_{пр}^{TP}$, определенному с учетом заданного коэффициента надежности проек-

тируемой конструкции (см. прил. 3 табл. ПЗ.1–ПЗ.4 в течение заданного межремонтного срока службы дорожной одежды (см. табл. 1.5)).

Конструкции выбирают на основе экономического сравнения нескольких вариантов дорожных одежд, которые отвечают условиям прочности. При этом допустимо, чтобы коэффициент прочности по какому-либо из критериев значительно превосходил $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$.

4.1.2. Расчет дорожной одежды по критерию упругого прогиба

Критерий прочности по упругому прогибу является интегральным, то есть учитывает устойчивость дорожных одежд к нескольким видам деформаций и разрушений, в частности – к силовым деформациям и разрушениям, пластическим и усталостным деформациям. Однако данный учет является косвенным, поскольку критерий упругого прогиба получен имперически, то есть на основе наблюдений и обработки экспериментальных данных. Базой для разработки данного критерия послужили эксперименты AASHO (Американской ассоциации дорожных специалистов), выполненные в 1966 году.

Критерий был принят в следующем виде:

$$I_{\text{ф}} \leq [I],$$

где $I_{\text{ф}}$ – фактический прогиб покрытия дорожной одежды под колесом расчетного автомобиля в расчетный период эксплуатации при расчетной влажности и расчетной температуре;

$[I]$ – допустимое или требуемое значение, зависящее от вида расчетной нагрузки, интенсивности движения, расчетной нагрузки, срока службы дорожной одежды, степени ее капитальности.

Поскольку величина прогиба однозначно связана с эквивалентным модулем упругости конструкции, то для удобства расчетов критерий представляют в следующем виде:

$$E_{\text{ф}} \geq E_{\text{тр}},$$

$E_{\text{ф}}$ – фактический эквивалентный модуль упругости дорожной одежды при расчетных условиях;

$E_{\text{тр}}$ – требуемый модуль, который зависит от тех же факторов, что и $[I]$.

Для учета факторов, не соответствующих условиям работы (расчетному периоду, влажности грунтов, характеру нагрузки и т. д.), обязательно вводится уровень надежности, который реализуется через коэффициент запаса прочности.

Тогда окончательно условие прочности по упругому прогибу можно представить в следующем виде:

$$K_3 = \frac{E_{\text{ф}}}{E_{\text{тр}}} \geq K_3^{\text{тр}}, \quad (4.1)$$

K_3 – коэффициент запаса прочности;

$K_3^{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент запаса, зависящий от уровня надежности.

$E_{\text{ф}}$ на стадии проекта определяют расчетом, используя теорию эквивалентных слоев, если известна конструкция и ее толщины, то расчетом снизу вверх послойно находим эквивалентные модули на поверхности первого слоя (E'_3, E''_3 и т. д.). Эквивалентный модуль на поверхности покрытия будет соответствовать фактическому модулю $E_{\text{ф}}$.

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

$$E_{\text{общ}} > E_{\text{мин}} K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \quad (4.2)$$

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

$E_{\text{мин}}$ – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;

$K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый в зависимости от требуемого коэффициента надежности.

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции дорожной одежды при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$ (авт.) E_{\min} (МПа) вычисляют по следующей формуле:

$$E_{\min} = 98,65 [\lg(\Sigma N_h) - c], \quad (4.3)$$

где ΣN_p – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды, устанавливаемое в соответствии с формулой (1.29);

c – коэффициент, зависящий от вида расчетной нагрузки.

Значения расчетных модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают при температуре +10 °С.

Расчет по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю упругости) ведут в следующей последовательности:

– по таблицам определяют минимальное значение коэффициента прочности $K_{\text{пр}}$;

– по расчетной приведенной накопленной интенсивности воздействия нагрузки на одну полосу с учетом капитальности одежды по формуле (4.3) назначают требуемый минимальный модуль упругости $E_{\text{тр}}$ конструкции;

– вычисляют произведение $K_{\text{пр}} E_{\text{тр}} = E_{\text{общ}}$;

– предварительно назначают толщину верхних слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее;

– модуль упругости грунта активной зоны земляного полотна и материалов слоев назначают по табл. Пб.1 прил. 6;

– по номограмме (см. рис. 2.9), выполняя расчет сверху вниз, находят модуль упругости на поверхности основания;

– если основание однослойное, то по модулям упругости на поверхности основания, материала основания и грунта земляного полотна по той же номограмме определяют толщину основания;

– если по конструктивным или технологическим соображениям, а также по условиям осушения или обеспечения необходимой морозостойчивости и т. п., предусмотрено основание из нескольких слоев, то предварительно назначают толщины дополнительных слоев, а затем послойно снизу вверх по номограмме (см. рис. 2.9) находят модуль упругости на поверхности дополнительного слоя (морозозащитного, теплоизоляционного, дренирующего или другого допол-

нительного), после чего аналогично определяют толщину остальной части основания;

– допустимо вести расчет дорожной одежды снизу вверх с последовательным определением модулей упругости на поверхности конструктивных слоев.

Оптимизация конструкции дорожной одежды. Задачей расчета по упругому прогибу является подбор толщины дорожной одежды таким образом, чтобы обеспечить условие (4.1) при минимальной стоимости конструкции.

Могут использоваться различные подходы оптимизации. Наиболее простым является способ, приведенный ниже. Однако следует иметь в виду, что оптимизация только по одному критерию не является точной. Поэтому в настоящее время оптимизацию толщины слоев производят по всем критериям прочности.

В курсовом проекте достаточно рассмотреть оптимизацию только по одному критерию. Выполняют ее по следующей методике.

1. Материалы, выбранные для устройства конструктивных слоев, размещаются в конструктивных слоях дорожной одежды (рис. 4.1).

На рис. 4.1 в общем виде представлена конструкция дорожной одежды, состоящая из двухслойного покрытия ($h_1 + h_2$), верхнего основания h_3 , нижнего слоя основания h_4 и дренирующего слоя h_5 . Модули упругости материалов слоев дорожной одежды соответственно E_1, E_2, E_3, E_4 и E_5 , грунта рабочего слоя $E_{гр}$. Требуемый общий модуль упругости $E_{общ}$ всей дорожной конструкции (дорожная одежда и рабочий слой) вычислен по формуле (4.2).

2. Назначается общая толщина слоев покрытия. Обычно на первой стадии ее принимают минимальной.

3. Определяется требуемый общий модуль упругости на поверхности основания $E''_{общ}$ (см. рис. 4.1) при помощи номограммы, представленной на рис. 2.9. Для этого рассматривается двухслойная система: верхний слой покрытия толщиной h_1 с модулем упругости E_1 расположен на полупространстве с модулем упругости $E'_{общ}$ (рис. 4.2, а).

Вычисляются соотношения:

$$E_{общ} / E_1 = f; \quad h_1 / D = n_1,$$

где D – диаметр отпечатка колеса расчетного автомобиля на покрытии.

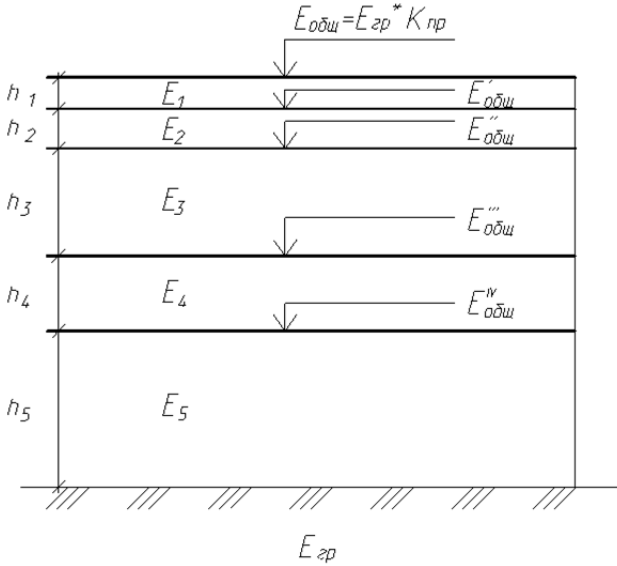


Рис. 4.1. Схема конструкции дорожной одежды.

Пользуясь номограммой (см. рис. 2.9) по схеме, представленной на рис. 4.2, в, определяют величину $m_1 = E'_{\text{общ}}/E_1$ и вычисляют требуемый общий модуль упругости на поверхности слоя h_2 (см. рис. 4.1) $E'_{\text{общ}} = m_1 E_1$.

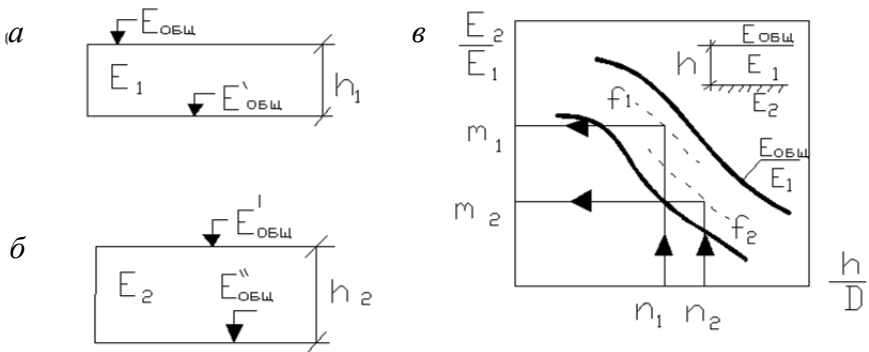


Рис. 4.2. Схема к определению общего модуля упругости $E''_{\text{общ}}$ поверхности основания

Далее рассматривается двухслойная система, представленная на рис. 4.2, б, и вычисляются соотношения:

$$E'_{\text{общ}}/E_2 = f_2; \quad h_2/D = n_2.$$

С помощью номограммы (см. рис. 2.9) по схеме, представленной на рис. 4.2, в, определяют величину $m_2 = E''_{\text{общ}}/E_2$ и вычисляют требуемый модуль упругости на поверхности основания $E''_{\text{общ}} = m_2 E_2$.

4. Аналогично определяется модуль на поверхности нижнего слоя основания $E''_{\text{общ}}$. При этом толщину верхнего слоя основания h_3 принимают минимальной.

5. Проводится оптимизация толщин нижнего слоя основания и дренирующего слоя. Толщина слоя h_5 (см. рис. 4.1) принимается равной толщине дренирующего слоя, полученной ранее расчетом. Определяется общий модуль упругости на поверхности дренирующего слоя $E'''_{\text{общ}}$, рассматривая двухслойную систему дренирующего слоя h_4 на полупространстве, которым является рабочий слой земляного полотна (рис. 4.3, а) с модулем упругости $E_{\text{гр}}$.

Для этой системы вычисляют следующие соотношения:

$$E_{\text{гр}}/E_5 = m_3, \quad h_5/D = n_3.$$

С помощью номограммы (см. рис. 2.9) по схеме, представленной на рис. 4.3, в, определяют значение $f_3 = E'''_{\text{общ}}/E_5$. Общий модуль упругости на поверхности дренирующего слоя:

$$E'''_{\text{общ}} = fE_5.$$

6. Вычисляется требуемая толщина нижнего слоя основания h_4 . Для этого рассматривается двухслойная система, представленная на рис. 4.3, б, и вычисляются следующие соотношения:

$$E'''_{\text{общ}}/E_4 = m_4; \quad E'''_{\text{общ}}/E_4 = f_4.$$

С помощью номограммы (см. рис. 2.9) по схеме, представленной на рис. 4.3, в, определяют величину $n_4 = h_4/D$.

Толщина основания $h_4 = n_4 D$. Необходимо, чтобы она была не меньше минимальной.

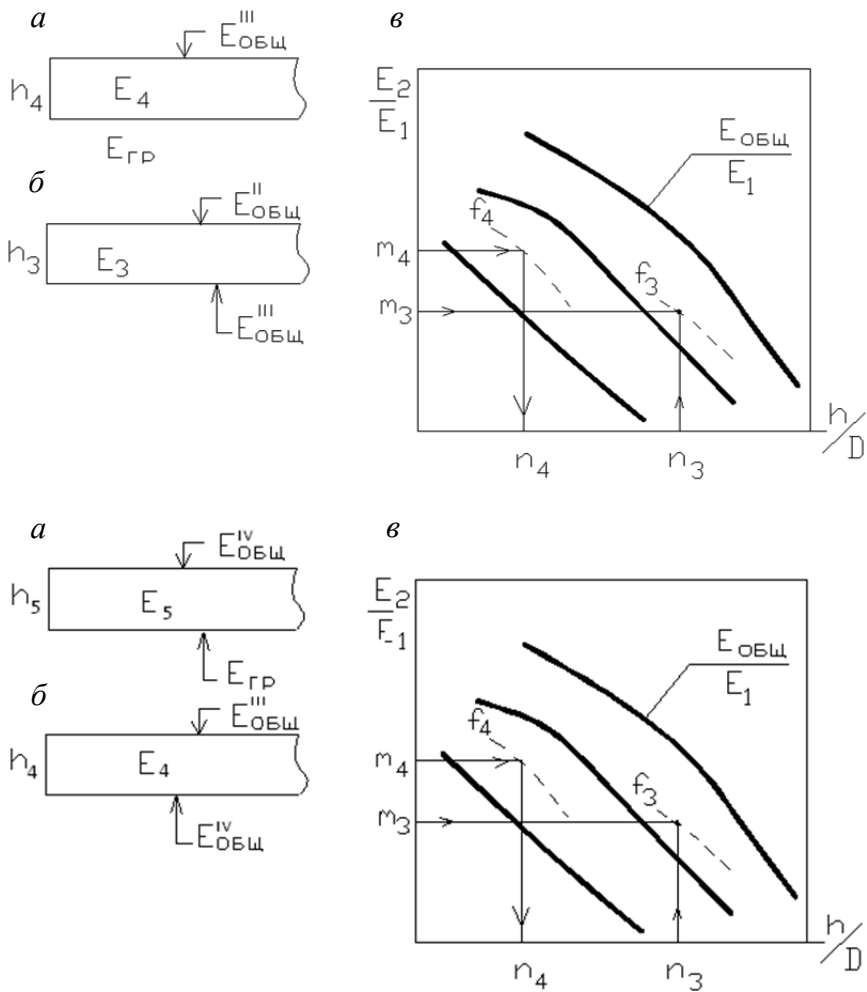


Рис. 4.3. Схема к определению $E''_{\text{общ}}$ и h_4

Вычисляется стоимость 100 пм длины дренирующего слоя h_5 , нижнего слоя основания h_4 и их общая стоимость C_{01} .

$$C_5 = S_5 h_5 B_5; \quad C_4 = S_4 h_4 b_4; \quad C_{01} = C_5 + C_4,$$

где S_5, S_4 – стоимость 1 м³ материала дренирующего слоя и основания, руб./м³;

h_5, h_4 – толщина дренирующего слоя и основания, м;

B_5, b_4 – ширина дренирующего слоя и основания.

7. Если толщина основания h_3 и h_4 больше минимального значения, то увеличивают толщину дренирующего слоя h_5 , аналогично п. 6 вычисляют общий модуль упругости на поверхности дренирующего слоя и толщину основания, согласно п. 5. Далее определяют стоимость 100 мм дренирующего слоя и основания. Если общая стоимость увеличилась, то увеличение толщины слоя h_5 нецелесообразно по экономическим соображениям. Если общая стоимость основания и дренирующего слоя уменьшилась, то целесообразно увеличивать толщину дренирующего слоя.

4.1.3. Расчет сдвигоустойчивости грунтов земляного полотна, несвязных и слабосвязных материалов конструктивных слоев дорожных одежд

Основы теории

Под *сдвигоустойчивостью* понимают устойчивость отдельных слоев дорожной одежды к появлению остаточных попластических деформаций.

Пластические деформации, связанные с потерей несущей способности материала под действием транспортной нагрузки. Ответственным за появление пластических деформаций может быть любой конструктивный слой и земляное полотно. Возможна ситуация, когда ответственность несут несколько конструктивных слоев. В то же время наиболее часто накоплению пластических деформаций подвергнуты верхний и нижний слои покрытия. Связано это с повышенным нагревом данных слоев в летний период и достаточно высоким уровнем напряжения в них от действия транспортной нагрузки.

Пластические деформации можно разделить на следующие группы:

1. Продольные колеи различной конфигурации.
2. Поперечные деформации в виде гребенки.
3. Наплывы, отпечатки и сдвиги, возникающие в локальных местах перераспределения транспортных потоков и стоянках.

Более подробно о видах пластических деформаций и причинах их появления можно ознакомиться в [3].

Причинами появления пластических деформаций является несоответствие свойств материала, ответственных за появление пластических деформаций, напряженному состоянию, возникающему при движении расчетного автомобиля. То есть

$$\tau \leq R_{\text{сдв}}, \quad (4.4)$$

где τ – касательные напряжение в покрытии от расчетного автомобиля при расчетных условиях;

$R_{\text{сдв}}$ – прочность материала на сдвиг.

Для дискретных материалов сопротивление сдвигу однозначно связано с параметрами угла внутреннего трения и нормальной составляющей напряжения. То есть

$$R_{\text{сдв}} = f(\sigma, \varphi), \quad (4.5)$$

где σ – нормальное напряжение в расчетном сечении;

φ – угол внутреннего трения материала.

Основным законом, отражающим зависимость сопротивления сдвигу от угла внутреннего трения, является закон Кулона:

$$R_{\text{сдв}} = \sigma \text{tg}\varphi + C, \quad (4.6)$$

где C – сила внутреннего сцепления материала.

На законе Кулона основана теория сдвигоустойчивости грунтов земляного полотна и несвязных слоев основания дорожных одежд, рассматриваемая в данном разделе. Для оценки сдвигоустойчивости по закону Кулона достаточно определить касательные и нормальные напряжения в конструктивном слое, силу внутреннего сцепления и угол внутреннего трения материала данного слоя.

Условие сдвигоустойчивости подобных материалов можно представить в виде измененной формулы (4.6):

$$\tau \leq \sigma \text{tg}\varphi + C. \quad (4.7)$$

Асфальтобетон и другие материалы, включающие органические вяжущие, с одной стороны, проявляют свойства дискретных (зернистых) материалов, с другой – свойства реологических, упруго-вязкопластических систем.

Наличие дискретной среды минерального остова приводит к зависимости свойств от напряжения, соотношения главных напряжений, величины и знака деформаций и др.

В связи с наличием битумных пленок применительно к асфальтобетону данный закон требует корректировки.

Наличие реологических свойств приводит к зависимости прочностных и деформационных параметров от температуры, времени действия нагрузки и скорости нагружения. То есть, если судить по вышеприведенным формулам, параметр C является непостоянным и его значение однозначно определить невозможно.

Подобная ситуация приводит к сложной зависимости свойств от величины нагрузки и времени ее действия. Органическое вяжущее ведет к появлению зависимости сопротивления сдвигу от температурно-временных параметров, когезии вяжущего, силы сцепления и др.

Для объективной оценки сопротивления материала пластическим деформациям необходимо знать две группы свойств:

1. Свойства, необходимые для расчета напряженно-деформированного состояния (деформационные свойства).

2. Свойства, необходимые для оценки устойчивости материала пластическим деформациям (прочностные свойства).

Деформационные свойства необходимы для получения зависимости напряженно-деформированного состояния от действия транспортной нагрузки. Наиболее оптимальным вариантом является получение зависимости $\sigma = f(\varepsilon, t)$.

Прочность материала на сдвиг непостоянна и зависит от соотношения упругих и вязких связей в процессе нагружения.

Согласно [3] прочность асфальтобетона сдвигу можно определить из условия

$$R_{сдв} = R_c \left(\frac{E_{дл} + E_t}{E_c} \right) + f(\varphi) = \frac{R_c}{E_c} (E_{дл} + E_t) + \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (4.8)$$

где R_c – предельная структурная прочность;

$E_{дл}$ – длительный модуль упругости;

E_t – модуль упругости (релаксации) материала при расчетной температуре и времени нагружения;

E_c – максимальный модуль упругости;

σ – величина нормального напряжения в расчетном сечении;

φ – угол внутреннего трения.

Подробно о вопросах сдвигоустойчивости асфальтобетона можно ознакомиться в [3]. Расчеты на сдвигоустойчивость конструктивных слоев, содержащих органическое вяжущее, выполняются под нагрузку A_3 и для городских улиц. Методика расчета приведена ниже в разделе «Конструирование и расчет дорожных одежд при реконструкции и капитальном ремонте».

*Расчет на сдвигоустойчивость грунтов и несвязных слоев
основания загородных дорог*

Для загородных дорог принята различная методика расчета на сдвигоустойчивость несвязных слоев и слоев из асфальтобетона.

Дорожную одежду проектируют так, чтобы при воздействии транспортных нагрузок в грунте земляного полотна и в неукрепленных материалах дорожной одежды не возникали деформации сдвига, что достигается выполнением условия

$$K_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \leq T_{\text{пр}} / T_a, \quad (4.9)$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды, определяемый по прил. 3;

$T_{\text{пр}}$ – предельная величина активного напряжения сдвига в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции, определяемая по формуле (4.10), МПа;

T_a – расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, не погашенная внутренним трением) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующего временного нагружения, определяемое по формуле (4.12), МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{\text{пр}}$ в грунте рабочего слоя (или в дополнительном слое основания) определяют по формуле

$$T_{\text{пр}} = ck_1k_2, \quad (4.10)$$

где c – сцепление в грунте земляного полотна (или в песчаном слое), МПа;

k_1 – коэффициент учета особенностей работы рассчитываемого слоя (грунта) на границе с вышележащим слоем дорожной одежды, принимаемый по таблицам [1];

k_2 – коэффициент запаса на неоднородность условий работы дорожной одежды.

При расчете на длительное действие нагружения принимают $k_2 = 1,23$, а величину $N_{\text{сут}}$ определяют по формуле

$$N_{\text{сут}} = \sum N_p / (T_{\text{рдг}} T_{\text{сл}}), \quad (4.11)$$

где $\sum N_p$ – количество накопленных расчетных осей за весь срок службы, определяемое по формуле (1.29), шт.;

$T_{\text{рдг}}$ – количество расчетных дней в год;

$T_{\text{сл}}$ – расчетный срок службы, г.

Расчетное активное напряжение сдвига T_a , МПа, возникающее в грунте или в неукрепленных материалах, определяют по формуле

$$T_a = \bar{\tau}_a p + \tau_b, \quad (4.12)$$

где $\bar{\tau}_a$ – активное напряжение сдвига от действия единичного нагружения, определяемое по номограммам, изображенным на рис. 4.15 и 4.16, МПа;

τ_b – напряжение от веса дорожной одежды, определяемое по номограмме (рис. 4.17), МПа.

При расчетах на сдвигоустойчивость многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслойной расчетной модели.

При расчете сдвигоустойчивости грунта земляного полотна за нижний слой принимают грунт земляного полотна (с учетом его влажности), а за верхний – всю дорожную одежду толщиной h_b , равной сумме толщин слоев дорожной одежды.

Модуль упругости дорожной одежды принимают как средневзвешенный модуль пакета слоев, рассчитанный по формуле

$$E_b = \sum_{i=1}^n E_i h_i / \sum_{i=1}^n h_i, \quad (4.13)$$

где n – количество слоев дорожной одежды, шт.;

E_i – модуль упругости i -го слоя, МПа;

h_i – толщина i -го слоя, м.

При расчете сдвигоустойчивости неукрепленных материалов конструктивных слоев оснований дорожных одежд с помощью номограмм, изображенных на рис. 4.15 и 4.16, каждому слою присваивают характеристики C_n и ϕ_n . Модуль упругости принимают равным общему модулю упругости на поверхности рассчитываемого слоя; толщину верхнего слоя модели принимают равной общей толщине слоев, что лежат над песчаным слоем, а модуль упругости E_b рассчитывают как средневзвешенное значение для этих слоев по формуле (4.13).

При расчете несвязанных слоев дорожных одежд по условию сдвигоустойчивости значения модулей упругости материалов, которые содержат органическое вяжущее, определяют при температуре 20 °С.

Расчет дорожных одежд по критериям сдвига в грунте земляного полотна, а также в песчаных материалах промежуточных слоев дорожной одежды ведут в следующей последовательности:

– по табл. П7.2 прил. 7 назначают расчетные модули упругости слоев из асфальтобетона при температуре 20 °С. Расчетные прочностные характеристики C и ϕ грунта земляного полотна и песка подстилающего слоя дорожной одежды (если такой есть) принимают с учетом расчетной влажности по прил. 6. Другие расчетные характеристики грунта и материалов принимают те же, что и в расчете по упругому прогибу;

– по номограммам определяют активное напряжение сдвига τ_n от одиночного кратковременного нагружения. Для этого приводят многослойную конструкцию к двухслойной модели;

– по формуле (4.10) определяют расчетное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте земляного полотна или в песчаных слоях дорожной одежды;

– по формуле (4.12) определяют предельное активное напряжение T_a в грунте;

– по формуле (4.9) проверяют выполнение условий прочности;

– при необходимости, изменяя толщину конструктивных слоев, подбирают конструкцию, которая отвечает условию (4.9).

4.1.4. Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от транспортной нагрузки

Основы теории

Недостаточная устойчивость материалов конструктивных слоев к усталостным деформациям проявляется в виде сетки трещин с шагом 10–50 см или силовых трещин [3].

Усталостные деформации обусловлены повторными воздействиями транспортной нагрузки, накоплением повреждаемости в структуре материала и последующим разрушением. Данные деформации одни из наиболее опасных, поскольку практически не подлежат ремонту и ведут к быстрому выходу дорожной одежды из строя.

Усталостные свойства можно охарактеризовать способностью материала накапливать повреждаемость, то есть необходимо знать и уметь определить уровень повреждаемости ψ (основные теоретические подходы его определения изложены в [3]).

Условие устойчивости материала покрытия к усталостным деформациям при совместном действии транспортной нагрузки и погоднo-климатических факторов имеет следующий вид:

$$\psi \leq [\psi],$$

где ψ – фактический уровень повреждаемости материала покрытия от совместного действия транспортной нагрузки и погоднo-климатических факторов;

$[\psi]$ – предельно допустимый уровень повреждаемости, зависящий от категории дороги (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Категория дороги	1	2	3	4
$[\psi]$	0,4	0,5	0,55	0,6

Для определения фактического уровня повреждаемости материала покрытия необходимо подготовить следующие исходные данные:

– суммарную интенсивность движения за весь срок службы (по методике);

- растягивающие напряжения в слое покрытия σ_r , МПа;
- прочность материала на изгиб R_u , МПа;
- предельную структурную прочность материала R_c , МПа;
- расчетный срок службы T , лет.

Для вычисления растягивающих напряжений в монолитных слоях дорожной одежды пользуются номограммами, представленными в [1, 2].

Методики оценки устойчивости материалов конструктивных слоев дорожных одежд усталостным деформациям различны в разных странах. Связано это со сложностью протекающих процессов. На практике часто идут на упрощение. В частности такой подход принят и в Республике Беларусь. Для дорог низких категорий применяют упрощенные подходы [1]. Для городских улиц и дорог [2], а также загородных дорог под нагрузку A_3 [1] применяют более сложные подходы. В разделе «Капитальный ремонт и реконструкция дорожных одежд» (п. 6) приведен расчет, основанный на оценке уровня повреждаемости структуры материала.

*Расчет на устойчивость усталостным деформациям
дорожных одежд загородных дорог под нагрузки A_1 и A_2*

В монолитных слоях дорожной одежды напряжения, возникающие при прогибе дорожной одежды под действием кратковременных повторных нагружений, не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин. Для этого должно выполняться условие

$$k_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \leq R_{\text{доп}} / \sigma_r, \quad (4.14)$$

где $k_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$ – требуемый коэффициент прочности с учетом заданного коэффициента надежности, принимаемый по прил. 3;

$R_{\text{доп}}$ – предельно допустимое напряжение изгиба материала слоя с учетом усталости, определяемое расчетом, МПа;

σ_r – наибольшее напряжение растяжения, определяемое расчетом, МПа. σ_r при изгибе в монолитном слое вычисляют с помощью номограмм.

В практике проектирования дорожных одежд встречаются два характерных случая:

– монолитный слой или некоторое количество смежных слоев из однотипных монолитных материалов находится в верхней части дорожной одежды – это асфальтобетоны и подобные им покрытия, асфальтобетонные основания, расположенные непосредственно под асфальтобетонным покрытием;

– монолитный слой, расположенный в толщине дорожной одежды, – разного рода монолитные основания.

Однослойные монолитные покрытия рассчитываются на напряжение при изгибе с помощью номограммы (рис. 4.28).

Номограмма связывает относительную толщину покрытия h_1/D (горизонтальная ось) и отношение модуля упругости материала покрытия к общему модулю на поверхности основания $E_i / E_{\text{общ}}$ (кривые на номограмме) с максимальным напряжением на растяжение при изгибе $\bar{\sigma}_r$ в материале покрытия от местного нагружения, равного 1 МПа (вертикальная ось). Номограмма построена для наиболее неблагоприятного случая, когда сцепление покрытия с основанием недостаточно.

При расчете на изгиб нижнего слоя двухслойного покрытия и слоев асфальтобетонного основания, подстилающего асфальтобетонное покрытие, весь пакет асфальтобетонных слоев необходимо принимать за один эквивалентный слой. В этом случае модуль упругости эквивалентного слоя толщиной, соответствующей общей толщине пакета, необходимо определять по формуле (4.13), а рассчитывать на выполнение неравенства (4.14) в нижнем слое асфальтобетонного основания, если он обладает наименьшей прочностью на растяжение при изгибе. Если минимальной прочностью среди асфальтобетонных слоев обладает один из вышележащих слоев, то в расчет принимаются средневзвешенные расчетные характеристики пакета слоев. Также средневзвешенные характеристики принимаются в расчет, если толщина плотных слоев асфальтобетона превышает толщину слоев из пористого асфальтобетона более чем в 1,3 раза и общая толщина слоев из плотного асфальтобетона более 0,1 м.

Промежуточные монолитные слои оснований дорожной одежды необходимо рассчитывать с использованием номограммы (рис. 4.13). Для этого многослойную конструкцию следует привести к трехслой-

ной, где средним будет монолитный слой, который рассчитывается (см. слой 2 на рис. 4.30). Номограмма связывает относительную толщину двух верхних слоев трехслойной системы $(h_1 + h_2)/D$ и растягивающие напряжения $\bar{\sigma}_r$ от растягивающего напряжения в нижней точке слоя, который рассчитывается под центром нагруженной площади (где эти напряжения достигают максимального значения) при разных соотношениях модулей упругости слоев E_1/E_2 (кривые на номограмме) и E_2/E_3 (лучи на номограмме). Полное значение напряжений σ_r вычисляется по формуле (4.18).

Допустимые растягивающие напряжения при изгибе асфальтобетона $R_{\text{доп}}$ определяют по формуле

$$R_{\text{доп}} = R_u (1 - 0,1t) k_M k_{\text{кн}} k_T, \quad (4.15)$$

где R_u – прочность асфальтобетона на растяжение при изгибе с учетом повторности действия напряжений (см. раздел 7).

t – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый по табл. 4.10;

k_M – коэффициент учета снижения прочности во времени от действия природно-климатических факторов;

k_T – коэффициент учета снижения прочности материала в конструкции в результате температурных воздействий;

$k_{\text{кн}}$ – коэффициент учета кратковременности и повторности нагружения на дорогу, определяемый по формуле

$$k_{\text{кн}} = \alpha \sum N_p^{-1/m}, \quad (4.16)$$

где α – коэффициент, учитывающий повторность нагружения в нерасчетный период года (по прил. 7);

$\sum N_p$ – суммарное расчетное число приложения приведенной расчетной нагрузки к расчетной точке на поверхности дорожной конструкции за расчетный срок службы, осей;

m – показатель усталости материала (по прил. 7).

Для прочих монолитных оснований $R_{\text{доп}}$ определяют по формуле

$$R_{\text{доп}} = R_u. \quad (4.17)$$

Полное растягивающее напряжение σ_r , МПа, определяют по формуле

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r p K_6, \quad (4.18)$$

где $\bar{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, МПа;

K_6 – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия под колесом автомобиля со спаренными баллонами ($K_6 = 0,85$) и однобаллонными колесами ($K_6 = 1,0$).

Расчет покрытия по формуле (4.14) и его эквивалентного монолитного слоя на изгиб осуществляют в следующей последовательности:

– вычисляют h_1/D при однослойном покрытии или $\sum h_i/D$ (асфальтобетонное покрытие на асфальтобетонном основании) и по формуле (4.13) находят средний модуль упругости асфальтобетонных слоев;

– общий модуль упругости $E_{\text{общ}}$ на поверхности основания, подстилающего асфальтобетон, приводят к эквивалентному жесткому полупространству с модулем упругости $E_{\text{общ}}$, определяемому путем последовательного вычисления общих модулей упругости каждой пары смежных слоев по методике п. 4.2.1;

– по отношениям $E_i/E_{\text{общ}}$ основания и h_1/D с помощью номограммы (см. рис. 2.9) определяют растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ в рассматриваемом слое от разового нагружения. Полное растягивающее напряжение σ_r определяют по формуле (4.18);

– вычисляют допустимые растягивающие напряжения по формуле (4.15). Далее вычисляют соотношение $R_{\text{доп}}/\sigma_r$, и если оно больше или равно $K_{\text{пр}}$, то конструкцию считают соответствующей требованиям прочности на растяжение при изгибе. В противном случае необходимо откорректировать толщину слоев.

Промежуточные монолитные слои рассчитывают в следующем порядке:

– по формуле (4.13) вычисляют средний модуль упругости конструктивных слоев, которые расположены выше рассчитываемого монолитного слоя (рис. 4.29).

Расчетный модуль упругости слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее, принимают при температуре 0 °С.

Слои, подстилающие монолитный слой, приводят к эквивалентному жесткому полупространству с модулем упругости E_3 , определяемым путем последовательного вычисления общих модулей упругости каждой пары смежных слоев.

– по номограмме (рис. 4.28) находят растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ в расчетном слое от одиночного нагружения. Для этого из точки на верхней горизонтальной оси, которая соответствует отношению $\sum h_i/D$, проводят вертикаль до кривой с соответствующим отношением E_1/E_2 , а из точки пересечения проводят вертикаль до луча, который соответствует отношению E_2/E_3 , откуда опускают вертикаль на нижнюю горизонтальную ось, где находят соответствующее значение $\bar{\sigma}_r$. Расчетное значение σ_r находят по формуле (4.18) при $K_6 = 1,0$. Далее вычисляют соотношение $R_{\text{доп}}/\sigma_r$, и если оно больше или равно $K_{\text{пр}}$, то конструкцию считают соответствующей требованиям прочности на растяжение при изгибе.

В противном случае необходимо откорректировать толщину слоев основания и повторить расчет.

4.1.5. Обеспечение морозостойчивости дорожных одежд и земляного полотна

Основы теории

В условиях избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов, характерных для Беларуси, наряду с обеспечением требуемой прочности и осушения конструкции необходимо, чтобы конструкция была морозостойчива.

Основные мероприятия, направленные на обеспечение морозостойчивости конструкции:

– использование непучинистых или слабопучинистых грунтов для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания;

– устройство морозозащитных слоев из стабильных материалов, не изменяющих своего объема при промерзании в увлажненном состоянии, или теплоизоляционных слоев, задерживающих холод и снижающих глубину промерзания земляного полотна;

– применение специальных устройств, предохраняющих земляное полотно от неблагоприятного воздействия отрицательных температур воздуха и источников увлажнения.

Обеспечение морозоустойчивости дорожных одежд загородных дорог и городских улиц

Специальные меры по морозозащите требуются в случае, когда земляное полотно возводится из сильно- и чрезмернопучинистых грунтов. В этом случае толщина стабильных слоев дорожной одежды из условия морозоустойчивости должна быть не менее требуемых значений в зависимости от района строительства дороги (рис. 4.31).

Условие морозоустойчивости:

$$H_{\text{факт}} \geq H_{\text{доп}}, \quad (4.19)$$

где $H_{\text{факт}}$ – фактическая толщина дорожной одежды:

$$H_{\text{факт}} = \sum h_i, \quad (4.20)$$

где h_i – толщины конструктивных слоев дорожной одежды;

$H_{\text{доп}}$ – требуемая (допустимая) толщина дорожной одежды, определяемая по картам изолиний (рис. 4.31).

При невыполнении условия (4.19) увеличивают толщину стабильных слоев дорожной одежды в основном за счет увеличения толщины наиболее дешевого подстилающего слоя, поэтому данный слой называют морозозащитным.

4.2. Реализация четвертого раздела в курсовом проекте

В курсовом проекте выполняют расчет на прочность по всем критериям. С целью улучшения методики курсового проектирования в первом разделе «Проектирование новой дорожной одежды» расчет ведут на нагрузки A_1 или A_2 по следующим критериям прочности:

- сопротивление упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивление сдвигу в грунтах и в малосвязанных материалах;
- сдвигоустойчивость несвязных слоев дорожной одежды;

– сопротивление слоев из монолитных материалов усталостному разрушению от растяжения при изгибе.

Расчет на нагрузку A_3 выполняют при работе над вторым разделом («Реконструкция и капитальный ремонт дорожных одежд») по следующим критериям прочности:

- сопротивление упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивление сдвигу в грунтах и в малосвязанных материалах;
- сопротивление слоев из монолитных материалов усталостному разрушению от растяжения при изгибе;
- сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев дорожной одежды (дополнительный расчет);
- устойчивость материалов монолитных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов (дополнительный расчет).

4.2.1. Расчет по критерию упругого прогиба

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

$$E_{об} > E_{min} K_{пр}^{TP},$$

где $E_{об}$ – общий расчетный модуль упругости конструкции, определяемый расчетом с помощью номограммы, МПа;

E_{min} – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа, который принимается по табл. 4.2 или вычисляется по формуле

$$E_{тр} = 98,65 [\lg(\Sigma N_h) - c].$$

По табл. 4.2 для дороги IV категории при нагрузке A_2 значение $E_{тр}$ отсутствует.

$K_{пр}^{TP}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимается в зависимости от требуемого коэффициента надежности.

Таблица 4.2

Минимально допустимый требуемый модуль упругости
дорожной одежды

Категория дороги	Требуемый модуль упругости $E_{тр}$, МПа, дорожной одежды				
	капитального типа при нагрузке группы			облегченного типа	переходного и низшего типа
	A_1	A_2	A_3		
I	230	270	310	–	–
II	220	250	280	–	–
III	200	–	–	180	–
IV	180	–	–	150	100
V, VI	–	–	–	100	80

Значение $K_{пр}^{тр} = 0,85$ прием по табл. 4.3 (при заданном коэффициенте надежности $K_n = 0,85$ – см. табл. 4.3).

Таблица 4.3

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

Дорожная одежда капитального типа		Дороги, предназначенные для движения групп нагрузок A_1 и A_2									
Категория дороги		I		II		III			IV		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию	упругого прогиба	1,25	1,15	1,20	1,10	1,20	1,10	1,00	1,05	0,95	0,85
	сдвигоустой- чивости не- укрепленных слоев	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции дорожной одежды вычисляем по формуле

$$E_{\text{тр}} = 98,65 [\lg(\Sigma N_h) - c];$$

$$E_{\text{min}} = 98,65[\lg(\Sigma N_p) - c] = 98,65(\lg 62680 - 3,23) = 155 \text{ МПа},$$

где ΣN_p – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды (в курсовом проекте по расчету $\Sigma N_p = 62\,680$ авт.)

c – коэффициент, зависящий от группы нагрузки (для группы нагрузки A_2 $c = 3,23$).

Независимо от результата расчета требуемый модуль упругости дорожной одежды должен быть не менее, указанного в табл. 4.2.

$$E_{\text{факт}} > E_{\text{тр}},$$

так как по табл. 4.2 для нагрузки A_2 и дороги IV категории значение $E_{\text{тр}}$ отсутствует, примем

$$E_{\text{тр}} = E_{\text{min}} = 155 \text{ МПа}.$$

Окончательно принимаем

$$E_{\text{общ}} = E_{\text{тр}} K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 155 \cdot 0,85 = 132 \text{ МПа}.$$

Выполним оптимизацию конструкции дорожной одежды.

Принимаем конструкцию дорожной одежды по предварительной схеме, полученной в п. 2.1.3.

Значения расчетных модулей упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, принимаем при температуре $+10^\circ\text{C}$ (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Значения расчетных характеристик

Материал	Модуль упругости при температуре, МПа			Прочность на изгиб при 0 °С, МПа	Угол внутр. трения φ , °	Внутр. сцепление C , МПа	Коэффициенты m и a
	0 °С	10/20 °С	50 °С				
Горячий, плотный, м/з а/б типа Б, марки 2 на битуме БНД 90/130	3600	2400 1200	420	9,5			5,0; 4,8
Горячий, пористый, к/з а/б на битуме БНД 90/130	2200	1400 800	350	7,8			4; 8,6
Песчано-гравийная смесь		180			41	0,02	
ПГС, укр. цементом		600		0,4			
ПГС, укр. битумом		350		0,2			
Песок крупный		130			35	0,004	
Песок мелкий		100			31	0,003	
Грунт земляного полотна (глина)		21,2			10,4	0,02	

Составляем схему конструкции дорожной одежды (рис. 4.4).

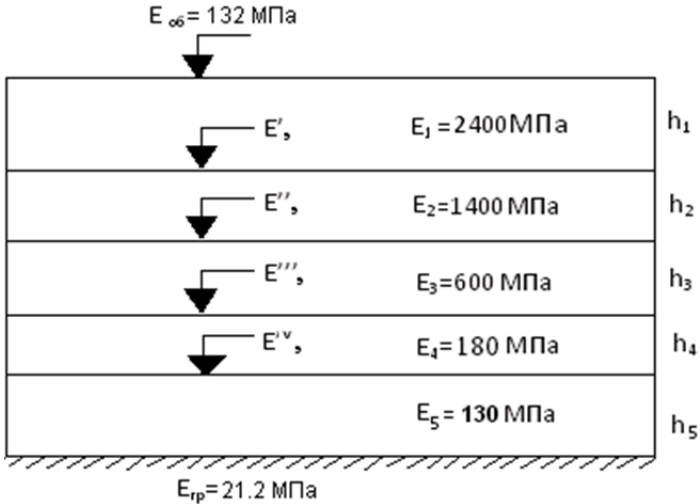


Рис. 4.4. Схема конструкции дорожной одежды

Назначаем минимальные толщины слоев, руководствуясь положениями п. 2.1.3 и табл. 4.5.

Таблица 4.5

Минимальная толщина конструктивных слоев
дорожной одежды

Вид материала	Минимальная толщина слоя, м
Щебеночно-гравийные материалы, обработанные органическим вяжущим	0,08
Щебень, устроенный по способу пропитки	0,10
Укрепленные грунты и малопрочные материалы, асфальтогранулят	0,12
Неукрепленные материалы, устроенные на прочном основании (на каменистом или укрепленном грунте)	0,15
Неукрепленные материалы, устроенные на песчаном основании	0,17
Неукрепленный песчаный грунт	0,50

1. Горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон (м/з а/б) типа Б марки 2 на битуме БНД 90/130.

М/з а/б типа Б имеет максимальный размер частиц щебня – 20 мм. Содержание щебня составляет менее 50 %. Следовательно, минимальная толщина слоя составит $1,5 \cdot 20 = 30$ мм.

Учитывая, что число слоев покрытия менее двух, минимальную толщину слоя примем 4 см.

2. Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон (к/з а/б) на битуме БНД 90/130. К/з а/б имеет максимальный размер зерен 40 мм. Содержание щебня примем менее 50 %. Минимальная толщина составит $1,5 \cdot 40 = 60$ мм = 6 см.

3. Песчано-гравийная смесь, укрепленная цементом. В соответствии с табл. 4.5 минимальная толщина составит 12 см.

4. Песчано-гравийная смесь. В соответствии с табл. 4.5 минимальная толщина составит 17 см.

5. Песчаный слой. Минимальная толщина песчаного слоя по табл. 4.5 составит 50 см. **По указанию руководителя можно принять 25 см.**

Поскольку подстилающий слой выполняет функцию дренирующего, его минимальная толщина не должна быть ниже полученной по расчету толщины дренирующего слоя. В курсовом проекте по расчету толщина дренирующего слоя составляет 30 см. Окончательно толщину подстилающего слоя принимаем равной 50 см.

Назначаем толщины слоев покрытия, равные минимальным значениям. В данном случае – 4 и 6 см соответственно.

Используя номограмму для определения общего модуля упругости двухслойной системы и выполняя расчет сверху вниз, находим эквивалентный модуль упругости на поверхностях слоев.

Параметры, характеризующие величину и повторность действия нагрузки движущихся транспортных средств на дорожную одежду: давление p , расчетный диаметр D_0 отпечатка колеса движущегося автомобиля и расчетная приведенная к нормируемому нагружению интенсивность движения N_p .

Расчетные значение D и p для групп расчетных нагрузок A_1 , A_2 и A_3 изложены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$, кН	Расчетные параметры нагрузки	
		P , МПа	D , см
A_1	50,0	0,60	$\frac{37}{33}$
A_2	57,5	0,60	$\frac{39}{37}$
A_3	65,0	0,60	$\frac{41}{39}$

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

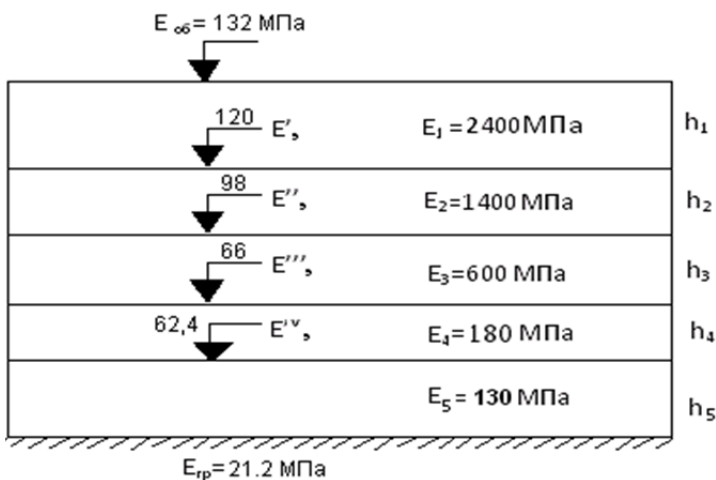


Рис. 4.5. Схема конструкции дорожной одежды

Определяем эквивалентный модуль на поверхности нижнего слоя покрытия E_3^I :

$$K_2 = h_1 / D = 4 / 39 = 0,1,$$

где h – толщина слоя;

D – диаметр круга, эквивалентного площади шины расчетного автомобиля с покрытием, $D = 39$.

$$K_1 = E_{\text{общ}} / E_1 = 132 / 2400 = 0,055.$$

По номограмме (рис. 4.6) найдем отношение E_3^I / E_1 (K_3), которое составит $K_3 = 0,05$:

$$E_3^I = E_1 K_3 = 2400 \cdot 0,05 = 120 \text{ МПа}.$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности верхнего слоя основания E_3^{II} :

$$K_2 = h_2 / D = 6 / 39 = 0,15;$$

$$K_1 = E_3^I / E_2 = 120 / 1400 = 0,09.$$

По номограмме найдем отношение $E_9^{\text{II}}/E_2 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,07$:

$$E_9^{\text{II}} = E_2 K_3 = 1400 \cdot 0,07 = 98 \text{ МПа.}$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности нижнего основания E_9^{III} .

Толщину слоя из ПГС, укрепленной цементом, примем минимальной, равной 12 см:

$$K_2 = h_3 / D = 12/39 = 0,31;$$

$$K_1 = E_9^{\text{II}} / E_3 = 98/600 = 0,16.$$

По номограмме найдем отношение $E_9^{\text{III}}/E_3 (K_3)$, $K_3 = 0,11$:

$$E_9^{\text{III}} = E_3 K_3 = 600 \cdot 0,11 = 66 \text{ МПа.}$$

Определяем эквивалентный модуль упругости на поверхности песчаного слоя.

Задаем $h_5 = h_{\text{min}} = 50 \text{ см}$.

$$K_2 = h_5 / D = 50/39 = 1,28;$$

$$K_3 = E_{\text{гр}} / E_5 = 21,2/130 = 0,16.$$

По номограмме найдем отношение $E_9^{\text{IV}}/E_5 (K_1)$, $K_1 = 0,48$:

$$E_9^{\text{IV}} = E_4 K_3 = 130 \cdot 0,48 = 62,4 \text{ МПа.}$$

Находим толщину нижнего слоя основания h_4 :

$$m_1 = E_9^{\text{IV}} / E_4 = 62,4/180 = 0,35;$$

$$m_2 = E_9^{\text{III}} / E_4 = 66/180 = 0,37.$$

По номограмме найдем отношение $h_4/D (m_3)$, которое составит 0,1.

Тогда

$$h_4 = 0,1 \cdot 39 = 4,0 < 17 \text{ см,}$$

так как $h_4 = 4 \text{ см} < 17 \text{ см}$ (в соответствии с табл. 4.5 минимальная толщина слоя ПГС составит 17 см), принимаем $h_4 = 17 \text{ см}$.

Определяем отношение E_3^1/E_1 (K_3) по номограмме (см. рис. 4.6).

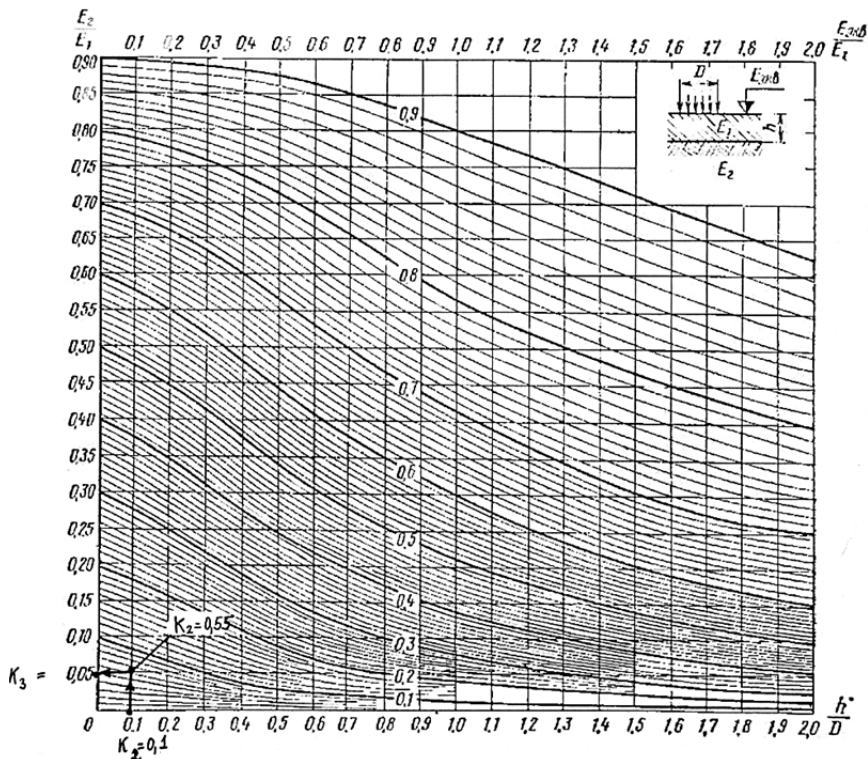


Рис. 4.6. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{\text{экв}}$ двухслойной системы

Цифры на кривых означают отношение $E_2/E_{\text{экв}}$ – модуля упругости нижнего слоя E_2 к эквивалентному модулю двухслойной системы $E_{\text{экв}}$:

$$K_2 = h_1 / D = 4/39 = 0,1,$$

где h – толщина слоя;

D – диаметр круга, эквивалентного площади шины расчетного автомобиля с покрытием, $D = 39$.

$$K_1 = E_{\text{общ}} / E_1 = 132/2400 = 0,055.$$

По номограмме найдем отношение $E_3^I / E_1 (K_3)$, $K_3 = 0,05$

$$E_3^I = E_1 K_3 = 2400 \cdot 0,05 = 120 \text{ МПа.}$$

Определяем отношение $E_3^{II} / E_2 (K_3)$ по номограмме (рис. 4.7).

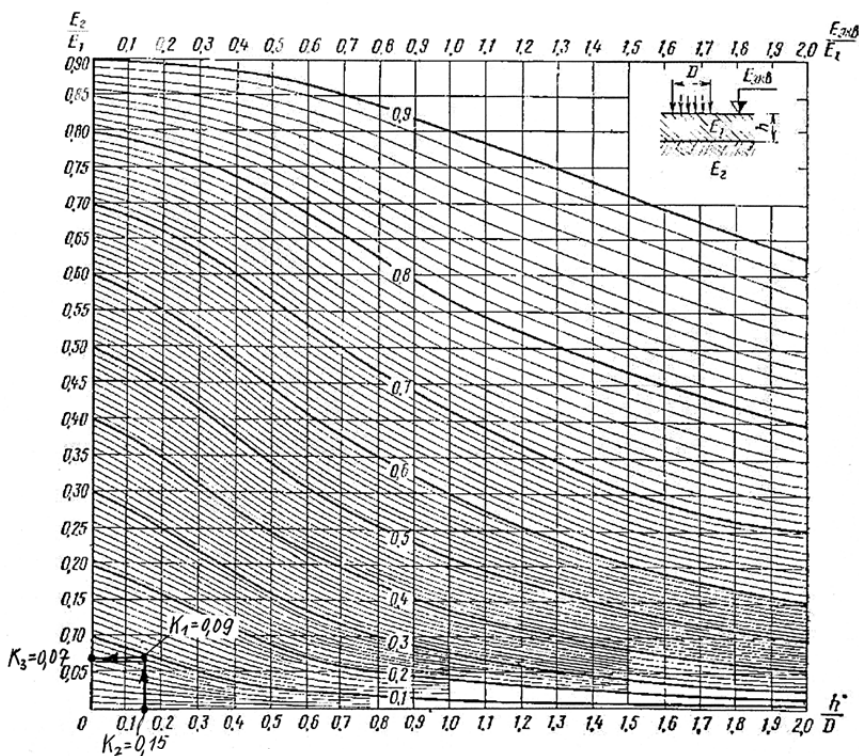


Рис. 4.7. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{\text{экв}}$ двухслойной системы

$$K_2 = h_2 / D = 6/39 = 0,15;$$

$$K_1 = E_3^I / E_2 = 120/1400 = 0,09.$$

По номограмме найдем отношение $E_3^{II} / E_2 (K_3), K_3 = 0,07$:

$$E_3^{II} = E_2 K_3 = 1400 \cdot 0,07 = 98 \text{ МПа.}$$

Определяем отношение E_3^{III} / E_3 по номограмме (рис. 4.8).

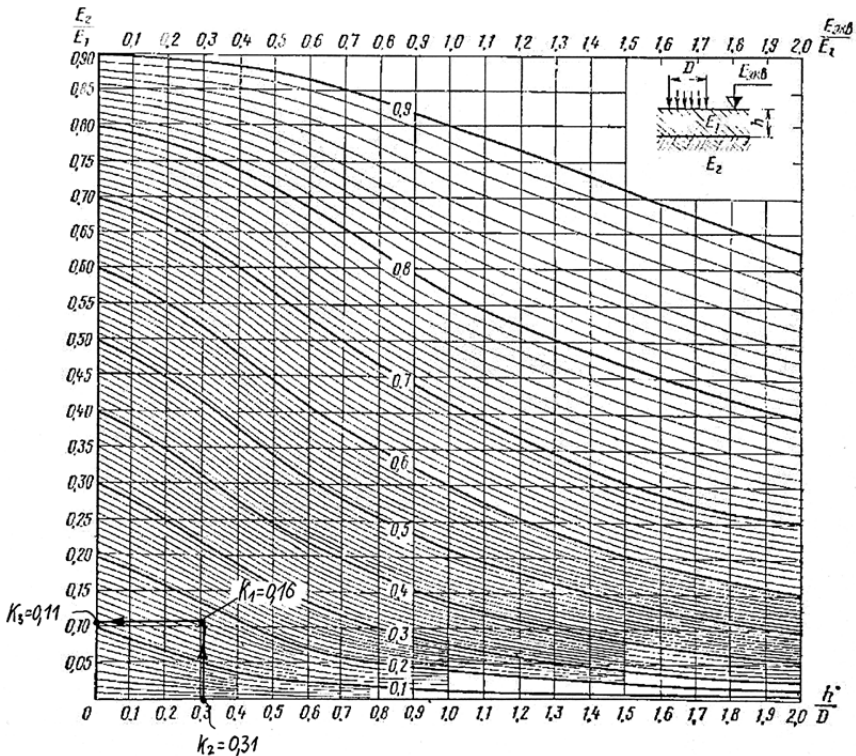


Рис. 4.8. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{экв}$ двухслойной системы

Толщину слоя из ПГС, укрепленной цементом, примем минимальной (12 см):

$$K_2 = h_3 / D = 12 / 39 = 0,31;$$

$$K_1 = E_3^{II} / E_3 = 98 / 600 = 0,16.$$

По номограмме найдем отношение E_3^{III} / E_3 (K_3), $K_3 = 0,11$:

$$E_3^{III} = E_3 K_3 = 600 \cdot 0,11 = 66 \text{ МПа.}$$

Определяем отношение E_3^{IV} / E_5 (K_1) по номограмме (рис. 4.9).

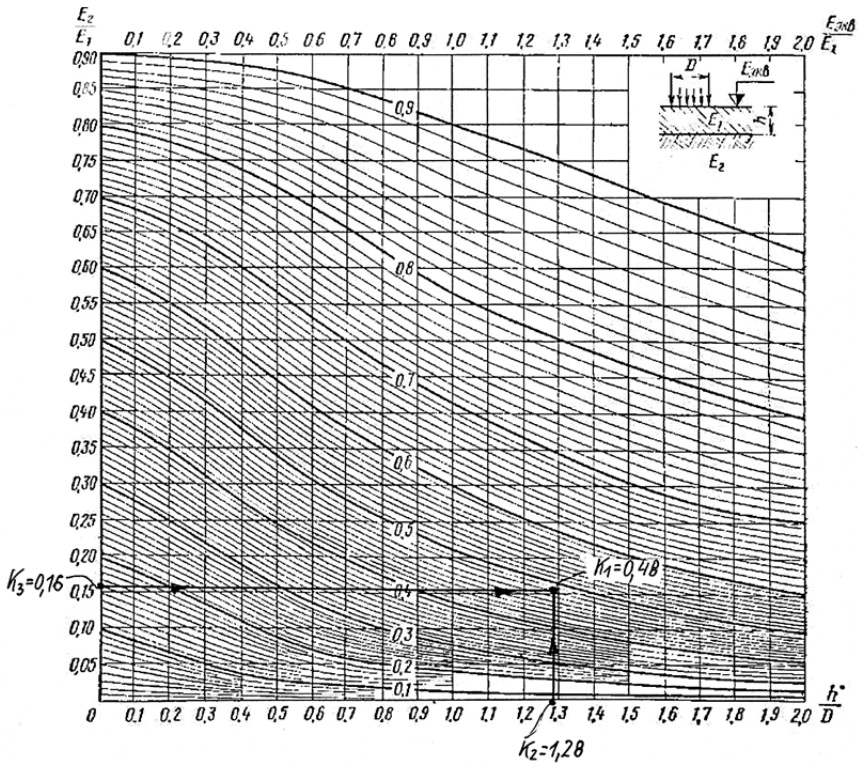


Рис. 4.9. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{\text{экв}}$ двухслойной системы

Задаем $h_5 = h_{\min} = 50$ см:

$$K_2 = h_5 / D = 50/39 = 1,28;$$

$$K_3 = E_{\text{гп}} / E_5 = 21,2/130 = 0,16.$$

По номограмме найдем отношение E_3^{IV}/E_5 (K_1), $K_1 = 0,48$:

$$E_3^{\text{IV}} = E_4 K_3 = 130 \cdot 0,48 = 62,4 \text{ МПа.}$$

Определяем отношение h_4 / D (m_3) по номограмме (рис. 4.10).

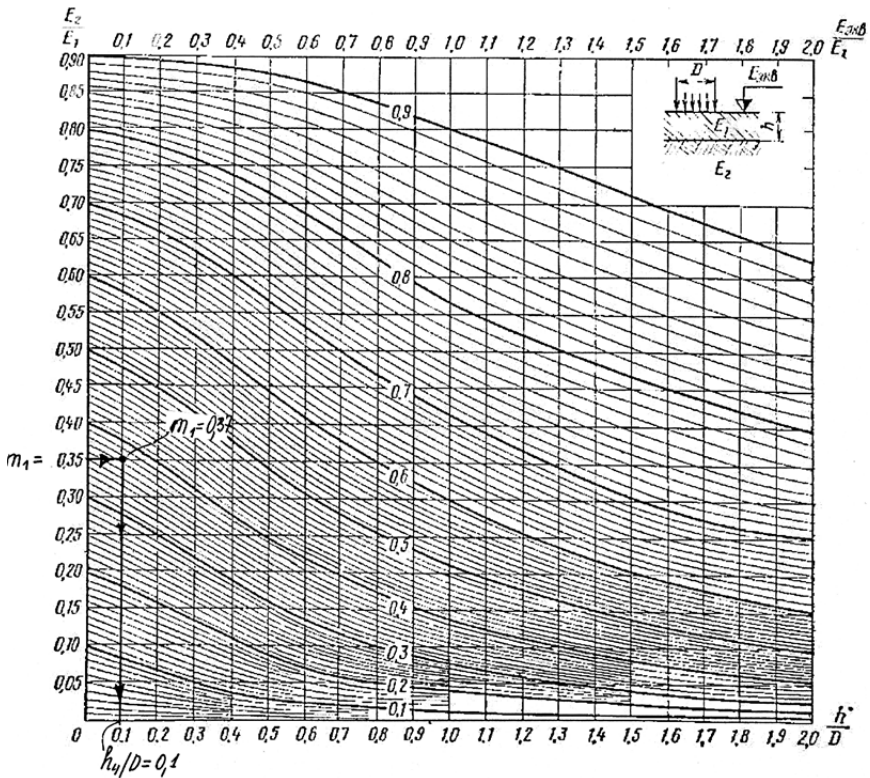


Рис. 4.10. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{\text{экр}}$ двухслойной системы

$$m_1 = E_3^{IV} / E_4 = 62,4 / 180 = 0,35;$$

$$m_2 = E_3^{III} / E_4 = 66 / 180 = 0,37.$$

По номограмме найдем отношение h_4 / D (m_3), которое составит 0,1. Определяем стоимость дренирующего слоя h_5 и основания h_3, h_4 :

$$\begin{aligned} C &= h_5 C_5 + h_4 C_4 + h_3 C_3 = 50 \cdot 1000 + 17 \cdot 1500 + 2100 \cdot 12 = \\ &= 100\,700 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Поскольку толщина нижнего слоя основания по расчету меньше минимального значения ($h_4 = 4 \text{ см} < 17 \text{ см}$), вариация толщин слоев дорожной одежды с целью поиска толщин, обеспечивающих минимальную стоимость, нецелесообразна.

При увеличении толщины верхнего слоя основания толщина нижнего слоя основания (ПГС) становится меньше минимальной.

Окончательно принимаем конструкцию с минимальной толщиной песчаного слоя 50 см. Толщина нижнего слоя основания составит 17 см, верхнего – 12 см. Толщина нижнего слоя покрытия – 6 см, верхнего – 4 см (рис. 4.11).

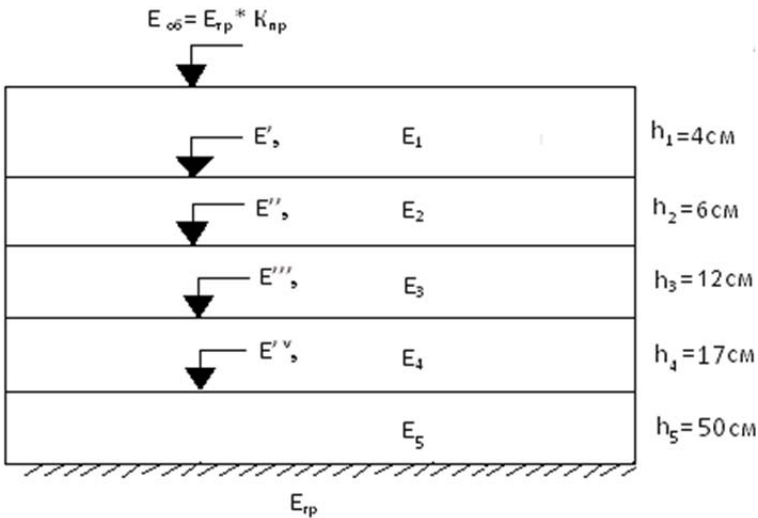


Рис. 4.11. Принятая конструкция дорожной одежды

4.2.2. Расчет на сдвигоустойчивость грунтов и несвязных слоев основания загородных дорог

В качестве исходной принимаем конструкцию, полученную при расчете по упругому прогибу с учетом коррекции модулей упругости асфальтобетона при 20 °С (табл. П7.2 прил. 7) (рис. 4.12).

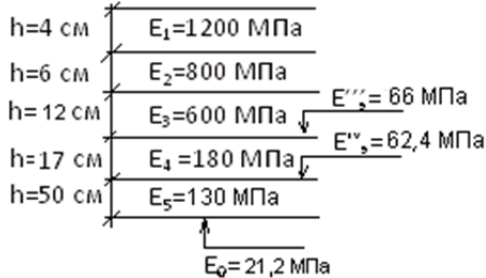


Рис. 4.12. Конструкция дорожной одежды для расчета на сдвигоустойчивость

Расчет грунта земляного полотна. В курсовом проекте рекомендуется выполнить расчет на сдвигоустойчивость для грунта земляного полотна и подстилающего слоя.

При расчетах многослойную дорожную конструкцию приводят к двухслойной расчетной модели. Верхние слои имеют суммарную толщину и средний модуль упругости (рис. 4.13).

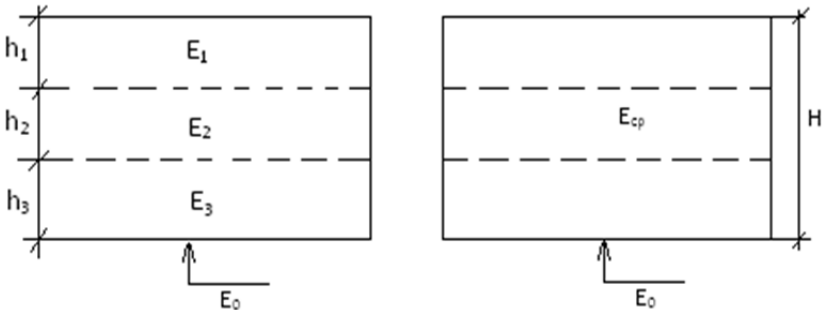


Рис. 4.13. Схема для расчета дорожной одежды на сдвигоустойчивость

Проверяем условие прочности по формуле (4.9).

Найдем расчетное активное напряжение сдвига по формуле (4.12).

$$T_a = \bar{\tau}_a \rho + \tau_b.$$

Параметры расчетной нагрузки приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Параметры расчетной нагрузки

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$, кН	Расчетные параметры нагрузки	
		P , МПа	D , см
A ₂	57,5	0,60	$\frac{39}{37}$

$p = 0,6$ $D = 39$

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

τ_a найдем по номограмме (рис. 4.14 или 4.15).

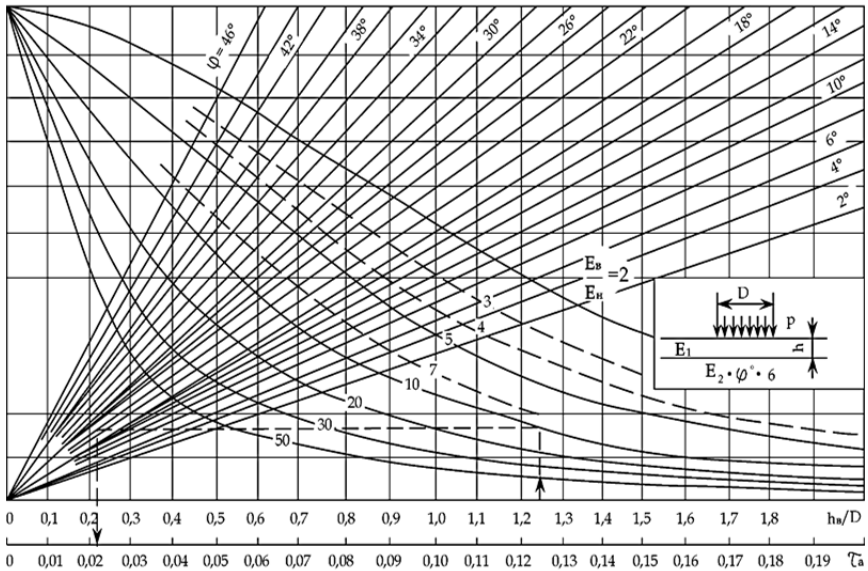


Рис. 4.14. Номограмма для определения активного напряжения сдвига $\bar{\tau}_a$ от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_n/D = 0-2,0$)

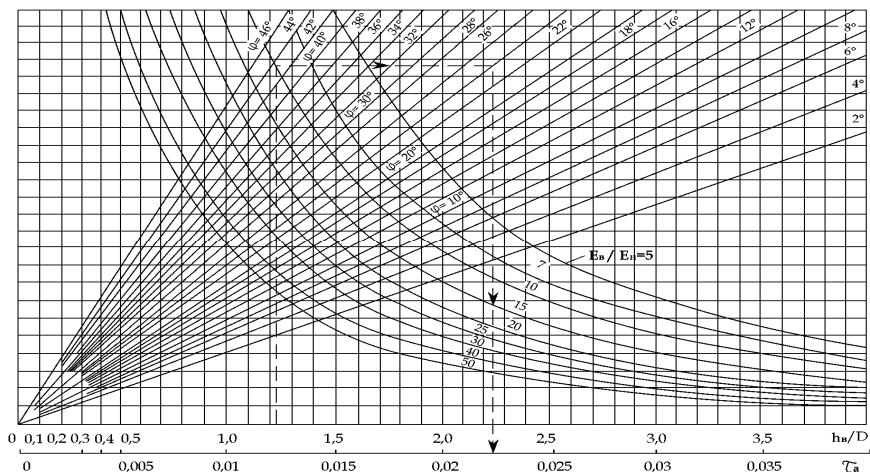


Рис. 4.15. Номограмма для определения активного напряжения сдвига $\bar{\tau}_a$ от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_B/D = 2-4,0$)

Для этого определим суммарную толщину вышележащих слоев h_B отношение h_B/D и средневзвешенный модуль упругости вышележащих слоев E_B . Значение модулей упругости асфальтобетона приняты при 20 °С:

$$h_B = 50 + 17 + 12 + 6 + 4 = 89 \text{ см};$$

$$h_B/D = 89/39 = 2,3.$$

Модуль упругости дорожной одежды принимают как средневзвешенный модуль пакета слоев, рассчитанный по формуле (4.13):

$$E_B = \frac{(4 \cdot 1200 + 6 \cdot 800 + 12 \cdot 600 + 17 \cdot 180 + 50 \cdot 120)}{(4 + 6 + 12 + 17 + 50)} = 296 \text{ МПа};$$

$$E_B/E_H = 296/21,2 = 13,96.$$

Угол внутреннего трения $\varphi_r = 10,4^\circ$ (по табл. 4.4).

По номограмме (рис. 4.16) (при $h_B/D \geq 2$) получим, что $\tau_a = 0,0115$.

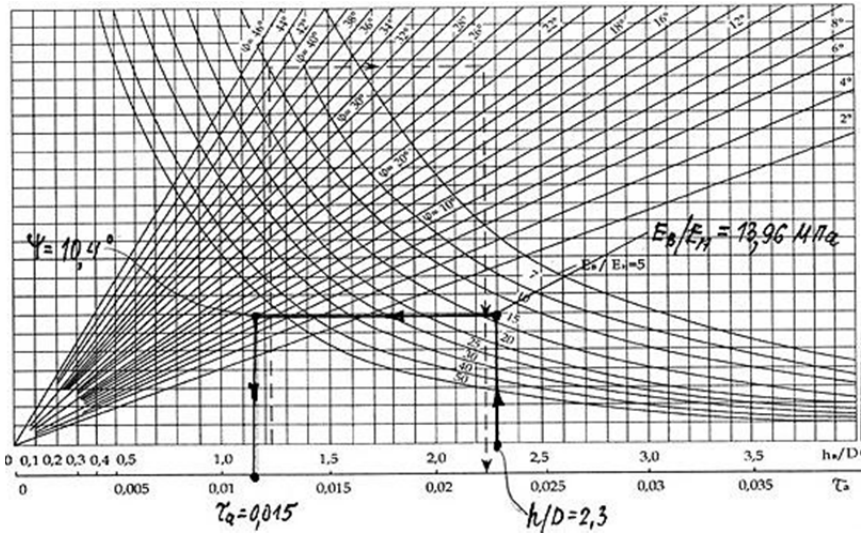


Рис. 4.16. Номограмма для определения активного напряжения сдвига $\bar{\tau}_a$ от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_b/D = 2-4,0$)

По номограмме (рис. 4.17) находим, что $\tau_B = 0,0017$ МПа.

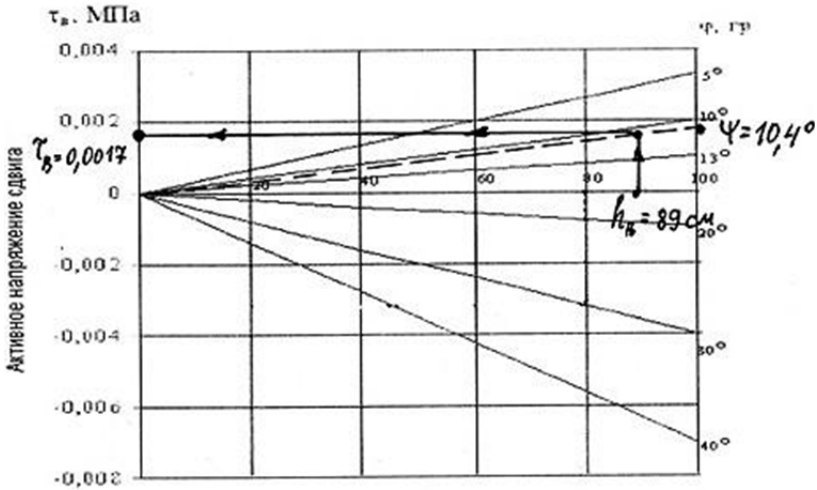


Рис. 4.17. Номограмма для определения активного напряжения сдвига $\bar{\tau}_a$ от собственного веса дорожной одежды

Подставляя все полученные значения в формулу (4.12), получим

$$T_a = 0,0115 \cdot 0,6 + 0,0017 = 0,0086 \text{ МПа.}$$

Определим предельное активное напряжение сдвигу $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя по формуле

$$T_{пр} = ck_1k_2,$$

Сцепление в грунте земляного полотна $c = 0,02$ МПа (см. табл. 4.4).
Коэффициент $k_1 = 6,0$ (по табл. 4.8).

Таблица 4.8

Значения коэффициента k_1

Материал вышележащего слоя	Коэффициент k_1
Укрепленный материал	$\frac{7,0}{5,5}$
Неукрепленный материал армированный геосеткой	$\frac{6,5}{5,0}$
Песок крупный	$\frac{6,0}{4,5}$
Песок средней крупности	$\frac{5,0}{4,0}$
Песок мелкий	$\frac{4,0}{3,0}$
Песок пылеватый, супеси песчанистые	$\frac{3,0}{1,5}$

Примечание. В числителе даны значения для случая расчета «дополнительный слой основания – несущий слой основания», в знаменателе – для случая расчета «грунт земляного полотна – основание дорожной одежды».

Коэффициент k_2 определим по рис. 4.18.

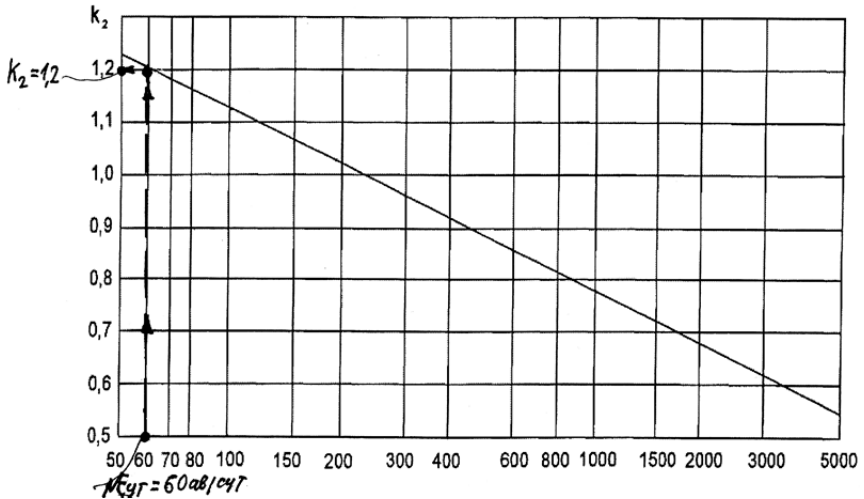


Рис. 4.18. Зависимость коэффициента k_2 от количества расчетных нагрузений за сутки $N_{сут}$

По формуле (4.11) найдем:

$$N_{сут} = 62\,680 / 130 \cdot 8 = 60 \text{ авт./сут.}$$

$T_{рдг}$ определяется по табл. 4.9.

Для IV категории дороги с капитальным типом покрытия при коэффициенте надежности 0,85 срок службы $T_{сл}$ составляет 8 лет.

$\sum N_p = 62\,680$ авт. Расчет см. в п. 1.2.2.

Таблица 4.9

Значения $T_{рдг}$ в зависимости от местоположения дороги

Дорожно-климатический район	$T_{рдг}$ при расчете на прочность дорожной одежды
1. Северный, влажный	125
2. Центральный	130
3. Южный, неустойчиво-влажный	135

Получаем, что $k_2 = 1,2$, тогда

$$T_{\text{пр}} = 0,02 \cdot 6 \cdot 1,2 = 0,144 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие $K_{\text{пр}}^{\text{тр}} \leq T_{\text{пр}} / T_a$.

$$K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 0,90 \text{ (по табл. 4.3)}$$

$$K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 0,9 \leq \frac{T_{\text{пр}}}{T_a} = \frac{0,144}{0,0086} = 16,7.$$

Условие выполняется. Следовательно, деформации сдвига в грунте отсутствуют.

Расчет подстилающего (дренирующего) слоя. Конструкцию представим в виде двухслойной системы (рис. 4.19).

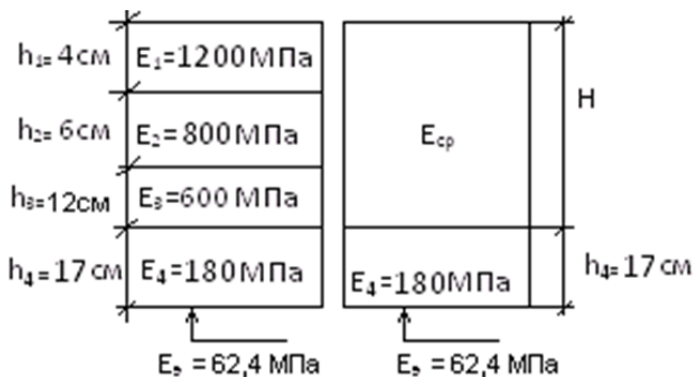


Рис. 4.19. Конструкция дорожной одежды для проверки сдвигустойчивости подстилающего слоя

Найдем расчетное активное напряжение сдвига по формуле

$$T_a = \bar{\tau}_a p + \tau_b.$$

τ_a – найдем по номограмме (рис. 4.20).

Для этого определим суммарную толщину вышележащих слоев h_B , отношение (h_B / D) и средневзвешенный модуль упругости вышележащих слоев E_B :

$$h_B = 17 + 12 + 6 + 4 = 39 \text{ см};$$

$$h_B / D = 39 / 39 = 1,0;$$

$$E_B = (4 \cdot 1200 + 6 \cdot 800 + 12 \cdot 600 + 17 \cdot 180) / (4 + 6 + 12 + 17) = 509 \text{ МПа};$$

$$E_B / E_3^{IV} = 509 / 62,4 = 8,16 /$$

Значение E_3^{IV} составит 62,4 МПа.

Угол внутреннего трения песка (табл. Пб.1 прил. 6) составит $\varphi_{II} = 35^\circ$.

По номограмме (см. рис. 4.20) $\tau_a = 0,022$.

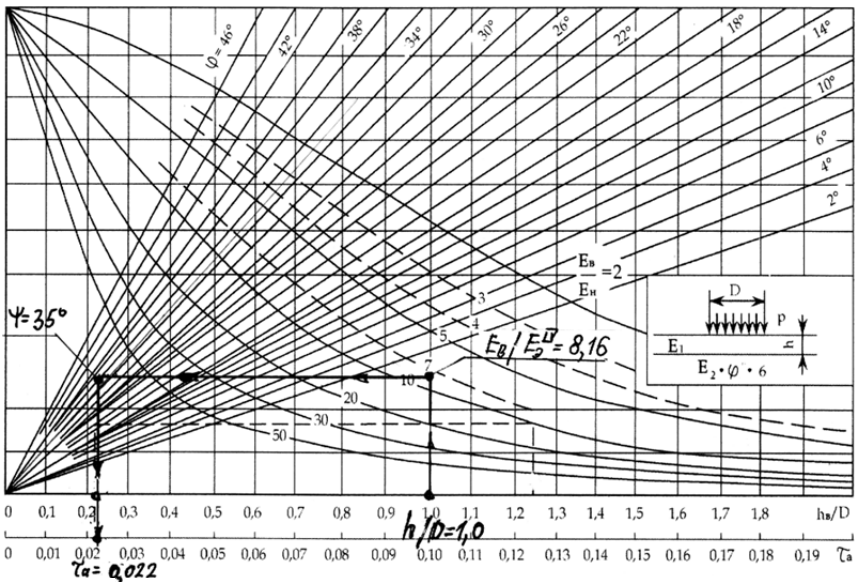


Рис. 4.20. Номограмма для определения активного напряжения сдвига $\bar{\tau}_a$ от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_B/D = 0-2,0$)

По номограмме (рис. 4.21) $\tau_B = -0,0022$ МПа.

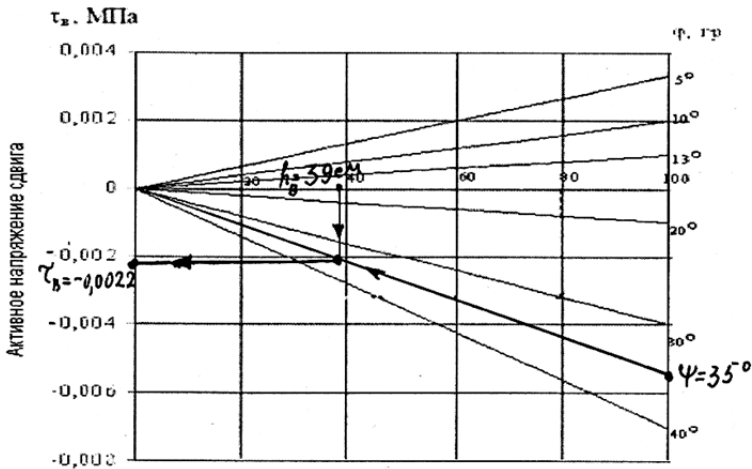


Рис. 4.21. Номограмма для определения активного напряжения сдвига $\bar{\tau}_B$ от собственного веса дорожной одежды

Подставляя полученные значения в формулу, получим

$$T_a = 0,022 \cdot 0,6 - 0,0022 = 0,011 \text{ МПа.}$$

Определим предельное активное напряжение сдвигу $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя по формуле (4.10).

Сцепление в песчаном слое $c = 0,004$ МПа.

Коэффициент $k_1 = 7,0$ (см. табл. 4.8).

Коэффициент $k_2 = 1,2$ определим по графику (рис. 4.18) (зависимость коэффициента k_2 от количества расчетных нагружений за сутки $N_{сут}$).

По формуле (4.11) найдем:

$$N_{сут} = 62\,680 / 130 \cdot 8 = 60 \text{ авт./сут.};$$

$$T_{пр} = 0,004 \cdot 7,0 \cdot 1,2 = 0,034 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие $K_{пр}^{тр} \leq T_{пр}/T_a$.

$K_{пр}^{тр}$ по табл. 4.3 составляет 0,90:

$$K_{пр}^{тр} = 0,90 \leq \frac{T_{пр}}{T_a} = \frac{0,034}{0,011} = 3,09.$$

Условие выполняется. Таким образом, корректировка конструкции дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости не требуется.

Расчет нижнего слоя основания из песчано-гравийной смеси. Конструкцию представим в виде двухслойной системы (рис. 4.22).

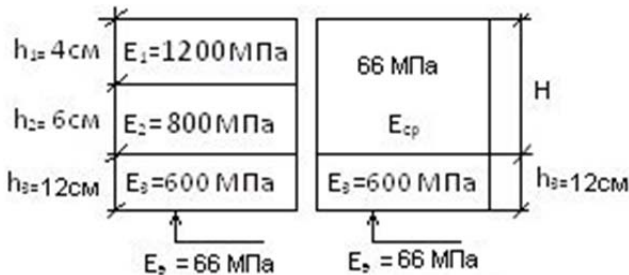


Рис. 4.22. Конструкция дорожной одежды для проверки сдвигоустойчивости нижнего слоя основания из песчано-гравийной смеси (ПГС)

Найдем расчетное активное напряжение сдвига по формуле

$$T_a = \bar{\tau}_a p + \tau_b.$$

τ_b – найдем по номограмме (рис. 4.24).

Для этого определим суммарную толщину вышележащих слоев h_b , отношение h_b/D и средневзвешенный модуль упругости вышележащих слоев E_b :

$$h_b = 12 + 6 + 4 = 22 \text{ см};$$

$$h_b/D = 22 / 39 = 0,56;$$

$$E_b = (4 \cdot 1200 + 6 \cdot 800 + 12 \cdot 600) / (4 + 6 + 12) = 764 \text{ МПа};$$

$$E_b/E_3^{\text{III}} = 764 / 66 = 11,58.$$

Значение $E_9^{\text{III}} = 66 \text{ МПа}$ рассчитываем по методике п. 4.1.4 (рис. 4.23).

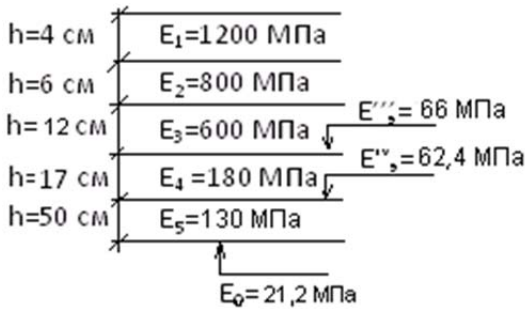


Рис. 4.23. Нахождение E_9^{III}

Определяем эквивалентный модуль на поверхности нижнего слоя покрытия E_9^{I} :

$$K_2 = h_1 / D = 4 / 39 = 0,1;$$

$$K_1 = E_{\text{общ}} / E_1 = 132 / 1200 = 0,11.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $E_9^{\text{I}} / E_1 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,09$:

$$E_9^{\text{I}} = E_1 K_3 = 1200 \cdot 0,09 = 108 \text{ МПа}.$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности верхнего слоя основания E_9^{II} :

$$K_2 = h_2 / D = 6 / 39 = 0,15;$$

$$K_1 = E_9^{\text{I}} / E_2 = 108 / 800 = 0,14.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $E_9^{\text{II}} / E_2 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,12$:

$$E_9^{\text{II}} = E_2 K_3 = 800 \cdot 0,12 = 96 \text{ МПа}.$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности нижнего основания E_3^{III} :

$$K_2 = h_3 / D = 12 / 39 = 0,31;$$

$$K_1 = E_3^{\text{II}} / E_3 = 96 / 600 = 0,16.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение E_3^{III} / E_3 (K_3), $K_3 = 0,11$:

$$E_3^{\text{III}} = E_3 K_3 = 600 \cdot 0,11 = 66 \text{ МПа.}$$

Угол внутреннего трения ПГС (по табл. 4.3) составит $\varphi_{\text{пгс}} = 41^\circ$.
По номограмме (рис. 4.24) при $h_b / D = 0-2,0$ $\tau_a = 0,033$.

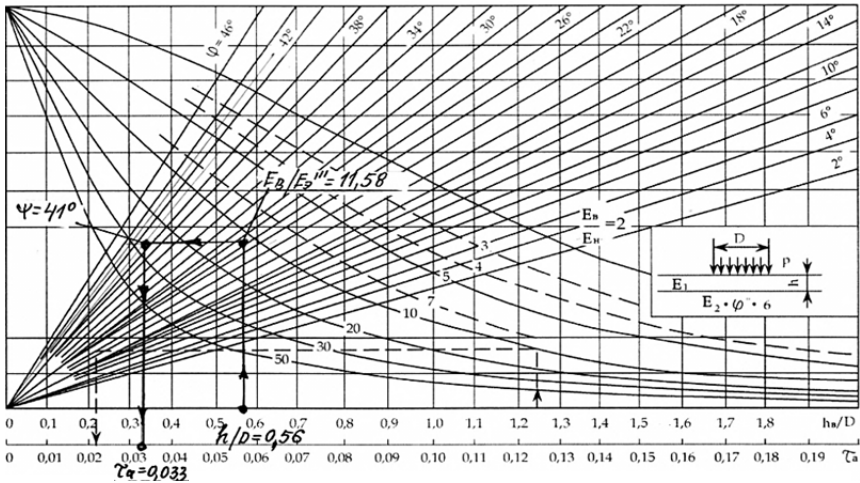


Рис. 4.24. Номограмма для определения активного напряжения сдвига $\bar{\tau}_a$ от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при $h_b / D = 0-2,0$)

По номограмме (рис. 4.25) $\tau_b = -0,0017$ МПа.

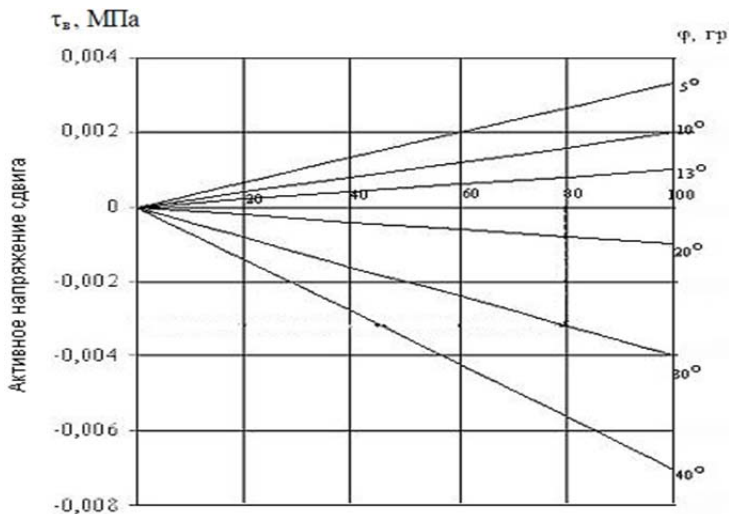


Рис. 4.25. Номограмма для определения активного напряжения сдвига τ_b от собственного веса дорожной одежды

Подставляя все полученные значения в формулу, получим:

$$T_a = 0,033 \cdot 0,6 - 0,0017 = 0,0181 \text{ МПа.}$$

Определим предельное активное напряжение сдвигу $T_{пр}$ в ПГС нижнего слоя основания по формуле (4.10).

Сцепление в слое ПГС $c = 0,02$ МПа.

Коэффициент $k_1 = 6,5$ (см. табл. 4.8).

Коэффициент $k_2 = 1,2$ определим по графику (см. рис. 4.18).

По формуле (4.11) найдем:

$$N_{сут} = 62\,680 / 130 \cdot 8 = 60 \text{ авт./сут.}$$

Для IV категории дороги с капитальным типом покрытия при коэффициенте надежности 0,85 срок службы $T_{сл}$ составляет 8 лет.

$$\sum N_p = 62\,680 \text{ авт.};$$

$$T_{пр} = 0,02 \cdot 6,5 \cdot 1,2 = 0,156 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие $K_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \leq T_{\text{пр}}/T_a$.

$K_{\text{пр}}$ (по табл. 4.3) составляет 0,90:

$$K_{\text{пр}} = 0,90 \leq \frac{T_{\text{пр}}}{T_a} = \frac{0,156}{0,0181} = 8,6.$$

Условие выполняется. Следовательно, деформации сдвига в нижнем слое основания из песчано-гравийной смеси отсутствуют.

Таким образом, корректировка конструкции дорожной одежды по критерию сдвигоустойчивости не требуется.

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

Недостаточная устойчивость материалов конструктивных слоев к усталостным деформациям проявляется в виде сетки трещин с шагом 10–50 см, или силовых трещин. Усталостные деформации обусловлены повторными воздействиями транспортной нагрузки, накоплением повреждаемости в структуре материала и последующим разрушением.

В монолитных слоях дорожной одежды напряжения, возникающие при прогибе дорожной одежды под действием кратковременных повторных нагружений, не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин. Для этого должно выполняться следующее условие:

$$k_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \leq R_{\text{доп}}/\sigma_r,$$

где $k_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$ – требуемый коэффициент прочности с учетом заданного коэффициента надежности;

$R_{\text{доп}}$ – предельно допустимое напряжение изгиба материала слоя с учетом усталости, определяемое расчетом, МПа;

σ_r – наибольшее напряжение растяжения, определяемое расчетом, МПа.

При наличии укрепленного основания двухслойное асфальтобетонное покрытие рассчитываем, как однослойное, в виде пакета.

Рассмотрим конструкцию дорожной одежды для расчета на устойчивость усталостным деформациям (рис. 4.26).

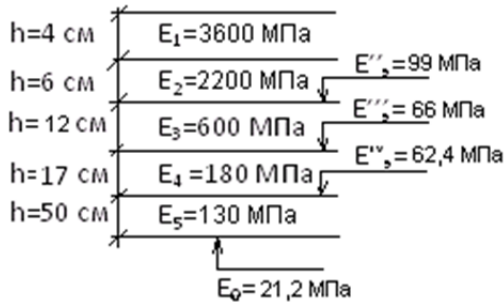


Рис. 4.26. Конструкция дорожной одежды для расчета на устойчивость усталостным деформациям

Данная конструкция при расчете на сдвигоустойчивость отличается от рассматриваемой параметрами модулей упругости асфальтобетона ($E_1 = 3600$ МПа и $E_2 = 2200$ МПа), которые принимаем при температуре 0°C (табл. 4.4).

Для данной конструкции асфальтобетонный слой (нижний слой покрытия) и укрепленное основание проверяем на устойчивость усталостным деформациям. Значения эквивалентных модулей, подстилающих монолитные слои E_3 , определяем по методике п. 4.2.1.

Определяем эквивалентный модуль на поверхности нижнего слоя покрытия E_3^I :

$$K_2 = h_1 / D = 4 / 39 = 0,1;$$

$$K_1 = E_{\text{общ}} / E_1 = 132 / 3600 = 0,037.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение E_3^I / E_1 (K_3), $K_3 = 0,035$:

$$E_3^I = E_1 K_3 = 3600 \cdot 0,035 = 126 \text{ МПа}.$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности верхнего слоя основания E_3^{II} :

$$K_2 = h_2 / D = 6 / 39 = 0,15;$$

$$K_1 = E_3^I / E_2 = 126 / 2200 = 0,057.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение E_3^{II}/E_2 (K_3), $K_3 = 0,045$:

$$E_3^{\text{II}} = E_2 K_3 = 2200 \cdot 0,045 = 99 \text{ МПа.}$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности нижнего основания E_3^{III} :

$$K_2 = h_3 / D = 12 / 39 = 0,31;$$

$$K_1 = E_3^{\text{II}} / E_3 = 99 / 600 = 0,165.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение E_3^{III}/E_3 (K_3), $K_3 = 0,11$:

$$E_3^{\text{III}} = E_3 K_3 = 600 \cdot 0,11 = 66 \text{ МПа.}$$

Рассматривая пакет слоев покрытия, конструкцию дорожной одежды приводим к двухслойной (рис. 4.27).

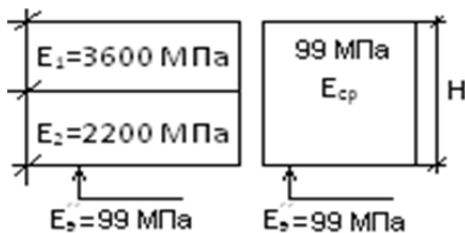


Рис. 4.27. Схема приведения конструкции дорожной одежды к двухслойной системе

Суммарная толщина асфальтобетонных слоев:

$$H = 4 + 6 = 10 \text{ см.}$$

Средневзвешенный модуль упругости пакета асфальтобетонных слоев определим по формуле (4.13).

$$E_{\text{ср.в}} = (4 \cdot 3600 + 6 \cdot 2200) / 10 = 2760 \text{ МПа.}$$

Эквивалентный модуль упругости полупространства, подстилающего асфальтобетонные слои, равен E_3^{II} и составляет 99 МПа (рис. 4.27).

Проверяем условие прочности:

$$k_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \leq R_{\text{доп}} / \sigma_r.$$

Допустимые растягивающие напряжения при изгибе асфальтобетона $R_{\text{доп}}$ определяют по формуле (4.15).

По табл. 4.10 значение R_u для нижнего слоя покрытия составит 7,8 МПа.

Таблица 4.10

Коэффициент нормированного отклонения t

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

В данном случае $t = 1,06$ (по табл. 4.10).

Коэффициент учета снижения прочности во времени от действия природно-климатических факторов k_M принимается по табл. 4.11. Для пористого асфальтобетона $k_M = 0,85$.

Коэффициент учета снижения прочности материала в конструкции в результате температурных воздействий k_T принимается по табл. 4.11. Для пористого асфальтобетона $k_T = 0,9$.

Таблица 4.11

Значения коэффициентов k_M и k_T

Материал покрытия	k_M	k_T
Асфальтобетон на модифицированном вяжущем	1,00	1,00
Асфальтобетон плотный:		
1 марки	1,00	0,90
2 марки	0,95	0,85
3 марки	0,85	0,80
Асфальтобетон пористый		
1 марки	0,85	0,90
2 марки	0,80	0,80
Асфальтобетон высокопористый	0,70	0,70

Коэффициент учета кратковременности и повторности нагружения на дорогу $K_{\text{кн}}$ определяется по формуле

$$k_{\text{кн}} = \alpha \sum N_{\text{р}}^{-(1/m)},$$

где α – коэффициент, учитывающий повторность нагружения в расчетный период года, $\alpha = 8,6$ (по табл. 4.10);

m – показатель усталости материала, $m = 4,0$ (по табл. 4.10);

$\sum N_{\text{р}}$ – суммарное расчетное число приложения приведенной расчетной нагрузки к расчетной точке на поверхности дорожной конструкции за расчетный срок службы осей, $\sum N_{\text{р}} = 62\,680$ осей.

$R_{\text{доп}}$ определяется по формуле (4.15).

$$k_{\text{кн}} = 8,6 \cdot (62\,680^{-(1/4)}) = 0,54.$$

$$R_{\text{доп}} = 7,8 (1 - 0,1 \cdot 1,06) 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,54 = 2,9 \text{ МПа}.$$

Полное растягивающее напряжение σ_r , МПа, определяют по формуле (4.18). Принимаем $K_6 = 0,85$.

Определяем отношение:

$$E_{\text{ср}} / E_3^{\text{II}} = 2760 / 99 = 27,9;$$

$$H / D = 10 / 39 = 0,26.$$

По номограмме для определения растягивающего напряжения при изгибе от одиночного нагружения в верхнем монолитном слое дорожной одежды (рис. 4.28) найдем $\bar{\sigma}_r$:

$$\bar{\sigma}_r = 3,3 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_r = 3,3 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 1,68.$$

Коэффициент прочности составляет 0,90 (по табл. 4.3).

Проверяем условие прочности:

$$k_{\text{пр}}^{\text{TP}} \leq R_{\text{доп}} / \sigma_r;$$

$$0,90 \leq 2,9 / 1,68 = 1,73.$$

Условие выполняется.

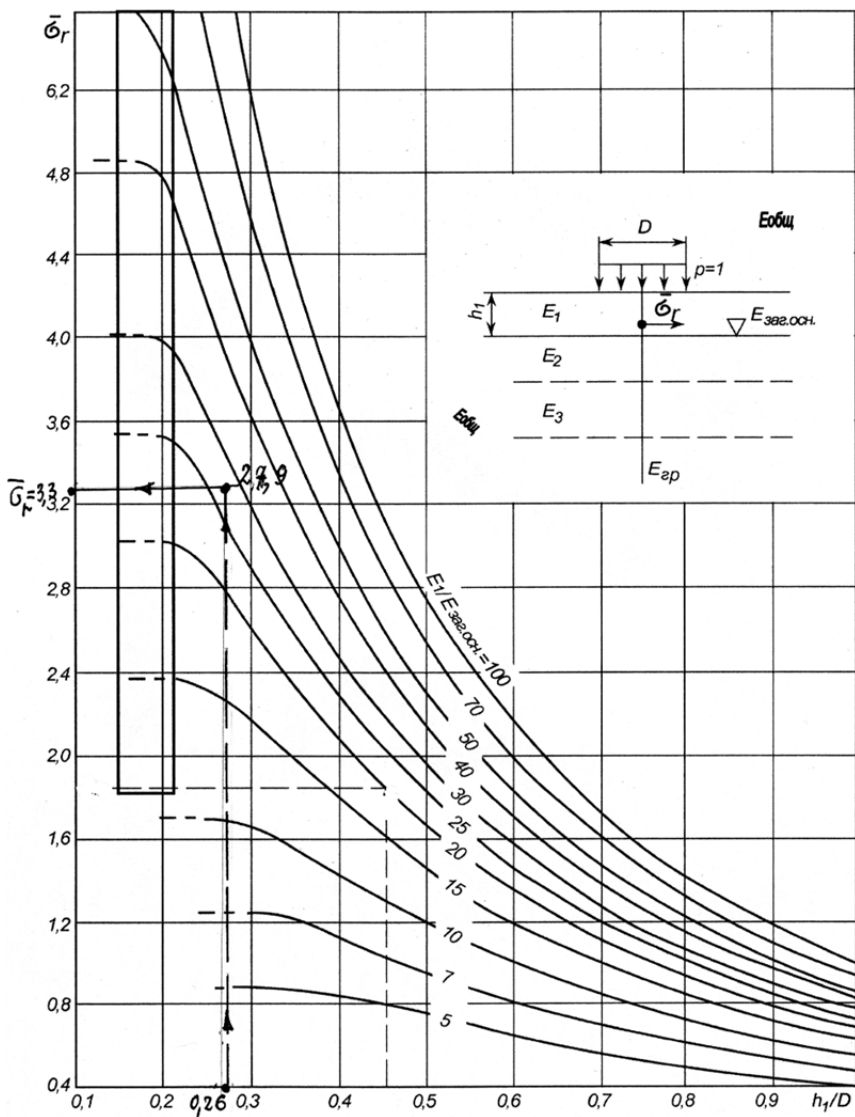


Рис. 4.28. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ при изгибе от одиночного нагружения в верхнем монолитном слое дорожной одежды

Проверяем условие устойчивости монолитного основания из ПГС, укрепленной цементом (рис. 4.29).

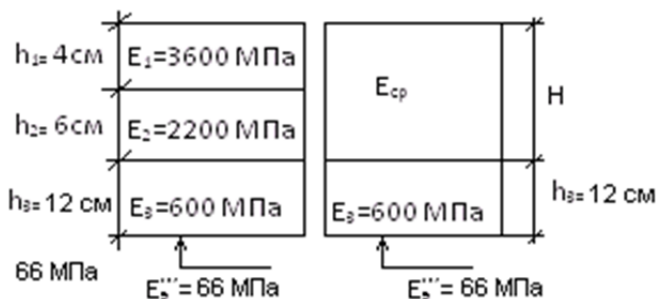


Рис. 4.29. Расчетная схема приведения конструкции к двухслойной при расчете промежуточного слоя

Проверяем условие:

$$k_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \leq R_{\text{доп}} / \sigma_r.$$

Для монолитных оснований $R_{\text{доп}}$ определяем по формуле (4.17).

$$R_{\text{доп}} = R_u = 0,4 \text{ МПа (табл. 4.10).}$$

По номограмме для определения растягивающего напряжения в промежуточном монолитном слое дорожной одежды (рис. 4.30) определим $\bar{\sigma}_r$.

Значение E_1 равно средневзвешенному модулю пакета асфальтобетона и составит 2760 МПа; $E_2 = 600$ МПа (табл. 4.10).

Суммарная толщина слоев $H = 4 + 6 + 12 = 22$ см.

E_3 соответствует эквивалентному модулю подстилающего полу-пространства E_3^{III} и составляет 66 МПа.

Определяем отношение

$$H / D = 22 / 39 = 0,56;$$

$$E_1 / E_2 = 2760 / 600 = 4,6;$$

$$E_2 / E_3 = 600 / 66 = 9,09.$$

По номограмме (см. рис. 4.30) $\bar{\sigma}_r = 0,55$ МПа.

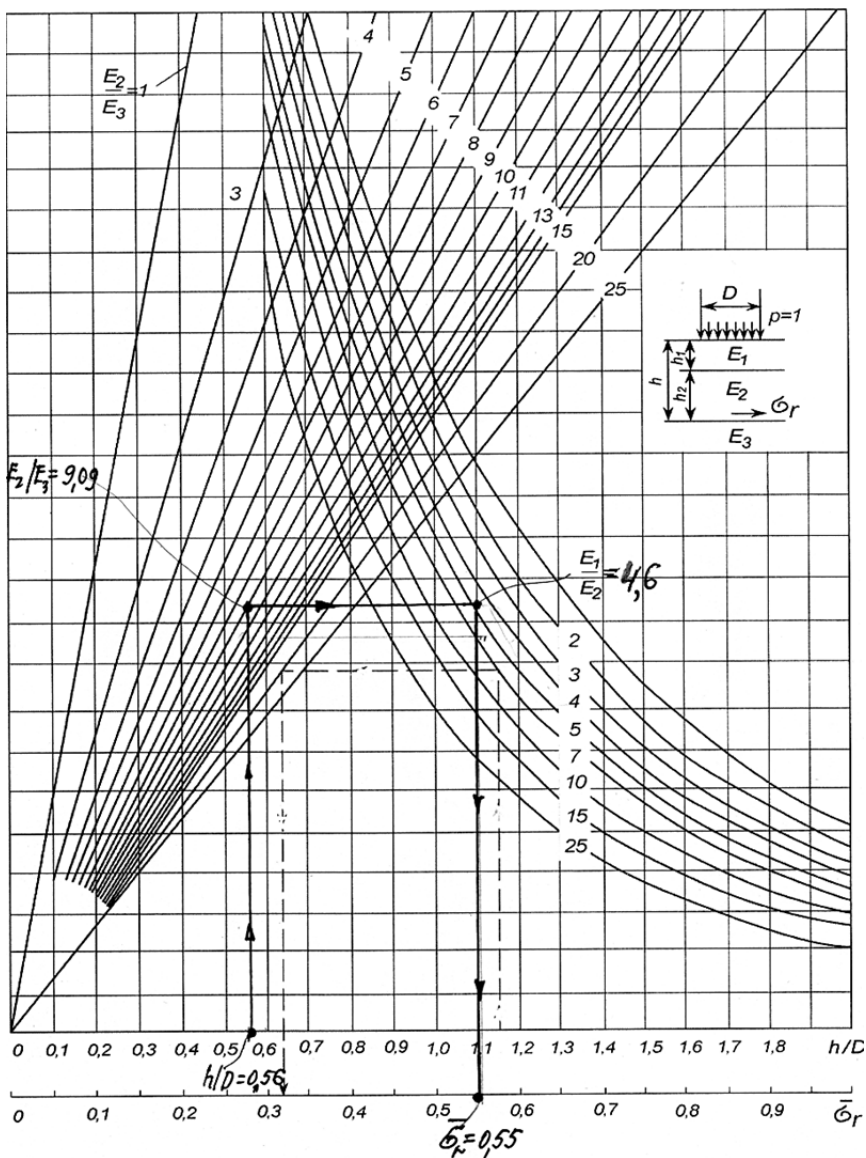


Рис. 4.30. Номограмма для определения растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ в промежуточном монолитном слое дорожной одежды

Расчетное напряжение:

$$\sigma_r = 0,55 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 0,28 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие:

$$k_{\text{пр}}^{\text{тр}} \leq R_{\text{доп}} / \sigma_r ;$$

$$0,90 \leq 0,4 / 0,28 = 1,43.$$

Условие выполняется.

4.2.4. Обеспечение морозоустойчивости дорожных одежд и земляного полотна

В условиях избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов, характерных для Беларуси, наряду с обеспечением требуемой прочности и осушения конструкции необходимо, чтобы конструкция была морозоустойчива.

Специальные меры по морозозащите требуются, когда земляное полотно возводится из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов. В этом случае толщина стабильных слоев дорожной одежды из условия морозоустойчивости не должна быть меньше значений, приведенных на рис. 4.31, в зависимости от района строительства дороги.

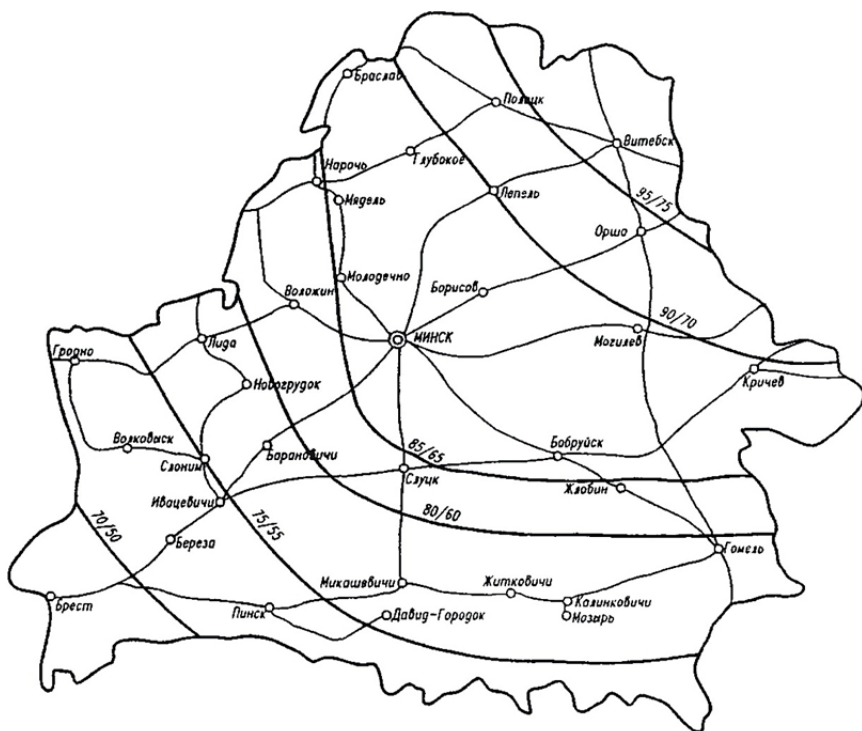


Рис. 4.31. Карта изолиний минимально допустимых толщин стабильных слоев дорожной конструкции из условий морозостойчивости при земляном полотне, сложенном из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов.

В числителе – для капитальных дорожных одежд,
в знаменателе – для облегченных

Расчет дорожной одежды на морозостойчивость

Проверим критерий морозостойкости дорожной одежды, так как грунт земляного полотна автомобильной дороги – глины, по степени пучинистости относящиеся к пучинистым грунтам.

Условие морозостойчивости

$$H_{\text{факт}} \geq H_{\text{доп}},$$

где $H_{\text{факт}}$ – фактическая толщина дорожной одежды;

$$H_{\text{факт}} = \sum h_i,$$

где h_i – толщины конструктивных слоев дорожной одежды;

$H_{\text{доп}}$ – требуемая (допустимая) толщина дорожной одежды, определяемая по рис. 4.31.

Определим фактическую толщину дорожной одежды:

$$\begin{aligned} H_{\text{факт}} &= \sum h_i = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = \\ &= 4 + 6 + 12 + 17 + 50 = 89 \text{ см.} \end{aligned}$$

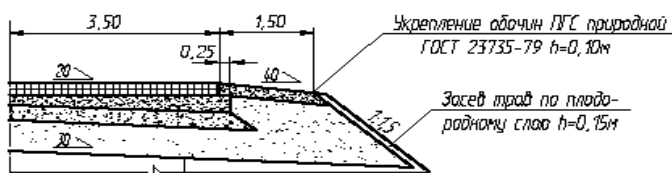
Требуемую толщину дорожной одежды определим по рис. 4.31. Для Минского района требуемая толщина составляет 85 см.

Проверяем критерий морозостойкости дорожной одежды: $89 \text{ см} \geq 85 \text{ см}$ – условие выполняется, корректировка дорожной одежды не требуется.

5. СОСТАВЛЕНИЕ КАРТОЧКИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Проектирование дорожной одежды нежесткого типа заканчивается составлением чертежа дорожной одежды на листе формата А4 (рис. 5.1).

Конструкция дорожной одежды



Песок с/з по ГОСТ 8736-93	0,50
ПГС	0,17
ПГС, укрепленная цементом	0,12
Асфальтобетон пористый крупнозернистый щебеночный марки И по ГОСТ 1033-2004	0,06
Асфальтобетон щебеночный мелко зернистый горячий плотный типа Б марки И по СТБ 1033-2004	0,04

Формы расхода материалов на 1000 м² покрытия (обочины)

Тип дорожной одежды	Наименование работ	Расход материалов				Обозначение
		А/Б м/з горячий плотный тип Б марки И.д	А/Б м/з порист. марки И, 7	ПГС, тип 22 по ГОСТ 25605-04	Песок с/з по ГОСТ 8736-93, м ³	
1	Верхний слой покрытия, 4 см	150				По расчету
1	Нижний слой покрытия, 6 см		225			По расчету
1	Основание из ПГС, укрепленной цементом, 12 см			120		По расчету
	Основание из ПГС, 17			180		По расчету
1	Несущий слой, 50 см			1134		По расчету
	Укрепление обочины				100	По расчету

Курсовой проект "Проектирование дорожной одежды"				
Дисциплина "Проектирование автомобильных дорог"				
№	Лист	И докум.	Подпись	Дата
Конструкция дорожной одежды				
Рис.	Лист	КП	1	1
Исполн.	Василько В.А.	Дорога IV категории		
Исполн.	Александр	МО РБ, БНТУ, ФТК кафедра "Проектирование дорог"		

Рис. 5.1. Чертеж дорожной одежды

Для заполнения таблицы «Нормы расхода материалов на 1000 м² покрытия (обочины)» рассчитываем площади поперечного сечения каждого слоя на 1000 м² покрытия. Для монолитных материалов определяем расход в тоннах, для несвязных материалов – в м³.

Расчет для монолитных материалов для верхнего слоя покрытия

Площадь поперечного сечения слоя толщиной 0,04 см:

$$S = (2 (b/2 + c + a)) h = 2 (3 + 0,5 + 0,25 + 1,5) 0,04 = 0,42 \text{ м}^2,$$

где b , c , a – ширина проезжей части, краевой полосы и обочины соответственно;

$h = 0,04$ м – толщина слоя.

Объем материала на 1000 м² получим в виде

$$V = Sp1000 / (2 (b/2 + c)), \text{ т},$$

где p – плотность материала. Плотность асфальтобетона принимаем равной 2,5 т/м³, других материалов – 2,2 т/м³.

$$V = 0,42 \cdot 2,5 \cdot 1000 / (2 (3 + 0,5)) = 150 \text{ т}.$$

Расчет для монолитных материалов для нижнего слоя покрытия

Площадь поперечного сечения слоя толщиной 0,06 м:

$$S = (2 (b/2 + c + a)) h = 2 (3 + 0,5 + 0,25 + 1,5) 0,06 = 0,63 \text{ м}^2,$$

$h = 0,06$ м – толщина слоя.

Объем материала на 1000 м² получим в виде

$$V = Sp1000 / (2 (b/2 + c)), \text{ т},$$

где $p = 2,5$ т/м³ – плотность материала.

$$V = 0,63 \cdot 2,5 \cdot 1000 / (2 (3 + 0,5)) = 225 \text{ т}.$$

Норма расхода на 1000 м² покрытия из ПГС, укрепленной цементом для устройства основания:

$$S = 2 ((b/2 + c + 0,25)) h = 2 ((3 + 0,5 + 0,25)) 0,12 = 0,9 \text{ м}^2;$$

$$V = S1000 / (2 (b/2 + c)), \text{ м}^3;$$

$$V = 0,9 \cdot 1000 / (2 (3 + 0,5)) = 129 \text{ м}^3.$$

Норма расхода на 1000 м² покрытия из неукрепленной ПГС, для устройства основания.

Площадь поперечного сечения слоя неукрепленной ПГС определим через площадь трапеции (рис. 5.2).

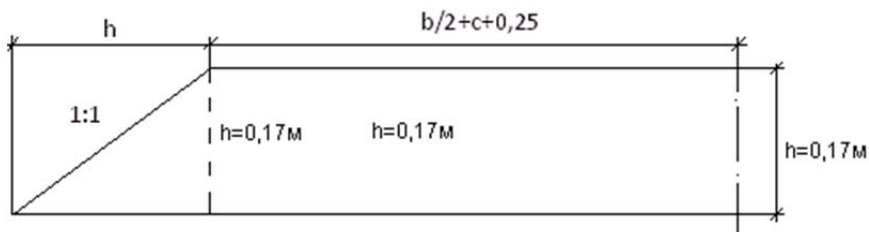


Рис. 5.2. Схема для расчета площади поперечного сечения основания из ПГС

$$S = 2 (((b/2 + c + 0,25) + (b/2 + c + 0,25 + h)) / 2) h =$$

$$= ((3 + 0,5 + 0,25) + (3 + 0,5 + 0,25 + 0,17)) 0,17 = 1,3 \text{ м}^2;$$

$$V = 1,3 \cdot 1000 / (2 (3 + 0,5)) = 186 \text{ м}^3.$$

Расчет нормы расхода на 1000 м² покрытия песка к/з для устройства дренарующего слоя

Площадь поперечного сечения складывается из двух трапеций и двух треугольников (рис. 5.3).

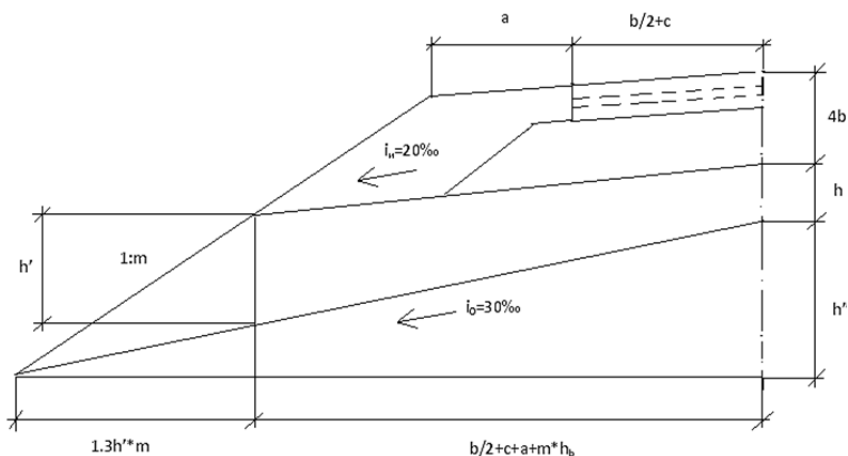


Рис. 5.3. Схема для расчета площади поперечного сечения песчаного слоя

Определим толщину дренирующего слоя на откосе:

$$H^1 = (b/2 + c + a + h_B m) (i_0 - i_n) + h;$$

$$H^1 = (3 + 0,5 + 1,5 + 0,48 \cdot 4) (0,03 - 0,02) + 0,5 = 0,57 \text{ м.}$$

Определим площадь трапеции:

$$\begin{aligned} S_T &= (h^1 + h) (b/2 + c + a + h_B m) / 2 = \\ &= (0,5 + 0,57) (3 + 0,5 + 1,5 + 4 \cdot 0,48) / 2 = 3,7 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Площадь треугольника определим по приближенной формуле

$$S_{TK} = 0,75 (h^1)^2 m = 0,75 (0,57)^2 4 = 0,97 \text{ м}^2.$$

Общая площадь дренирующего слоя

$$S = 2 (S_T + S_{TK}) = 2 (3,7 + 0,97) = 9,34 \text{ м}^2.$$

Расход на 1000 м² покрытия

$$V = S \cdot 1000 / 7 = 9,34 \cdot 1000 / 7 = 1334 \text{ м}^3.$$

Норма расхода на 1000 м² обочины из ПГС природной:

$$S = (1,5 \cdot 0,1) \cdot 2 = 0,3 \text{ м}^2;$$

$$V = S \cdot 1000 / 7 = 0,3 \cdot 1000 / (2 \cdot 1,5) = 100 \text{ м}^3.$$

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ

6. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ДИАГНОСТИКА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ. НАЗНАЧЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С ОТРАЖЕННЫМИ ДЕФЕКТАМИ

6.1. Основы теории

6.1.1. Общие положения капитального ремонта и реконструкции дорожных одежд

При реконструкции дорожной одежды и проезжей части изменяют геометрические элементы проезжей части (уширение), а также увеличивают толщину существующей дорожной одежды (усиление) (рис. 6.1). При капитальном ремонте производится только усиление. Изменение геометрических элементов дорожной одежды и проезжей части в целом может выполняться двумя способами:

- симметричным, двусторонним уширением (см. рис. 6.1);
- несимметричным, односторонним уширением (рис. 6.2).

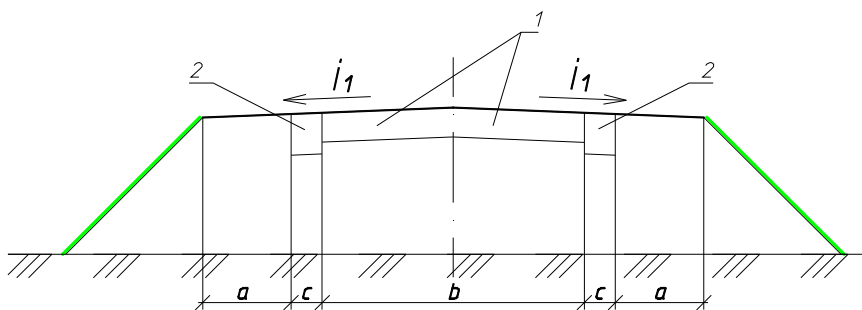


Рис. 6.1. Конструкция проезжей части при реконструкции дорожной одежды:
 1 – существующая дорожная одежда со слоями усиления; 2 – новая дорожная
одежда в ровиках уширения; b – ширина проезжей части;
 c – уширение проезжей части; a – ширина обочины

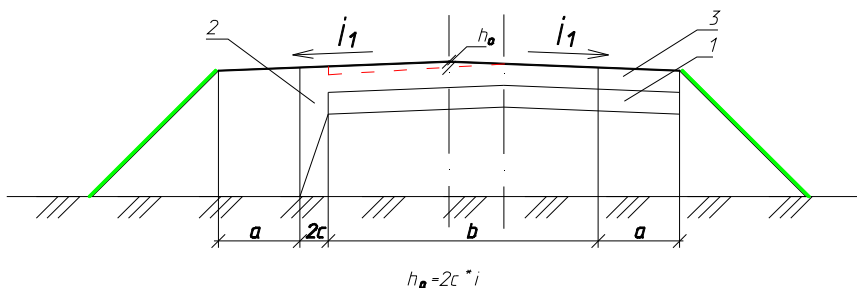


Рис. 6.2. Конструкция проезжей части при двустороннем уширении

Каждый из отмеченных способов имеет свои достоинства и недостатки. При одностороннем уширении сохраняется ось дороги, что упрощает разбивочные и геодезические работы, обеспечивает минимальный расход материалов. В то же время ввиду небольших размеров уширения усложняется технология производства работ по устройству конструктивных слоев и их уплотнению. При двустороннем уширении технологические проблемы снижаются. Однако увеличивается расход материалов и стоимость работ. Это связано с необходимостью увеличения толщины покрытия на h_0 (см. рис. 6.2) для обеспечения поперечного профиля проезжей части.

В пределах уширения устраивается новая конструкция дорожной одежды, параметры которой соответствуют перспективному составу и интенсивности движения транспортного потока. Расчет дорожной одежды ведут как новой (по методике раздела «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве»). Расчет усиления существующей дорожной одежды имеет ряд особенностей, связанных с использованием существующих конструктивных слоев и их взаимодействием с новыми слоями. Поэтому в данном разделе основное внимание будет уделено конструированию и расчету усиления дорожных одежд.

В случае реконструкции или капитального ремонта нежестких дорожных одежд необходимо выполнить:

- состояние конструктивных слоев дорожной одежды обследовать в соответствии с П2 к СНБ 1.02.01 и [5].
- на основании данных обследования принять решение о сохранении, частичном или полном удалении материала конструктивных слоев дорожной одежды.

На ремонтируемых участках, где сохраняют или используют старую дорожную одежду, проектирование ведут на основе детальных данных по конструкции существующей дорожной одежды, состоянию ее конструктивных слоев и оценке способности этих слоев выполнять свои функции. Для получения исходных данных существующая дорожная одежда и рабочий слой земляного полотна должны быть обследованы с выполнением комплекса работ, предусмотренных П2 к СНБ 1.02.01, а также георадарных, буровых и других видов исследований, позволяющих получить необходимую информацию.

При разработке проектного решения должны быть рассмотрены следующие вопросы:

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

6.1.2. Диагностика материала покрытия и дорожной одежды

При назначении вида ремонта реконструируемых и капитально ремонтируемых магистральных и республиканских дорог дополнительно к обследованию по П2 к СНБ 1.02.01 определяют:

- показатель дефектности (ДП) существующей дорожной одежды по [6] (в долях единицы);
- толщины слоев по [7] с использованием георадарных технологий, а также их расчетные характеристики;
- характеристики грунта и материала дренирующего слоя;
- фактический модуль упругости дорожной одежды по [6];

– оценку ровности дорожного покрытия по СТБ 1566 с приведением результатов измерений к индексу ровности IRI .

Значение допустимого индекса ровности $IRI_{\text{доп}}$ в зависимости от срока службы дорожной одежды и категории дороги определяют по формуле

$$IRI_{\text{доп}} = IRI_0 \exp(Bt), \quad (6.1)$$

где IRI_0 – начальная ровность дорожного покрытия, определяемая по табл. 6.1, мм/м;

B – коэффициент приведения, определяемый по табл. 6.1, год⁻¹.

t – срок службы покрытия после окончания строительства, реконструкции или капитального ремонта, г.

Таблица 6.1

Значение показателя IRI_0 и коэффициента B

Категория дороги	I	II	III	IV
IRI_0 , мм/м	1,5	2,0	2,0	2,5
B , год ⁻¹	0,0559	0,0644	0,0677	0,0403

На основании обследования дорожной одежды коэффициент надежности существующей дорожной одежды K_n определяют по формуле

$$K_n = 1 - \text{ДП}, \quad (6.2)$$

где ДП – показатель дефектности существующей дорожной одежды (в долях единицы с точностью 0,10).

Виды ремонтных работ назначаются в зависимости от состояния дорожной одежды, определяемого ровностью покрытия по индексу IRI , коэффициентом надежности существующей дорожной одежды K_n и фактическим модулем упругости конструкции E_f .

Значения допустимого коэффициента надежности существующей дорожной одежды $K_n^{\text{доп}}$ в зависимости от категории дороги.

В случае, если

$$\begin{aligned}IRI_{\phi} &> IRI_{\text{доп}}; \\K_{\text{н}} &< K_{\text{н}}^{\text{доп}}; \\E_{\phi} &< 0,7E_{\text{тр}},\end{aligned}\tag{6.3}$$

проектируют следующие варианты ремонтных мероприятий:

Вариант I – демонтаж покрытия и несущего слоя основания дорожной одежды с дальнейшим устройством несущих слоев основания и новых слоев покрытия.

Вариант II – полный демонтаж дорожной одежды с устройством дренирующих и морозозащитных слоев основания дорожной одежды, несущих слоев основания и новых слоев покрытия.

Вариант III – полный демонтаж дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна. Переустройство рабочего слоя земляного полотна и слоев дорожной одежды.

При усилении существующей дорожной одежды по варианту I в конструкции дорожной одежды предусматривают устройство выравнивающего слоя, нижнего и верхнего слоя покрытия (слоя износа). Выравнивающий слой может быть запроектирован совместно с нижним, если общая толщина слоев усиления не превышает 0,10 м.

Вариант I назначают в случае обеспечения дренирующей способности и морозостойкости существующей дорожной одежды, а также достаточной несущей способности грунта рабочей зоны земляного полотна.

Вариант II назначают при условии достаточной несущей способности грунта рабочей зоны земляного полотна, но при отсутствии дренажной способности и морозостойкости слоев существующей дорожной одежды.

Вариант III назначают при условии отсутствия дренажной способности и морозостойкости слоев существующей дорожной одежды и низкой прочности грунтов земляного полотна.

Конструкцию новой дорожной одежды по вариантам II и III определяют расчетом в соответствии с разделом «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве».

Диагностика материала покрытия и дорожной одежды выполняют по следующей методике.

На основе данных диагностики и изысканий определяют уровень дефектности (ДП) и коэффициент надежности по формуле (6.2).

Определяют фактический и допустимый уровень ровности покрытия (формула (6.1)).

Определяют значения фактического E_{ϕ} и требуемого $E_{тр}$ модулей упругости.

Если коэффициент надежности меньше допустимого ($K_n < K_n^{доп}$), материал покрытия (верхний слой) удаляют.

Возможны два варианта проектного решения при необходимости удаления покрытия:

1. Слои покрытия с низким уровнем надежности удаляют (фрезеруют).

2. Слои покрытия перерабатывают, например, методом холодного ресайклинга.

В случае использования материала покрытия в новой дорожной одежде возможны следующие варианты:

1. Ровность покрытия неудовлетворительная. Прочность дорожной одежды в пределах нормы:

$$IRI_{\phi} > IRI_{доп};$$

$$E_{\phi} \geq E_{тр}.$$

Предусматривается устройство выравнивающего слоя и слоя износа. Усиление не требуется.

2. Ровность покрытия неудовлетворительная. Прочность дорожной одежды меньше допустимой:

$$IRI_{\phi} > IRI_{доп};$$

$$E_{\phi} < E_{тр}.$$

Предусматривается устройство выравнивающего слоя и слоев усиления.

3. Ровность покрытия удовлетворительная. Прочность дорожной одежды больше допустимой:

$$IRI_{\phi} \leq IRI_{доп};$$

$$E_{\phi} \geq E_{тр}.$$

Никаких ремонтных мероприятий не требуется, кроме устранения дефектов.

4. Ровность покрытия удовлетворительная. Прочность дорожной одежды меньше допустимой.

$$IRI_{\phi} \leq IRI_{\text{доп}};$$

$$E_{\phi} < E_{\text{тр.}}$$

Предусматривается усиление дорожной одежды.

6.1.3. Мероприятия по борьбе с отраженными дефектами

Опыт показывает, что уже в первые годы эксплуатации могут появляться температурные отраженные трещины, возникающие из-за устройства нового асфальтобетонного покрытия на старое асфальтобетонное покрытие с наличием трещин.

Отраженные трещины (ОТ) – продольные и поперечные трещины в дорожном покрытии, возникающие в местах наличия трещин в нижних слоях или основании. ОТ возникают при устройстве асфальтобетонного покрытия на цементобетонном основании, имеющем деформационные швы, а также при укладке новых слоев асфальтобетона на старое покрытие с наличием трещин (средний и капитальный ремонт). Причиной появления ОТ является концентрация напряжений в районе трещины, возникающих от температурных деформаций при охлаждении слоя.

В общем случае вероятность появления отраженных трещин определяется следующими факторами:

$$P = f \left(\frac{L, \Delta T, E_a, E_o, h_o, C}{h_a, N} \right), \quad (6.4)$$

где L – расстояние между трещинами;

ΔT – перепад температуры в слое с трещинами в расчетный период;

E_a, E_o – модули релаксации нового слоя покрытия и слоя с трещинами соответственно;

h_a, h_o – толщины нового слоя и слоя с трещинами соответственно;
 C – прочность сцепления нового покрытия и слоя с трещинами;
 N – параметр, учитывающий ширину раскрытия трещины и ее форму.

Старые асфальтобетонные слои могут достигать значительной толщины, при этом в основании могут находиться материалы, обработанные минеральными или органическими вяжущими. Значение модуля релаксации старого асфальтобетона может увеличиваться в 3–5 раз, по сравнению с первоначальным. Поэтому появление температурных отраженных трещин неизбежно без выполнения трещинопрерывающих мероприятий.

Критерий появления отраженных трещин заключается в определении напряжений и в районе трещины и сопоставлении их с длительной прочностью.

Устойчивость к отраженным трещинам является обеспеченной, если возникающие напряжения от несвободного сжатия покрытия и перемещения бетонных (асфальтобетонных) плит с учетом релаксационной способности материала не превышают его длительной прочности.

Для того чтобы определить значения напряжений, должна быть разработана соответствующая расчетная схема.

Величину напряжения на контакте плиты и покрытия можно определить по условию

$$\sigma_{\sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{(\alpha_a - \alpha_{\sigma}) \Delta T_{i\sigma} L_{\sigma} E_{ii}}{\Delta l (1 - \nu_i)}, \quad (6.5)$$

где $\alpha_{\sigma}, \alpha_a$ – коэффициенты температурного расширения бетона и асфальтобетона;

$\Delta T_{i\sigma}$ – температурный перепад для трещиноватого блока основания;

L_{σ} – длина i -го блока;

E_{ii} – релаксационный модуль асфальтобетона для i -го интервала;

Δl – участок асфальтобетонного покрытия, воспринимающий перемещения трещиноватого блока основания;

ν – коэффициент Пуассона асфальтобетона.

Отраженные трещины будут отсутствовать, если напряжения на контакте трещины и покрытия σ_6 не превысят допустимых, равных пределу длительной прочности асфальтобетона на растяжение.

Для практических целей разработаны упрощенные подходы расчета устойчивости покрытий к отраженным трещинам.

6.1.4. Мероприятия по борьбе с отраженными трещинами при реконструкции дорожных одежд загородных дорог и городских улиц

Во всех случаях при сохранении или удалении материала покрытия в проекте предусматривают мероприятия по предотвращению отраженных дефектов старого покрытия на новом, основным из которых являются температурные трещины. Условие отсутствия отраженных трещин имеет следующий вид:

$$\sigma_T \leq \sigma_p^{\text{пред}}, \quad (6.6)$$

где σ_T – напряжения, возникающие в новом покрытии в районе трещины, МПа; определяют по графикам и номограммам (см. рис. 6.6) в зависимости от толщины старого покрытия (всех слоев) и средневзвешенного модуля упругости при температуре -15°C .

$\sigma_p^{\text{пред}}$ – предельное напряжение при растяжении, МПа.

Значение средневзвешенного модуля упругости при температуре -15°C определяется в период диагностики материала дорожного покрытия по методике СТБ 1415–2003.

Предельное напряжение при растяжении $\sigma_p^{\text{пред}}$ вычисляется по формуле

$$\sigma_p^{\text{пред}} = 0,2R_c, \quad (6.7)$$

где R_c – предельная структурная прочность материала нижнего слоя нового асфальтобетонного покрытия, приведенная в прил. 8.

Если условие (6.6) не выполняется, то:

- производится фрезерование старого покрытия на глубину Δh ;
- производится разделка трещин на ширину 5–50 см с заполнением битумоминеральной смесью подобранного состава;
- возможна комбинация двух способов.

Значение Δh определяют следующим образом: в зависимости от модуля при $-15\text{ }^\circ\text{C}$ и предельно допустимого напряжения $\sigma_r^{\text{пред}}$ по номограмме (см. рис. 6.6) находят толщину слоя покрытия (с учетом всех слоев), при котором отсутствуют отраженные трещины $h_{\text{п}}$.

Глубина фрезерования

$$\Delta h = h_0 - h_{\text{п}}, \quad (6.8)$$

где h_0 – суммарная толщина всех слоев асфальтобетона старого покрытия.

Снизить растягивающие напряжения можно за счет разделки трещины на определенную ширину. Ширину разделки определяют по графику в зависимости от коэффициента снижения растягивающих напряжений. Данный коэффициент представляет собой отношение растягивающих напряжений, возникающих в нижней части нового слоя при неразделанных трещинах, к растягивающим напряжениям, возникающим в нижней части нового слоя при разделке трещины на определенную ширину.

Ширину разделки трещин определяют по следующей методике:

- для начальной общей толщины покрытия по номограммам определяют напряжение, возникающие в районе трещины $\sigma_{\text{т}}$;
- определяют коэффициент снижения растягивающих напряжений как отношение $\sigma_{\text{т}}$ к $\sigma_{\text{р}}^{\text{р}}$ ($\sigma_{\text{р}}^{\text{р}}$ – расчетные растягивающие напряжения, действующие в нижней части нового слоя);
- по графику определяют отношение ширины разделки трещин к толщине старого слоя асфальтобетона;
- ширина разделки трещин получается путем умножения отношения, полученного в предыдущем пункте, на общую толщину покрытия.

В случае значительной глубины фрезерования либо частых трещин с требуемой шириной разделки более 30 см рекомендуется ком-

бинированный способ, то есть произвести фрезерование и одновременно разделку трещин, при этом способе уменьшается как глубина фрезерования, так и ширина разделки трещин.

6.1.5. Назначение конструкции усиления дорожной одежды

В зависимости от состояния материала покрытия и данных диагностики принимают решение о конструкции дорожной одежды.

Возможны следующие варианты конструкции при сохранении материала покрытия.

1. Если ровность покрытия неудовлетворительная, принимают трехслойное покрытие усиления, включающее нижний несущий слой и слой износа.

Для этого случая конструкция покрытия изображена на рис. 6.3.

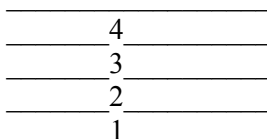


Рис. 6.3. Конструкция покрытия:

1 – старая дорожная одежда; 2 – выравнивающий слой; 3 – несущий (нижний) слой покрытия; 4 – верхний слой покрытия

2. При удовлетворительной ровности устраивают двухслойное покрытие, включающее выравнивающий слой, нижний несущий слой и слой покрытия.

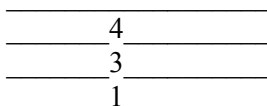


Рис. 6.4. Двухслойное покрытие

Выравнивающий слой следует устраивать из мелкозернистых пористых смесей. Минимальная толщина слоя при крупности щебня составляет:

10 мм – 2 см;
15 мм – 2,5 см;
20 мм – 3 см.

Выравнивающий слой также устраивают из песчаного асфальтобетона (минимальная толщина – 1 см).

Минимальная толщина выравнивающего слоя включается в расчет.

Материалы для слоев 3 и 4 принимают по методике, изложенной в разделе «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве».

6.2. Реализация положений шестого раздела в курсовом проекте

6.2.1. Оценка состояния покрытия в курсовом проекте

Расчет реконструкции дорожных одежд принимаем для дороги III категории с капитальным типом покрытия (по заданию – на категорию выше, чем по расчету в первом разделе).

По указанию руководителя может быть принята II категория.

Уровень дефектности определяем по условию

$$\text{ДП} = 1 - \sqrt[4]{(1 - F_1)(1 - F_2)(1 - F_3)(1 - F_4)}, \quad (6.9)$$

где F_1, F_2, F_3, F_4 – относительные площади дорожного покрытия, занятые пластическими, хрупкими, усталостными и коррозионными деформациями по заданию.

$$\begin{aligned} \text{ДП} &= 1 - \sqrt[4]{(1 - F_1)(1 - F_2)(1 - F_3)(1 - F_4)} = \\ &= 1 - \sqrt[4]{(1 - 0,3) \cdot (1 - 0,4) \cdot (1 - 0,5) \cdot (1 - 0,4)} = 0,40. \end{aligned}$$

Коэффициент надежности

$$K_n = 1 - \text{ДП} = 1 - 0,40 = 0,60.$$

Допустимый коэффициент надежности составит 0,8 (по табл. 6.2).

Таблица 6.2

Допустимый коэффициент надежности
дорожной одежды $K_n^{\text{доп}}$

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Допустимый коэффициент надежности $K_n^{\text{доп}}$
Капитальный	I	0,80
	II	
	III	
	IV	
Облегченный	III	0,70
	IV	
	V	
Переходный	IV	0,50

Так как $K_n < K_n^{\text{доп}}$ ($0,6 < 0,8$), принимаем решение об удалении старого покрытия (покрытие фрезеруют).

Определение допустимой ровности покрытия.

Фактическая ровность на момент диагностики составила 10 мм/м (по заданию).

Определим допустимую ровность по формуле (6.1).

Для дороги третьей категории по табл. 6.3 $IRI_0 = 2,0$ мм/м, $B = 0,0677$.

Таблица 6.3

Значение показателя IRI_0 и коэффициента B

Категория дороги	I	II	III	IV
IRI_0 , мм/м	1,5	2,0	2,0	2,5
B , год ⁻¹	0,0559	0,0644	0,0677	0,0403

Срок службы покрытия $T_{сл}$ в данном случае составляет 11 лет (см. табл. 1.5).

$$IRI_{доп} = 2 \exp(0,0677 \cdot 11) = 4,2 \text{ мм/м.}$$

Фактическая ровность (10 мм/м) больше допустимой (4,2 мм/м), что требует устройства выравнивающего слоя.

Для расчета на критерий устойчивости к отраженным трещинам в качестве материала выравнивающего слоя можно принять песчаный или мелкозернистый пористый асфальтобетон, в качестве материала несущего слоя – крупнозернистый или мелкозернистый пористый или плотный асфальтобетон.

6.2.2. Назначение конструкции дорожной одежды

Поскольку ровность неудовлетворительная, принимаем трехслойное покрытие, включающее выравнивающий слой, нижний несущий слой и слой покрытия. Нижний (выравнивающий) слой принимаем из песчаного асфальтобетона типа Г марки 1.

Разработка мероприятий по борьбе с отраженными трещинами.

Эксплуатируемая дорожная одежда состоит из двух асфальтобетонных слоев: первого – средняя толщина 4 см и второго – средняя толщина 6 см. Общий вид конструкции дорожной одежды представлен на рис. 6.5.

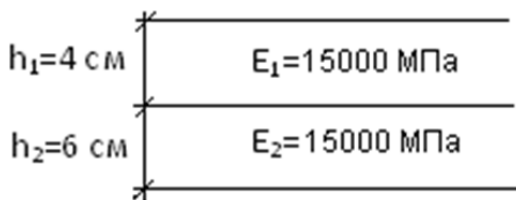


Рис. 6.5. Общий вид эксплуатируемой дорожной одежды

На рис. 6.5 указаны модули упругости асфальтобетонных слоев при температуре $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ (по заданию $E = 15 \text{ 000 МПа}$).

По расчету предусматривается удаление старого покрытия (в данном случае – 4 см). Устойчивость к отраженным трещинам рассматриваем для слоя 6 см (10 см – 4 см).

По графику, представленному на рис. 6.6, в зависимости от толщины старого покрытия (6 см) и среднего модуля упругости при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 15 000 МПа, определяем значение растягивающих напряжений в нижней части слоя, которое составит 3,3 МПа.

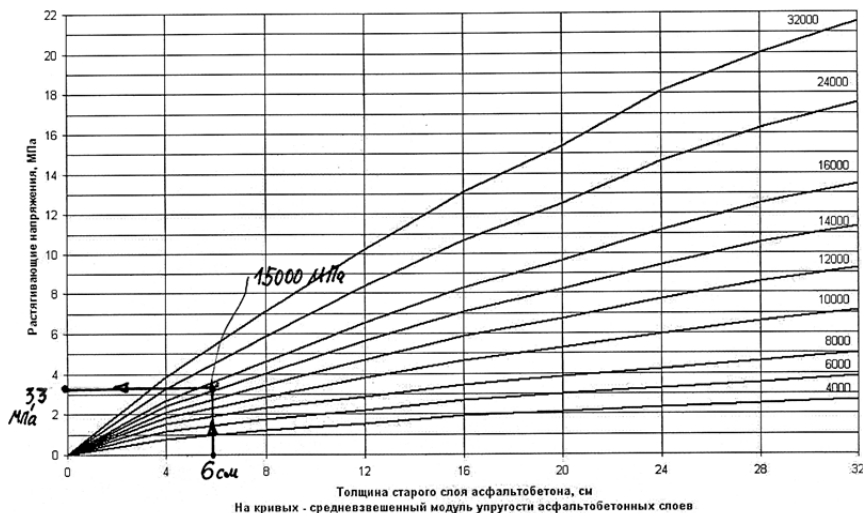


Рис. 6.6. Зависимость растягивающих напряжений в нижней части слоя асфальтобетона от толщины старого слоя и его средневзвешенного модуля упругости при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для песчаного асфальтобетона типа Г марки 1 (принят в качестве выравнивающего слоя) значение R_c по прил. 8 составляет 10,0 МПа.

Предельное напряжение при растяжении:

$$\sigma_p^{\text{пред}} = 0,2R_c = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие устойчивости отраженным трещинам по формуле (6.6):

$$3,3 \geq 2.$$

Условие не выполняется, следовательно, нужно предусмотреть мероприятия по борьбе с отраженными трещинами. Учитывая небольшой уровень перенапряжения, рассмотрим только разделку трещин. Коэффициент снижения растягивающих напряжений составит 3,3.

По графику, представленному на рис. 6.7, определяем отношение ширины разделки трещин к толщине старого слоя асфальтобетона (в данном случае это отношение составляет 0,16).

Следовательно, ширина разделки составит

$$6 \cdot 0,16 = 0,96 \text{ см.}$$

Поскольку ширина разделки менее 1 см, достаточно выполнить ремонт и герметизацию трещин.

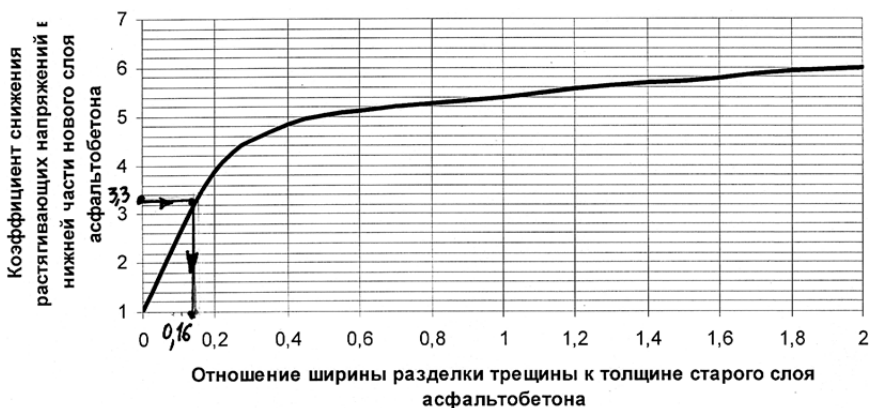


Рис. 6.7. Зависимость ширины разделки трещины от коэффициента снижения растягивающих напряжений

7. НАЗНАЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ УСИЛЕНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

7.1. Основы теории

7.1.1. Общие положения

При капитальном ремонте и реконструкции дорожной одежды конструирование и расчет включают следующие элементы:

1. Назначение конструкции усиления дорожной одежды;
2. Выбор расчетной нагрузки и материалов для устройства слоев усиления.
3. Назначение уровней надежности и сроков службы.

4. Расчет усиления по критерию упругого прогиба.

5. Проверка сдвигоустойчивости асфальтобетонных слоев усиления, а также старого асфальтобетона. При необходимости корректировка конструкции дорожной одежды.

5. Проверка сдвигоустойчивости несвязных слоев основания старой дорожной одежды и грунта земляного полотна.

6. Проверка устойчивости монолитных слоев дорожной одежды на устойчивость усталостным деформациям.

7. Назначение конструкции проезжей части и составление карточки дорожной одежды.

7.1.2. Расчет толщины слоев усиления

Устройство слоев усиления должно обеспечить выполнение условия:

$$E_{тр} = E_{ф}, \quad (7.1)$$

где $E_{ф}$ – фактический эквивалентный модуль упругости дорожной одежды со слоями усиления.

Для расчета $E_{ф}$ необходимо определить общий эквивалентный модуль упругости старой дорожной одежды $E_{оп}$.

Если фрезерование не производится, то $E_{оп} = K_{ц}E_{об}$, который принимают по заданию.

Если фрезерование по первому или по второму критерию необходимо, то значение $E_{оп}$ определяют расчетом (рис. 7.1), где Δh – глубина фрезерования.

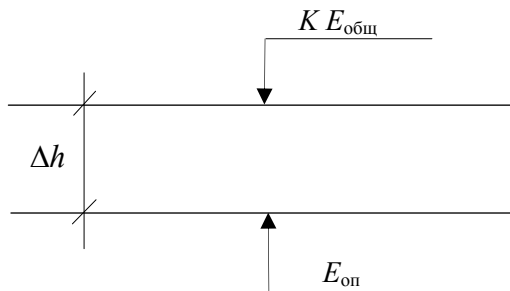


Рис. 7.1. Схема к определению $E_{оп}$

Значение $E_{оп}$ получают в результате диагностики существующей дорожной одежды либо расчетом.

Для расчета $E_{оп}$ составляют расчетную схему старой дорожной одежды. Расчет ведут сверху вниз по обычной методике (см. раздел «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве»). При этом эквивалентный диаметр принимаем для расчетной нагрузки (в данном случае A_3). Расчетные характеристики материалов принимают при температуре $10\text{ }^\circ\text{C}$. Модуль упругости монолитных слоев (асфальтобетона):

$$E_p = E_T K_n, \quad (7.2)$$

где E_T – табличное значение модуля;

K_n – коэффициент надежности (определяется по формуле (6.2)).

Расчет усиления производят следующим образом:

Составляем расчетную схему конструкции (рис. 7.2).

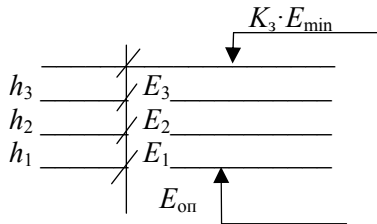


Рис. 7.2. Расчетная схема конструкции

Значения h_1 и h_3 принимают минимальными. Значение h_2 получают расчетом. Если значение h_2 по расчету получают меньше минимальной толщины, то его принимают минимальным.

7.2. Расчет усиления дорожной одежды в курсовом проекте

Выбор расчетной нагрузки и определение требуемого модуля упругости.

При разработке проекта реконструкции дорожной одежды для всех категорий дорог принимаем нагрузку A_3 . Состав транспортного потока принимаем по данным раздела «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве».

По табл. 7.1 назначаем коэффициент надежности.

Примечание. Для дороги III категории с капитальным типом покрытия и нагрузкой A_3 примем уровень надежности 0,90.

Таблица 7.1

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

Дорожная одежда капитального типа		Дороги, предназначенные для движения группы нагрузки A_3						
Категория дороги		I		II		III, IV		
Заданный коэффициент надежности K_H		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию:	упругого прогиба	1,40	1,20	1,28	1,10	1,18	1,05	1,00
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,25	1,15	1,20	1,10	1,15	1,05	1,00
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении при изгибе	1,20	1,15	1,10	1,03	1,05	1,00	0,95
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию:	сдвигоустойчивости асфальтобетонных слоев дорожной одежды	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10
	устойчивости асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10

Примечание. По табл. 1.5 определим срок службы дорожной одежды, который составит 11 лет.

Для устройства покрытия примем модифицированный битум марки БМА 100/130. Для устройства нижнего слоя примем битум марки БНД 60/90 (см. табл. 1.6).

Расчетный уровень надежности материала покрытия назначим ниже.

Значение суммарного коэффициента приведения при упрощенном подходе $S_{m \text{ сум}}$ определяют по формуле

$$S_{m \text{ сум}} = \sum_1^n S_n p_n,$$

где n – число групп отдельных автомобилей;

S_n – коэффициент приведения конкретной группы автомобилей по прил. 4;

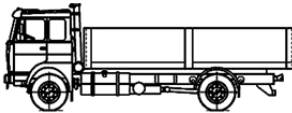
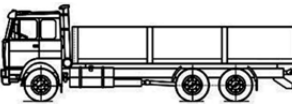



p_n – удельное количество автомобилей данной группы, доли единицы.

Состав транспортного потока примем по данным раздела «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве». Для этого воспользуемся данными таблицы. Изменения касаются значений коэффициентов приведения (нагрузка A_3). Коэффициенты назначаем по табл. П4.1 прил. 4.

Расчет выполним в табличной форме (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Вид и марка транспортного средства	Схема транспортного средства табл. 2.1 прил. 2	Максимальная нагрузка на ось, т	Процент автомобилей в долях единицы	Строчка табл. П2.1 прил. 2	Коэффициент приведения
1	2	3	4	5	6
Легковые автомобили	–	0,75	0,30	1	0,0012
Грузовые автомобили грузоподъемностью до 2,5 т	–	1,7	0,40	3.1	0,05
Грузовые автомобили грузоподъемностью до 5 т	–	3,2	0,20	3.1	0,05

1	2	3	4	5	6
Двухосные грузовые автомобили марки МАЗ-5549		11,5	0,02	3.3.2	0,87
Трехосные грузовые автомобили марки КамАЗ-65221		11,5	0,02	3.3.4	1,10
Автопоезда марки МАЗ-5440А9-320-030		11,5	0,02	4.3	1,10
Автопоезда марки с прицепом КамАЗ-43118		11,5	0,02	5.5	1,7
Автобусы марки МАЗ-105		11,5	0,02	6.3	0,8

Получаем суммарный коэффициент приведения:

$$S_m \text{ сум} = 0,3 \cdot 0,012 + 0,4 \cdot 0,05 + 0,2 \cdot 0,05 + 0,02 \cdot 0,87 + 0,02 \cdot 1,1 + \\ + 0,02 \cdot 1,1 + 0,02 \cdot 1,7 + 0,02 \cdot 0,8 = 0,145.$$

Примечание. Величину приведенной интенсивности движения на последний год срока службы дорожной одежды N_p , ед./сут., определяем по формуле:

$$N_p = f_{\text{пол}} N_m S_m = 0,55 \cdot 592 \cdot 0,145 = 47 \text{ авт./сут.},$$

где $f_{\text{пол}} = 0,55$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним;

N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств в физических единицах на конец срока службы (началь-

ную интенсивность принимаем равной конечной по первому разделу $N_m = 536$)

$$N_m = 536 (1 + 0,01 \cdot 1)^{11-1} = 592 \text{ авт./сут.};$$

$S_{m \text{ сум}} = 0,145$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства i -й марки к расчетной нагрузке $Q_{\text{расч}}$.

Выполненный расчет позволяет назначить уровень надежности материала покрытия, который необходимо обеспечить на стадии подбора состава (рис. 7.3). Интенсивность 47 авт./сут. выходит за пределы графика, поэтому принимаем минимальное значение 0,78.

Определим суммарное число воздействий расчетного автомобиля за срок службы по формуле

$$\Sigma N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{(T_{\text{сл}} - 1)} T_{\text{ргд}} k_n.$$

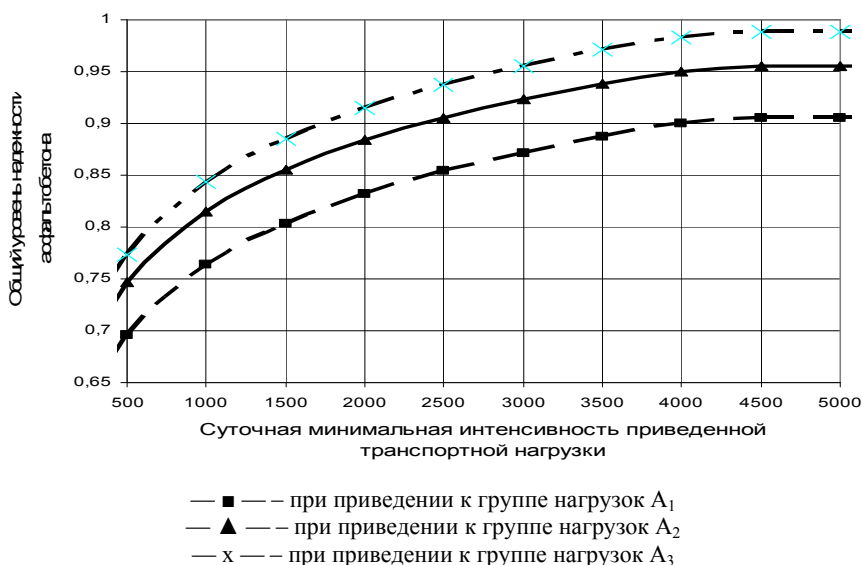


Рис. 7.3. Зависимость общего уровня надежности асфальтобетона от минимальной суточной интенсивности приведенной транспортной нагрузки на последний год службы дорожной одежды

Коэффициент суммирования K_c определим по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1} = \frac{1,01^{11} - 1}{1,01 - 1} = 11,6,$$

где q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам;

$p = 1\%$ (по заданию);

$$q = 1 + 0,01p = 1 + 0,01 \cdot 1 = 1,01.$$

Значение $T_{\text{рдг}}$ центрального дорожно-климатического района составит 130 дней.

Значения коэффициента, учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, принимаем по табл. 1.10.

В данном случае $k_n = 1,38$.

Тогда

$$\Sigma N_p = 0,7 \cdot 47 \frac{11,6}{1,01^{(11-1)}} 130 \cdot 1,38 = 61\,960 \text{ авт.}$$

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

$$E_{\text{об}} > E_{\text{мин}} K_{\text{пр}}^{\text{ТР}},$$

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

$E_{\text{мин}}$ – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;

$K_{\text{пр}}^{\text{ТР}}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимается в зависимости от требуемого коэффициента надежности.

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции дорожной одежды при $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^4$, авт., $E_{\text{мин}}$, МПа, вычисляем по формуле

$$E_{\text{мин}} = 98,65 (\lg(\Sigma N_p) - c) = 98,65 (\lg 61\,960 - 3,05) = 172 \text{ МПа,}$$

где $\Sigma N_p = 61\,960$ авт. – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды;

c – коэффициент, зависящий от группы нагрузки (для A_3 $c = 3,05$).

По табл. 4.2 для нагрузки A_3 и дороги III категории значение E_{\min} отсутствует.

Принимаем $E_{\text{тр}} = E_{\min} = 172$ МПа.

Значение $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ принимаем по табл. 4.3

$$K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1,0.$$

Требуемый модуль упругости дорожной одежды

$$E_{\text{тр}} = K_{\text{пр}}^{\text{тр}} E_{\min} = 172 \cdot 1,0 = 172 \text{ МПа.}$$

Расчет толщины слоев усиления.

Устройство слоев усиления должно обеспечить выполнение условия:

$$E_{\text{тр}} = E_{\text{ф}} K_3,$$

где $E_{\text{ф}}$ – фактический расчетный эквивалентный модуль упругости дорожной одежды со слоями усиления.

Для расчета $E_{\text{ф}}$ определяем общий эквивалентный модуль упругости старой дорожной одежды $E_{\text{оп}}$.

K_3 – коэффициент запаса прочности (принимаем по табл. 4.3).

Ввиду того, что фрезерование необходимо как из условия борьбы с отраженными трещинами, так и по условию дефектности покрытия, значение $E_{\text{оп}}$ определяем расчетом в соответствии со схемой (Δh – глубина фрезерования) (рис. 7.4).

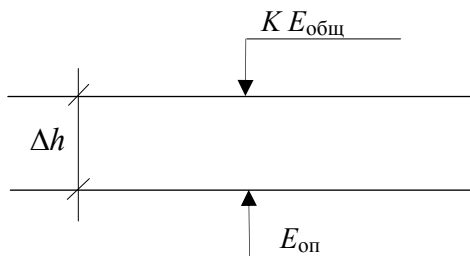


Рис. 7.4. Схема для расчета слоев усиления

Для определения $E_{оп}$ составляем расчетную схему старой дорожной одежды. Расчет ведем сверху вниз по обычной методике. При этом эквивалентный диаметр принимаем для нагрузки A_3 . Расчетные характеристики материалов принимаем при температуре $10\text{ }^\circ\text{C}$. Модуль упругости монолитных слоев (асфальтобетона)

$$E_p = E_T K_H,$$

где E_T – табличное значение модуля (табл. П7.2 прил. 7);

K_H – коэффициент надежности ($K_H = 1 - ДП$).

Так как по расчету $K_H < K_H^{доп}$ ($0,6 < 0,8$), принимаем $K_H = 0,8$.

Используя данные прил. 7 определяем расчетные характеристики материалов слоев усиления, представленные в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Расчетные характеристики материалов

Материал	Модуль упругости при температуре, МПа			Прочность на изгиб при $0\text{ }^\circ\text{C}$, МПа	Угол внутр. трения $\varphi, ^\circ$	Внутр. сцепление C , МПа	Коэффициенты m и a
	$0\text{ }^\circ\text{C}$	$10\text{ }^\circ\text{C}$	$50\text{ }^\circ\text{C}$				
Щебеночная мелкозернистая горячая плотная а/б смесь типа А марки I на модифицированном битуме БМА 100/130	5500	4000	660	13,0	$43 \cdot 1,05 = 45$	$0,28 \cdot 1,2 = 0,34$	6,9; 3,3
Горячий плотный крупнозернистый а/б на битуме БНД 60/90	4500	3200	460	9,8	38	0,29	5,5; 4,3
Песчаная а/б смесь типа Г	$4500 \cdot 1,2 = 5400$	3200	460	$9,8 \cdot 1,2 = 11,8$	34	0,37	5,5; 4,3

Примечание. 1. (прил. 7) для асфальтобетонов типа Г величины увеличивают в 1,20 раза:

$$4500 \cdot 1,2 = 5400 \text{ МПа}; \quad 9,8 \cdot 1,2 = 11,8 \text{ МПа.}$$

2. (табл. П7.4 прил. 7) при применении битума БМА 100/130 показатели φ увеличивают в 1,05 раза, C – в 1,20 раза:

$$\varphi^0 = 43 \cdot 1,05 = 45^\circ; \quad C = 0,28 \cdot 1,2 = 0,34 \text{ МПа.}$$

Фрезерование старого покрытия производим на глубину 4 см из условия дефектности. Составляем расчетную схему для определения $E_{оп}$ (рис. 7.5). В качестве базового принимаем схему конструкции дорожной одежды с учетом коррекции модулей.

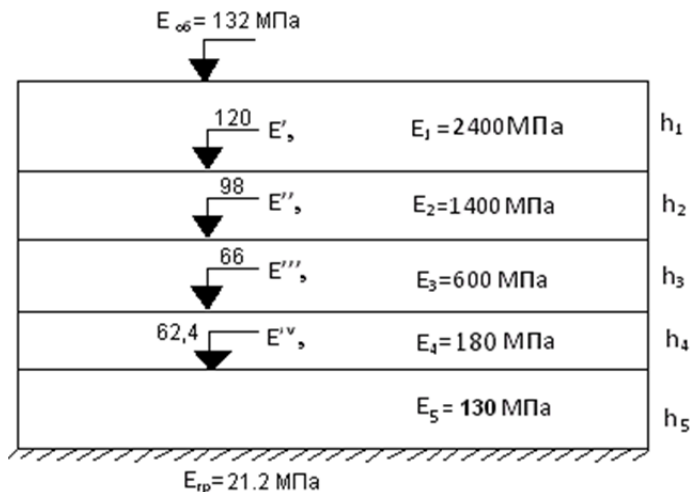


Рис. 7.5. Схема конструкции старой дорожной одежды

Значение E_1 и E_2 определим с учетом коэффициента надежности. Для верхнего слоя:

$$E_p = E_T K_H = 2400 \cdot 0,80 = 1920 \text{ МПа.}$$

Для нижнего слоя:

$$E = E_T K_H = 1400 \cdot 0,80 = 1120 \text{ МПа.}$$

В соответствии с заданием значение эквивалентного модуля упругости дорожной одежды в момент ремонта $E_{\text{общ}}$ составляет $K_n E_{\text{об}}$ (общий эквивалентный модуль упругости старой дорожной одежды см. раздел «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве»).

В данном случае $E_{\text{об}} = 132$ МПа. Тогда $E_{\text{общ}} = 0,80 \cdot 132 = 106$ МПа.

Определяем значение $E_{\text{оп}}$. При фрезеровании на глубину 4 см полностью удаляется верхний слой покрытия (рис. 7.6).

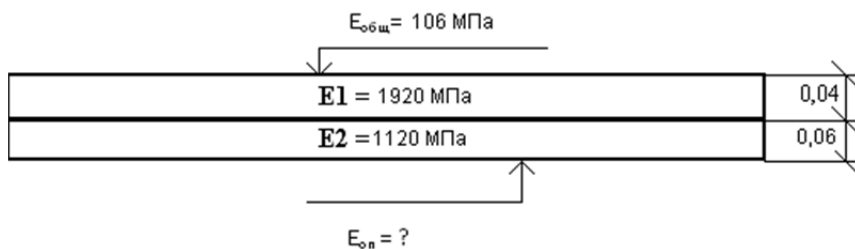


Рис. 7.6. Схема для определения $E_{\text{оп}}$

Расчетом сверху вниз находим эквивалентный модуль на поверхности нижнего слоя покрытия E_3^1 :

$$h_1 / D = 4 / 41 = 0,098;$$

$$E_{\text{общ}} / E_1 = 106 / 1920 = 0,055.$$

По номограмме:

$$E_3^1 / E_1 = 0,06;$$

$$E_3^1 = 0,06 \cdot 1920 = 115 \text{ МПа.}$$

Определяем $E_{\text{оп}}$:

$$h_2 / D = 6 / 41 = 0,146;$$

$$E_3^1 / E_2 = 115 / 1120 = 0,10.$$

По номограмме:

$$E_{\text{оп}} / E_2 = 0,08;$$

$$E_{\text{оп}} = 0,08 \cdot 1120 = 90 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем усиление по критерию упругого прогиба в соответствии со схемой (рис. 7.7):

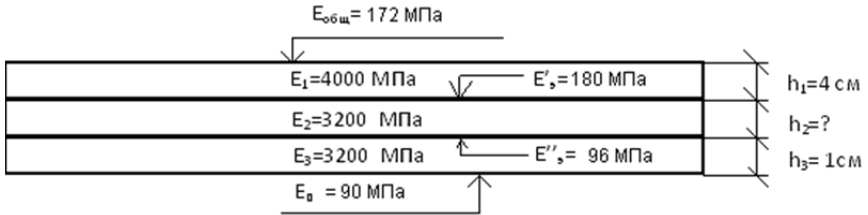


Рис. 7.7. Расчетная схема для определения толщины слоев усиления

Принимаем толщину выравнивающего слоя минимальной, равной для песчаного асфальтобетона 1 см.

Определяем эквивалентный модуль упругости на поверхности слоя песчаного асфальтобетона расчетом снизу вверх:

$$h_3 / D = 1 / 41 = 0,02;$$

$$E_{\text{оп}} / E_3 = 90 / 3200 = 0,28.$$

По номограмме:

$$E_3^{\text{II}} / E_3 = 0,03;$$

$$E_3^{\text{II}} = 0,03 \cdot 3200 = 96 \text{ МПа.}$$

Задаемся толщиной верхнего слоя покрытия, равной 4 см минимально. Определяем эквивалентный модуль упругости на поверхности нижнего слоя покрытия:

$$h_1 / D = 4 / 41 = 0,1;$$

$$E_{\text{тр}} / E_1 = 172 / 4000 = 0,043.$$

По номограмме:

$$E_3^{\text{II}} / E_1 = 0,045;$$

$$E_3^{\text{I}} = 0,045 \cdot 4000 = 180 \text{ МПа.}$$

Составим расчетную схему конструкции (рис. 7.8).

$$E_3^{\text{I}} / E_2 = 180 / 3200 = 0,056;$$

$$E_3^{\text{II}} / E_2 = 96 / 3200 = 0,03.$$

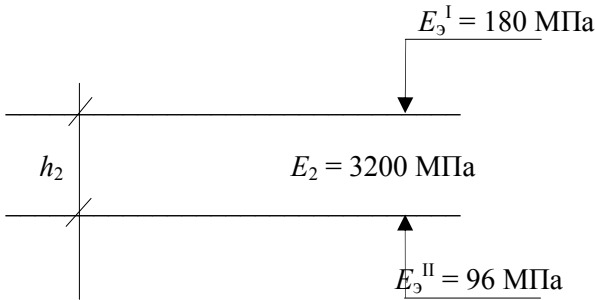


Рис. 7.8. Расчетная схема для определения h_2

По номограмме:

$$h_2 / D = 0,28;$$

$$h_2 = 0,28 \cdot 41 = 11,5 \text{ см.}$$

Данная толщина не является рациональной, так как слой толщиной 11,5 см трудно уплотнить.

Примем толщину выравнивающего слоя 2 см, а верхнего слоя покрытия – 6 см. Повторяем вышележащий расчет.

Определяем эквивалентный модуль упругости на поверхности песчаного слоя расчетом снизу вверх:

$$h_3 / D = 2 / 41 = 0,04;$$

$$E_{\text{оп}} / E_3 = 90 / 3200 = 0,028.$$

По номограмме:

$$E_3^{\text{II}} / E_3 = 0,04;$$

$$E_3^{\text{II}} = 0,04 \cdot 3200 = 128 \text{ МПа.}$$

Определяем эквивалентный модуль упругости на поверхности нижнего слоя покрытия:

$$h_2 / D = 6 / 41 = 0,15;$$

$$E_{\text{тр}} / E_1 = 172 / 4000 = 0,043.$$

По номограмме:

$$E_3^{\text{I}} / E_1 = 0,045;$$

$$E_3^{\text{I}} = 0,045 \cdot 4000 = 180 \text{ МПа;}$$

$$E_3^{\text{I}} / E_2 = 180 / 3200 = 0,056;$$

$$E_3^{\text{II}} / E_2 = 128 / 3200 = 0,04.$$

По номограмме:

$$h_2 / D = 0,2;$$

$$h_2 = 0,2 \cdot 41 = 8 \text{ см.}$$

Таким образом, окончательно принимаем следующую конструкцию дорожной одежды:

верхний слой покрытия – 6 см;

нижний несущий слой – 8 см;

выравнивающий слой – 2 см.

8. РАСЧЕТ СЛОЕВ ПОКРЫТИЯ НА СДВИГОУСТОЙЧИВОСТЬ

8.1. Основы теории

Основы теории и пути решения проблем сдвигоустойчивости были изложены в разделе «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве». Здесь рассмотрим практическое решение данного вопроса при проектировании дорожных одежд загородных дорог и городских улиц.

Целью расчета является проверка соответствия свойств асфальтобетона условию сдвигоустойчивости в дорожной одежде. При неудовлетворении требований прочности по сдвигу в материале необходима его замена более сдвигоустойчивым или изменение его конструкции.

Асфальтобетон слоев покрытия дорожной одежды рассчитывают на сопротивление сдвигу при длительном действии горизонтальной и вертикальной нагрузки (в зависимости от расчетной осевой нагрузки величина горизонтальной нагрузки составляет 75 % от вертикальной).

Горизонтальную составляющую нагрузки учитывают при суммарной суточной интенсивности автомобилей группы нагрузки A_2 более 500 авт./сут в начале срока службы, соответственно для нагрузки A_3 более 300 авт./сутки либо если участок автомобильной дороги имеет продольный уклон более 35 %, а также на участках разгона и торможения, перед пунктами взимания дорожных сборов и весогабаритного контроля. **За расчетную принимается температура +50 °С.**

При неизвестной расчетной интенсивности для расчетов применяют следующие усредненные значения:

I категория – расчетная интенсивность 600 осей в сутки, группа нагрузки A_2 ;

II категория – расчетная интенсивность 400 осей в сутки, группа нагрузки A_2 .

По номограммам, представленным на рис. 8.2–8.3 и 8.5–8.6, определяют действующие касательные τ и нормальные напряжения σ , отдельно для верхнего и нижних слоев в зависимости от расчетного модуля упругости. При этом нормальные напряжения определяют действия максимальных касательных в плоскости. Если конструк-

ция состоит более чем из двух слоев, то средний модуль упругости нижнего слоя $E_{\text{ср}}$ определяется по номограмме, а модуль упругости верхнего определяется как средневзвешенный по формуле

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + \dots + E_n h_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_n}. \quad (8.1)$$

Для учета горизонтальной составляющей нагрузки касательные напряжения, определенные по номограммам, увеличивают в 2 раза для верхнего слоя и в 1,4 раза – для нижнего, а нормальные напряжения – в 1,7 раза для верхнего слоя и в 1,2 раза – для нижнего.

При отсутствии сцепления между верхним и нижним слоем касательные напряжения уменьшают в два раза.

В результате должно выполняться следующее условие:

$$\tau \leq \frac{Ck}{B_p K_3} + |\sigma| \operatorname{tg} \varphi, \quad (8.2)$$

где τ и σ – значения касательных и нормальных напряжений, определенные по номограммам;

k – коэффициент, равный 0,8;

C – внутреннее сцепление, МПа;

B_p – коэффициент, принимаемый по графикам в зависимости от интенсивности воздействия транспортной нагрузки и ее вида;

$\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс угла внутреннего трения материала слоя дорожной одежды.

При суммарной толщине верхних слоев более 30 см напряжения уменьшаются на 0,001 МПа на каждый сантиметр, свыше 30, а нормальные – увеличиваются на 0,003 МПа.

Если условие прочности не выполняется, то увеличивают толщину верхнего слоя либо выбирают материал с другими расчетными характеристиками и повторяют расчет.

На многополосных дорогах допускается проектировать дорожную одежду переменной толщины (либо с различными свойствами материалов конструктивных слоев) по ширине проезжей части, считав дорожную одежду в пределах различных полос в соответствии со значениями N_p и P_i .

8.2. Расчет на сдвигустойчивость асфальтобетонных покрытий в курсовом проекте

8.2.1. Оценка сдвигустойчивости слоев покрытия

Составляем расчетную схему конструкции дорожной одежды (рис. 8.1).

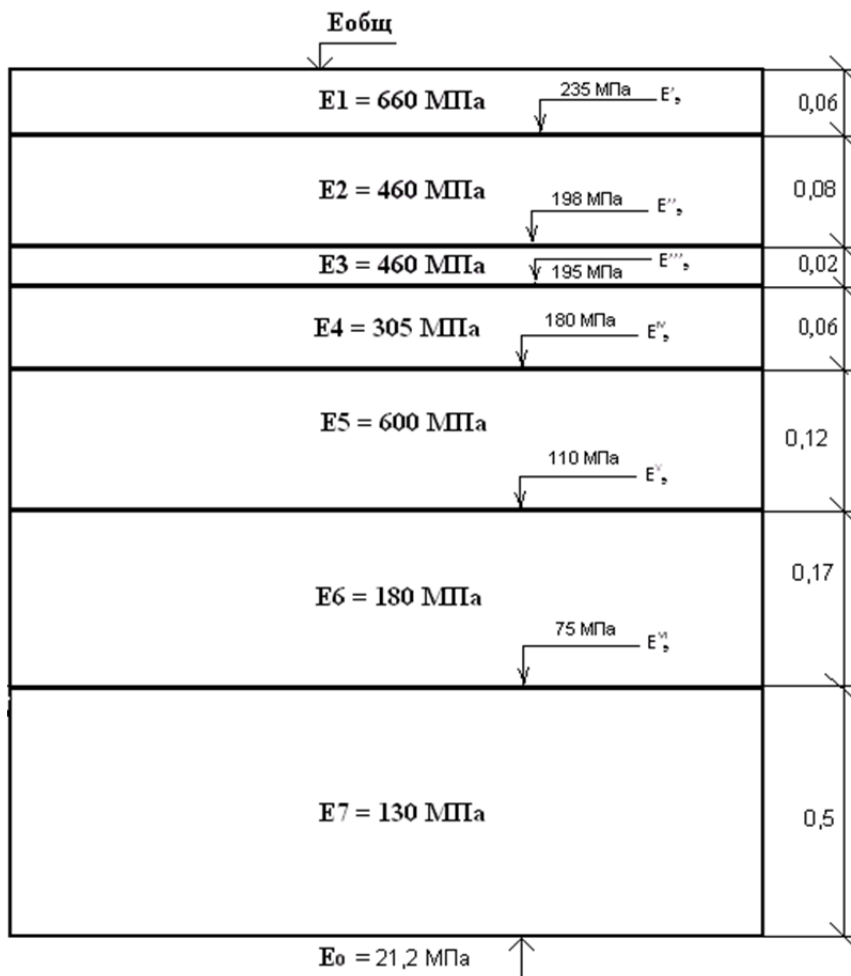


Рис. 8.1. Схема конструкции для расчета на сдвигустойчивость

Расчетные значения модуля упругости принимаем при температуре 50 °С (табл. П7.2 прил. 7).

Для расчета на сдвиг диаметр отпечатка принимаем равным 28 см (табл. 8.1), поэтому необходимо пересчитать эквивалентные модули упругости на контакте слоев.

Таблица 8.1

Величина эквивалентного диаметра отпечатка колеса
расчетной оси

Группа нагрузок	Расчетный диаметр отпечатка (сдвигоустойчивость), см
A ₁	26
A ₂	27
A ₃	28

Определяем модули упругости на контактах слоев.

Расчет ведем снизу вверх:

$$h_7 / D = 50 / 28 = 1,79;$$

$$E_0 / E_7 = 21,2 / 130 = 0,16.$$

По номограмме найдем:

$$E_3^{VI} / E_7 = 0,58;$$

$$E_3^{VI} = 0,58 \cdot 130 = 75 \text{ МПа};$$

$$h_6 / D = 17 / 28 = 0,61;$$

$$E_3^{VI} / E_6 = 75 / 180 = 0,42.$$

По номограмме найдем:

$$E_3^V / E_6 = 0,61;$$

$$E_3^V = 0,61 \cdot 180 = 110 \text{ МПа};$$

$$h_5 / D = 12 / 28 = 0,43;$$

$$E_3^V / E_5 = 110 / 600 = 0,18.$$

По номограмме найдем:

$$E_3^{IV} / E_5 = 0,3;$$

$$E_3^{IV} = 0,3 \cdot 600 = 180 \text{ МПа};$$

$$h_4 / D = 6 / 28 = 0,21;$$

$$E_3^{IV} / E_4 = 180 / 305 = 0,59 \quad (EK_H = 350 \cdot 0,87 = 305 \text{ МПа}).$$

По номограмме найдем:

$$E_3^{III} / E_4 = 0,64;$$

$$E_3^{III} = 0,64 \cdot 305 = 195 \text{ МПа};$$

$$h_3 / D = 2 / 28 = 0,071;$$

$$E_3^{III} / E_3 = 195 / 460 = 0,42.$$

По номограмме найдем:

$$E_3^{II} / E_3 = 0,43;$$

$$E_3^{II} = 0,43 \cdot 460 = 198 \text{ МПа};$$

$$h_2 / D = 8 / 28 = 0,29;$$

$$E^{II} / E_2 = 198 / 460 = 0,43.$$

По номограмме найдем:

$$E_3^I / E_2 = 0,51;$$

$$E_3^I = 0,51 \cdot 460 = 235 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие устойчивости верхнего слоя покрытия.

Для коэффициента надежности 0,90 коэффициент запаса прочности по условию сдвигоустойчивости составляет 1,1 (табл. 4.3).

Определим отношение

$$\frac{E_1}{E_3^I} = \frac{660}{235} = 2,80. \quad (8.3)$$

По номограмме (рис. 8.2) для толщины 6 см касательные напряжения

$$\tau_0 = 0,22 \text{ МПа.}$$

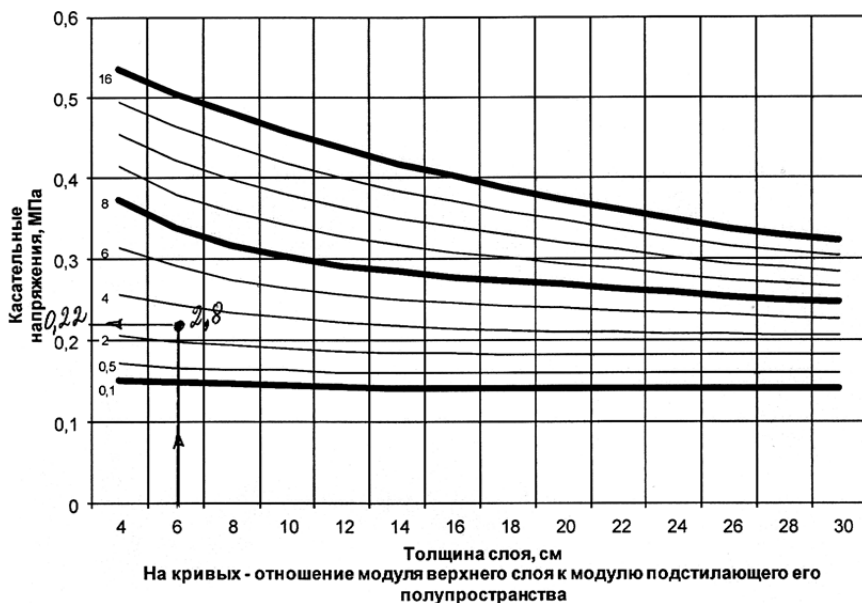


Рис. 8.2. Номограмма к определению касательных напряжений в верхнем слое дорожной одежды

По номограмме (см. рис. 8.3) определим нормальные напряжения

$$\sigma_0 = 0,11 \text{ МПа.}$$

Определим интенсивность движения расчетных автомобилей на первый год эксплуатации по измененной формуле:

$$N_p = f_{\text{пол}} N_0 S_m = 0,55 \cdot 536 \cdot 0,145 = 43 \text{ авт./сут,}$$

где $N_0 = 536$ авт. – интенсивность движения в первый год эксплуатации (на конец срока службы в разделе «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве»).

Полученная интенсивность движения (43 авт./сут) менее 300 авт./сут. Следовательно, горизонтальную нагрузку не учитываем.

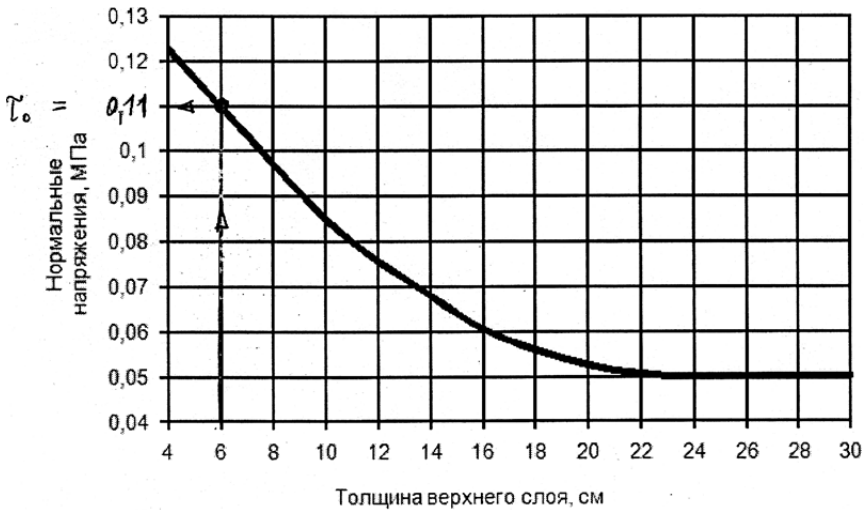


Рис. 8.3. График для определения нормальных напряжений в верхнем слое дорожной одежды

По графику (см. рис. 8.4) найдем параметр B_p для интенсивности 43 авт./сут. Параметр выходит за пределы графика, принимаем $\min B_p = 1,0$.

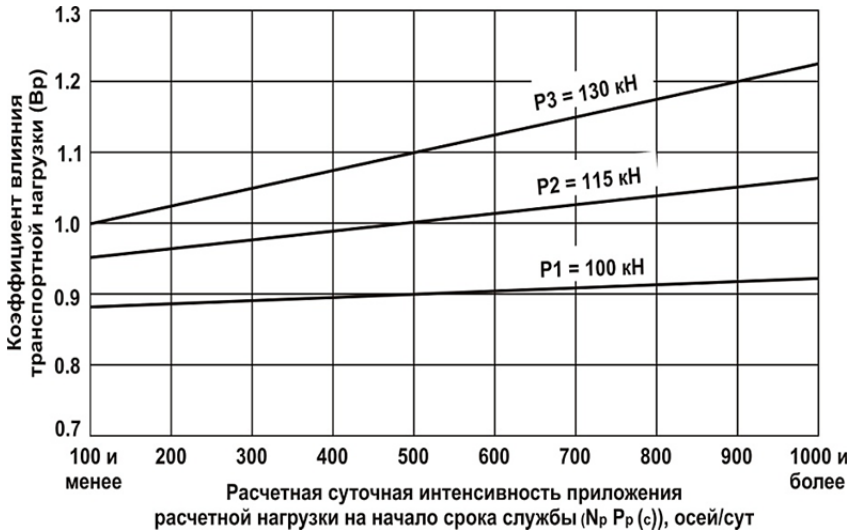


Рис. 8.4. График определения коэффициента B_p

Проверяем условие:

$$\frac{CK}{B_p K_3} + \sigma \operatorname{tg} \varphi = \frac{0,34 \cdot 0,80}{1,0 \cdot 1,1} + 0,11 \operatorname{tg} 45 = 0,36, \quad (8.4)$$

где $C = 0,34$ МПа (табл. 7.3).

Проверяем условие прочности:

$$\tau = 0,22 < 0,36.$$

Условие выполняется.

Проверяем условие устойчивости нижнего слоя покрытия.

Вычисляем средний модуль упругости слоев 1 и 2:

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2}{h_1 + h_2} = \frac{660 \cdot 6 + 460 \cdot 8}{6 + 8} = 546 \text{ МПа.}$$

Находим отношение:

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_3^{\text{II}}} = \frac{546}{198} = 2,75.$$

По номограмме (см. рис. 8.5) для толщины слоя 14 см и отношения модулей 2,75 найдем

$$\tau = 0,16 \text{ МПа.}$$

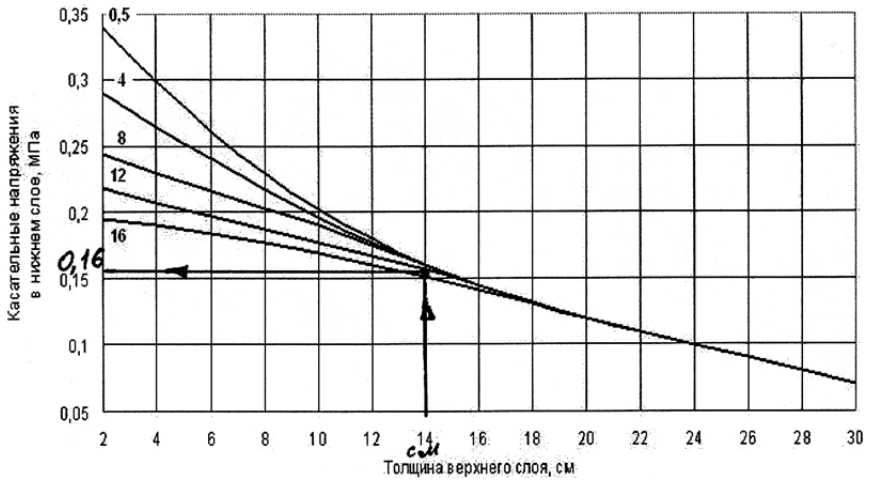
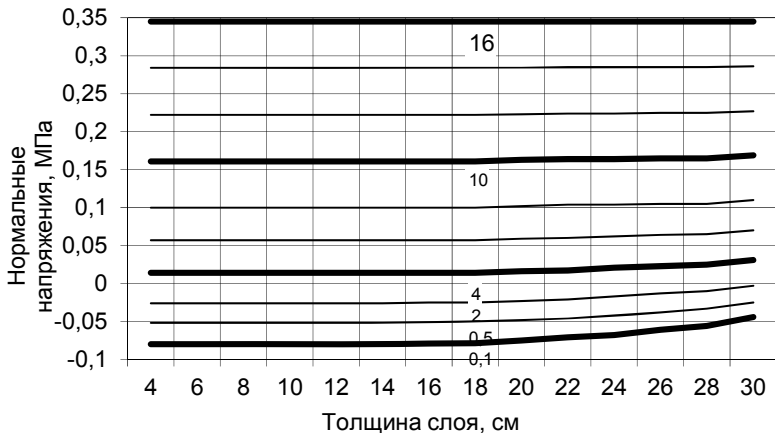


Рис. 8.5. Номограмма к определению касательных напряжений в нижних слоях дорожной одежды

По номограмме (рис. 8.6) найдем

$$\sigma = -0,02 \text{ Па.}$$



На кривых - отношение модуля верхнего слоя к подстилающему полупространству

Рис. 8.6. Номограмма к определению нормальных напряжений в нижних слоях дорожной одежды

Вычисляем:

$$\frac{CK}{B_p K_3} + \sigma \operatorname{tg} \varphi = \frac{0,29 \cdot 0,80}{1,0 \cdot 1,1} + |-0,02| \operatorname{tg} 38 = 0,23 \text{ МПа,}$$

где $C = 0,29$ МПа (внутреннее сцепление, табл. П7.2 прил. 7)

$$\tau = 0,16 < 0,23.$$

Условие выполняется.

Проверяем условие устойчивости для песчаного асфальтобетона.

Вычисляем средний модуль упругости 1, 2 и 3 слоев:

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + E_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_3} = \frac{660 \cdot 6 + 460 \cdot 8 + 460 \cdot 2}{6 + 8 + 2} = 535 \text{ МПа.}$$

Находим отношение:

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_3^{\text{III}}} = \frac{535}{195} = 2,74.$$

По номограмме (см. рис. 8.5) для толщины слоя 16 см и отношения модулей 2,74 найдем

$$\tau = 0,14 \text{ МПа.}$$

По номограмме (см. рис. 8.6) найдем

$$\sigma = -0,02 \text{ МПа.}$$

Вычисляем:

$$\frac{CK}{B_p K_3} + \sigma \operatorname{tg} \varphi = \frac{0,37 \cdot 0,80}{1,0 \cdot 1,1} + |-0,02| \operatorname{tg} 38 = 0,29 \text{ МПа,}$$

где $C = 0,37$ МПа (внутреннее сцепление, табл. П7.2 прил. 7)

$$\tau = 0,14 < 0,29 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется.

9. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛА МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ И ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

9.1. Основы теории и методика расчета устойчивости материала монолитных слоев на совместное действие транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов для загородных дорог и городских улиц

Условие устойчивости материала покрытия на совместное действие транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов имеет вид

$$\psi \leq [\psi], \quad (9.1)$$

где ψ – фактический уровень повреждаемости материала покрытия от совместного действия транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов;

$[\psi]$ – предельно-допустимый уровень повреждаемости, принимается равным 0,5.

Для определения фактического уровня повреждаемости материала покрытия необходимо подготовить следующие исходные данные:

1. Суммарную интенсивность движения за весь срок службы, которая определяется по формуле (1.26) (раздел А) при $T_{рдг}$, равном 365 сут, $\Sigma N_p P_p(n)$, осей/сут;

2. Растягивающие напряжения в слое покрытия σ_p , МПа;
3. Прочность материала на изгиб $R_{и}$, МПа;
4. Предельную структурную прочность материала R_c , МПа;
5. Расчетный срок службы T , лет.

Расчетная осевая нагрузка принимается равной нагрузке, на основании которой выполняется расчет на упругий прогиб. Расчетный срок службы принимают по разделу «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве» в зависимости от категории.

Для вычисления растягивающих напряжений в монолитных слоях дорожной одежды пользуются номограммами, представленными на рис. 9.2–9.4. Расчетная температура составляет 0 °С.

Номограммой, представленной на рис. 9.2, пользуются для определения растягивающих напряжений в нижней части слоя при обеспечении его сцепления со слоем, лежащим ниже.

Номограммой, представленной на рис. 9.3 пользуются для определения растягивающих напряжений в верхней части (для верхнего слоя покрытия) при обеспечении сцепления расчетного слоя с нижележащим.

Номограммой, представленной на рис. 9.4, пользуются для определения растягивающих напряжений в нижней части слоя при не обеспеченном сцеплении между слоями.

Примечание. В целом номограммой, представленной на рис. 9.4, пользуются для определения растягивающих напряжений для нижнего монолитного слоя, уложенного на неукрепленное основание. Для остальных слоев используют две номограммы (см. рис. 9.2, 9.3). Для расчета принимают большее значение.

Для расчетов принимаются модули: для верхнего слоя (если больше одного слоя) – средневзвешенный; для нижнего слоя (эквивалентный) – по номограмме 2.9. Расчетные модули материала слоев принимаются при температуре 0°C .

Для дальнейших расчетов принимается большее значение растягивающих напряжений.

Напряжения, определенные по представленным выше номограммам, изменяются в зависимости от вида расчетной нагрузки на величину: 100 кН на 0,93; 115 кН на 1,00; 130 кН на 1,12.

При неизвестном составе и интенсивности транспортного потока суммарную интенсивность за весь расчетный срок службы до капитального ремонта определяют обратным расчетом исходя из требуемого минимального модуля дорожной конструкции $E_{\text{тр}}$, принимая $T_{\text{рдг}} = 365$ дней.

Значения $R_{\text{и}}$ и $R_{\text{с}}$ определяют экспериментально либо принимают по таблицам.

Фактический уровень повреждаемости рассчитывают по следующей методике:

1. Определяют интенсивность движения по сезонам года:

$$N_{\text{сез}} = (\sum N_{\text{р}} P_{\text{р(и)}}) \alpha. \quad (9.2)$$

Коэффициент α принимают в зависимости от поры года в соответствии с табл. 9.1.

Таблица 9.1

	Весна	Лето	Осень	Зима
α	0,1	0,41	0,22	0,27
β	1	1,5	1,2	1,6
m	9	9	9	9

2. Определяют предельное число циклов нагружения для каждого сезона:

$$N_{\text{сез}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m. \quad (9.3)$$

Коэффициенты β и m принимают в зависимости от поры года по табл. 9.1.

3. Определяют уровень работоспособности по сезонам:

$$F_{\text{сез}} = 1 - \frac{N_{\text{сез}}}{N_{\text{сез}}^n}. \quad (9.4)$$

4. Вычисляют уровень работоспособности, приведенный к весеннему периоду:

$$F_{\text{п}} = F_{\text{весна}} - \left(1 - \frac{1,2R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}}\right)(1 - F_{\text{лето}}) - \left(1 - \frac{R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}}\right)(1 - F_{\text{осень}}) - \left(1 - \frac{1,5R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}}\right)(1 - F_{\text{зима}}). \quad (9.5)$$

5. Определяют уровень работоспособности от перепадов температур:

$$F_T = 1 - k_{v1}T; \quad (9.6)$$

$$k_{v1} = \left(\frac{R_n p_{v1}}{R_c} \right)^6, \quad (9.7)$$

где p_{v1} для верхнего слоя принимается равным 0,80; для средних слоев – 0,75; для нижнего монолитного слоя – 0,70.

6. Определяют уровень работоспособности от попеременного замораживания и оттаивания:

$$F_M = 1 - k_{v11}T; \quad (9.8)$$

$$k_{v11} = \frac{R_n W p_{v11}}{R_c}, \quad (9.9)$$

где W – водонасыщение материала монолитного слоя, %.

Значение водонасыщения принимается по данным подбора состава либо по СТБ 1033.

Значение p_{v11} принимается по табл. 9.2.

Таблица 9.2

Расчетная осевая нагрузка, кН	p_{v11} в зависимости от $\sum N_p P_{p(n)}$		
	Менее 100 000 осей	От 100 000 до 2 500 000 осей	Свыше 2 500 000 осей
100	0,013	0,012	0,014
115	0,014	0,013	0,016
130	0,016	0,015	0,020

Примечание. Значения таблицы справедливы для расчетов верхнего слоя покрытия (непосредственно воспринимающего воздействие транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов). Для средних монолитных слоев значения таблицы необходимо уменьшать в 4 раза, для нижних монолитных слоев и верхних с защитным – в 2,5 раза.

7. Определяют уровень повреждаемости от температуры:

$$\psi_T = 1 - F_T^{3,8(1-F_T)-0,4}. \quad (9.10)$$

8. Определяют уровень повреждаемости от попеременного замораживания оттаивания.

$$\psi_M = 1 - F_M^{3,8(1-F_M)-0,4}. \quad (9.11)$$

9. Определяют общий приведенный уровень работоспособности:
– от температурных факторов:

$$F_T^n = 0,3F_T + (1 - \psi_T)0,7; \quad (9.12)$$

– от попеременного замораживания оттаивания:

$$F_M^n = 0,4F_M + (1 - \psi_M)0,6. \quad (9.13)$$

10. Определяют общий приведенный уровень работоспособности:

$$F_o = F_n - (1 - F_T^n) - (1 - F_M^n). \quad (9.14)$$

11. Определяют общий уровень повреждаемости:

$$\psi = 1 - F_o^{3,8(1-F_o)-0,4}. \quad (9.15)$$

Проверяют условие (9.1). Если оно не выполняется, увеличивают толщину покрытия (или основания) до его выполнения. Также проектная организация может ограничить максимальный уровень водонасыщения и указать его в задании на подбор состава материала.

На практике удобно построить график зависимости уровня повреждаемости от толщины покрытия (основания) и по предельному уровню найти требуемую толщину.

9.2. Расчет устойчивости материала монолитных слоев на совместное действие транспортной нагрузки и погодных-климатических факторов в курсовом проекте

Условие устойчивости материала покрытия на совместное действие транспортной нагрузки и погодных-климатических принимаем по формуле (9.1).

Составляем расчетную схему конструкции дорожной одежды со слоями усиления. Модули упругости подставляем при температуре 0 °С (рис. 9.1).

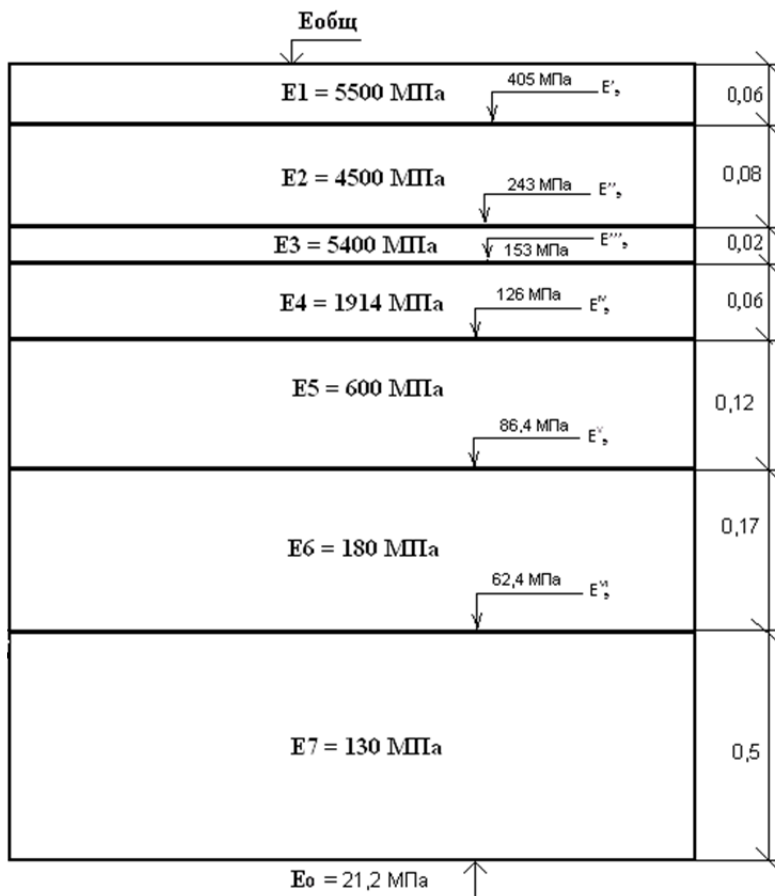


Рис. 9.1. Конструкция дорожной одежды

Расчетные характеристики материалов конструктивных слоев принимаем по прил. 7 и 8.

Слой 1 – щебеночный асфальтобетон на модифицированном битуме БМА 100/130:

– модуль упругости при температуре 0 °С – 5500 МПа (табл. П7.1 прил. 7);

– предельная структурная прочность – 9 МПа (табл. П8.1 прил. 8);

– прочность на изгиб – 5,7 МПа (табл. П8.1 прил. 8).

Слой 2 – крупнозернистый плотный асфальтобетон на битуме БНД 60/90:

– модуль упругости при температуре 0 °С – 4500 МПа;

– предельная структурная прочность – 7,5 МПа;

– прочность на изгиб – 5,5 МПа.

Слой 3 – песчаный асфальтобетон тип Г марки II на битуме БНД 60/90:

– модуль упругости при температуре 0 °С – 5400 МПа ($4500 \cdot 1,2 = 5400$ МПа);

– предельная структурная прочность – 10 МПа;

– прочность на изгиб – 6 МПа.

Слой 4 – старый асфальтобетон (горячий пористый к/з а/б на битуме БНД 90/130):

– модуль упругости при температуре 0 °С – $(E \cdot K_n) = 2200 \cdot 0,87 = 1914$ МПа.

Слой 5 – ПГС, укрепленная цементом:

– модуль упругости – 600 МПа.

Слой 6 – ПГС:

– модуль упругости – 180 МПа.

Слой 7 – песок крупнозернистый:

– модуль упругости – 130 МПа.

Грунт земляного полотна:

– модуль упругости – 21,2 МПа.

Вычисляем эквивалентные модули упругости на контактах слоев с использованием номограммы (рис. 2.9).

Поскольку диаметр отпечатка следа колеса принят для нагрузки A_3 , расчет ведется по всем слоям.

Расчет ведем снизу вверх:

$$h_7 / D = 50 / 41 = 1,22;$$

$$E_0 / E_7 = 21,2 / 130 = 0,163.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_9^{VI} / E_7 = 0,48;$$

$$E_9^{VI} = 0,48 \cdot 130 = 62,4 \text{ МПа};$$

$$h_6 / D = 17 / 41 = 0,41;$$

$$E_9^{VI} / E_6 = 62,4 / 180 = 0,35.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_9^V / E_6 = 0,48;$$

$$E_9^V = 0,48 \cdot 180 = 86,4 \text{ МПа};$$

$$h_5 / D = 12 / 41 = 0,29;$$

$$E_9^V / E_5 = 86,4 / 600 = 0,144.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_9^{IV} / E_5 = 0,21;$$

$$E_9^{IV} = 0,21 \cdot 600 = 126 \text{ МПа};$$

$$h_4 / D = 6 / 41 = 0,15;$$

$$E_9^{IV} / E_4 = 126 / 1914 = 0,066.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_9^{III} / E_4 = 0,08;$$

$$E_9^{III} = 0,08 \cdot 1914 = 153 \text{ МПа};$$

$$h_3 / D = 2 / 41 = 0,05;$$

$$E_3^{\text{III}} / E_3 = 153 / 5400 = 0,028.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_3^{\text{II}} / E_3 = 0,045;$$

$$E_3^{\text{II}} = 0,045 \cdot 5400 = 243 \text{ МПа};$$

$$h_2 / D = 8 / 41 = 0,195;$$

$$E_3^{\text{II}} / E_2 = 243 / 4500 = 0,054.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_3^{\text{I}} / E_2 = 0,09;$$

$$E_3^{\text{I}} = 0,09 \cdot 4500 = 405 \text{ МПа}.$$

Определяем суммарную интенсивность движения за весь срок службы (11 лет).

$$T_{\text{рдг}} = 365 \text{ дней}.$$

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{\text{сн}}-1)}} T_{\text{рдг}} k_n = 0,7 \cdot 47 \cdot \frac{11,6}{1,01^{11-1}} \cdot 365 \cdot 1,38 = 61960 \text{ авт.}$$

$$K_c = \frac{1,01^{11} - 1}{1,01 - 1} = 11,6.$$

Определяем растягивающие напряжения в монолитных слоях.

Слой 1. Верхний слой покрытия – щебеночный асфальтобетон на модифицированном битуме БМА 100/130:

$$\frac{E_1}{E_3} = \frac{5500}{405} = 13,58.$$

Растягивающие напряжения в нижней части слоя (сцепление с нижележащим слоем обеспечено) для толщины слоя 6 см (см. рис. 9.2) – 0 МПа.

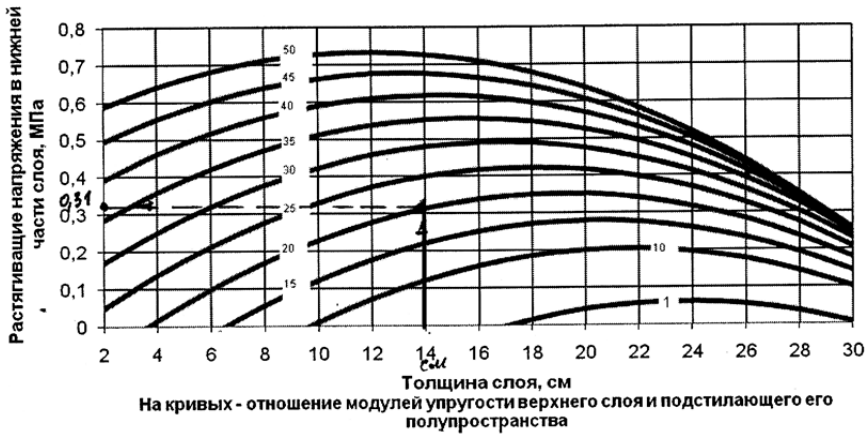


Рис. 9.2. Номограмма для определения растягивающих напряжений в монолитных слоях дорожной одежды при наличии их сцепления с нижележащими слоями

Растягивающие напряжения в верхней части слоя для толщины слоя 6 см (см. рис. 9.3) – 0,12 МПа.

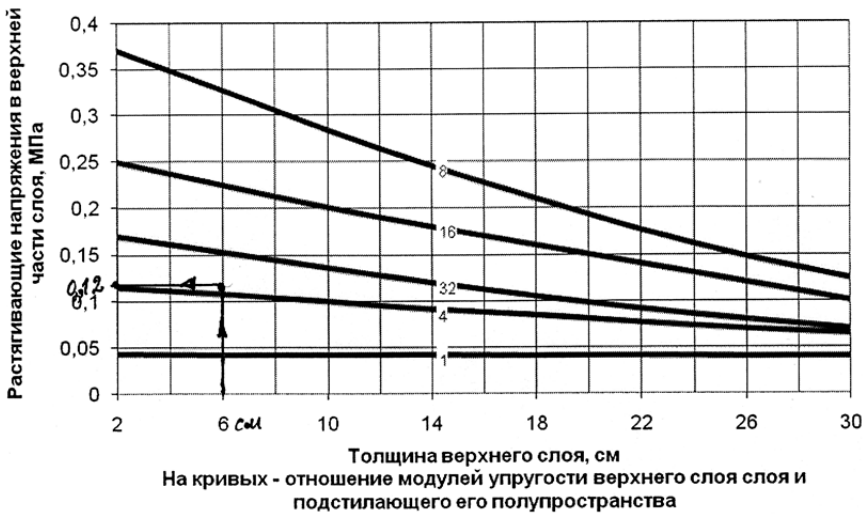


Рис. 9.3. Номограмма для определения растягивающих напряжений в верхних монолитных слоях дорожной одежды

Слой 2 – крупнозернистый плотный асфальтобетон на битуме БНД 60/90:

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_3''} = \frac{(5500 \cdot 6 + 4500 \cdot 8)/14}{243} = 20,28.$$

Растягивающие напряжения в нижней части слоя (сцепление с нижележащим слоем обеспечено) для общей толщины слоя $(6 + 8) = 14$ см (см. рис. 9.2) – 0,31 МПа.

Слой 3 – песчаный асфальтобетон тип Г марки II на битуме БНД 60/90:

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_3'''} = \frac{(5500 \cdot 6 + 4500 \cdot 8 + 5400 \cdot 2)/16}{153} = 32,84.$$

Растягивающие напряжения в нижней части слоя (сцепление с нижележащим, старым, слоем отсутствует) для общей толщины слоя $6 + 8 + 2 = 16$ см (рис. 9.4) – 1,1 МПа.

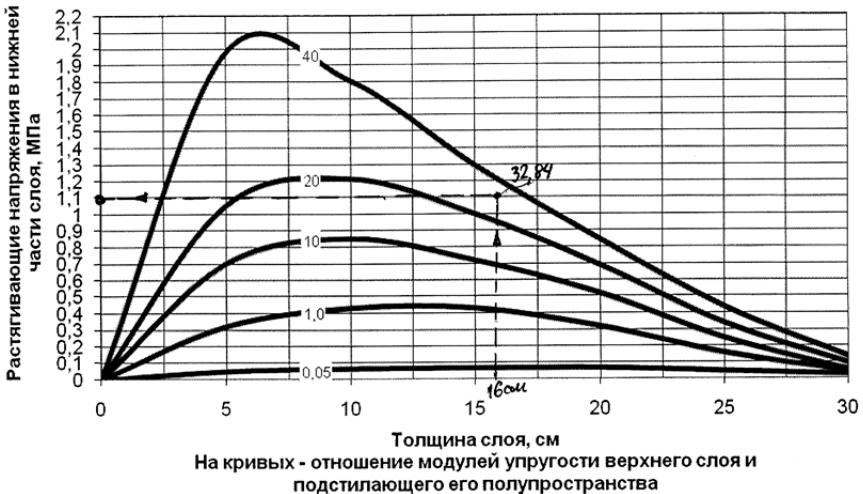


Рис. 9.4. Номограмма для определения растягивающих напряжений в монолитных слоях дорожной одежды при отсутствии их сцепления с нижележащими слоями

Напряжения, определенные по представленным выше номограммам, изменяются в зависимости от вида расчетной нагрузки: 130 кН – повышающий коэффициент 1,12 для нагрузки A_3 .

– слой 1: $\sigma = 0,12 \cdot 1,12 = 0,14$ МПа;

– слой 2: $\sigma = 0,31 \cdot 1,12 = 0,35$ МПа;

– слой 3: $\sigma = 1,25 \cdot 1,12 = 1,23$ МПа.

Значения $R_{и}$ и R_c определяем по табл. П8.1 прил. 8.

$p_{и}$ для верхнего слоя принимаем равным 0,80; для средних слоев – 0,75; для нижнего монолитного слоя – 0,70.

Коэффициент α принимаем в зависимости от поры года в соответствии с табл. 9.1.

Расчет фактического уровня повреждаемости.

Слой 1 – щебеночный асфальтобетон на модифицированном битуме БМА 100/130:

Интенсивность движения по сезонам:

$$N_{\text{весна}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,1 = 6\,196 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{лето}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,41 = 254\,046 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{осень}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,22 = 13\,631 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{зима}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,27 = 16\,729 \text{ авт.}$$

Предельное число циклов нагружения для каждого сезона:

$$N_{\text{весна}}^n = \left(\beta \frac{R_{и}}{\sigma} \right)^m = \left(1 \cdot \frac{5,7}{0,14} \right)^9 = 3,07 \cdot 10^{14}, \quad \sigma = 0,14 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{лето}}^n = \left(\beta \frac{R_{и}}{\sigma} \right)^m = \left(1,5 \cdot \frac{5,7}{0,14} \right)^9 = 1,18 \cdot 10^{16}, \quad R_{и} = 5,7 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{осень}}^n = \left(\beta \frac{R_{и}}{\sigma} \right)^m = \left(1,2 \cdot \frac{5,7}{0,14} \right)^9 = 1,59 \cdot 10^{15}, \quad R_c = 9,0 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{зима}}^n = \left(\beta \frac{R_{и}}{\sigma} \right)^m = \left(1,6 \cdot \frac{5,7}{0,14} \right)^9 = 2,11 \cdot 10^{16}.$$

Уровень работоспособности по сезонам:

$$F_{\text{весна}} = 1 - \frac{N_{\text{весна}}}{N_{\text{весна}}^{\text{п}}} = 1 - \frac{6196}{3,07 \cdot 10^{14}} = 1,0;$$

$$F_{\text{лето}} = 1 - \frac{N_{\text{лето}}}{N_{\text{лето}}^{\text{п}}} = 1 - \frac{25404}{1,18 \cdot 10^{16}} = 1,0;$$

$$F_{\text{осень}} = 1 - \frac{N_{\text{осень}}}{N_{\text{осень}}^{\text{п}}} = 1 - \frac{13631}{1,59 \cdot 10^{15}} = 1,0;$$

$$F_{\text{зима}} = 1 - \frac{N_{\text{зима}}}{N_{\text{зима}}^{\text{п}}} = 1 - \frac{16729}{2,11 \cdot 10^{16}} = 1,0.$$

Уровень работоспособности, приведенный к весеннему периоду:

$$F_{\text{п}} = F_{\text{весна}} - \left(1 - \frac{1,2R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}}\right)(1 - F_{\text{лето}}) - \left(1 - \frac{R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}}\right)(1 - F_{\text{осень}}) - \\ - \left(1 - \frac{1,5R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}}\right)(1 - F_{\text{зима}}) = 1,0.$$

Таким образом, влияние транспортной нагрузки при данной толщине слоев и низкой интенсивности движения незначительно. Развитие усталостных деформаций в виде сетки трещин маловероятно. Это подтверждает и опыт эксплуатации дорожных одежд с трехслойным покрытием на укрепленном основании.

Уровень работоспособности от перепадов температур:

$$F_{\text{т}} = 1 - k_{\text{в1}}T = 1 - 0,017 \cdot 13 = 0,81;$$

$$k_{\text{в1}} = \left(\frac{5,7 \cdot 0,8}{9}\right)^6 = 0,017.$$

Уровень работоспособности от попеременного замораживания и оттаивания:

$$F_M = 1 - k_{v11}T = 1 - 0,03 \cdot 11 = 0,66;$$

$$k_{v11} = \frac{R_n W p_{v11}}{R_c} = \frac{5,7 \cdot 3 \cdot 0,016}{9} = 0,03,$$

где W – водонасыщение, материала монолитного слоя, %.

Значение водонасыщения принимаем по СТБ 1033 (табл. 9.3) ($W = 3\%$). Значение p_{v11} принимаем по табл. 9.2.

Таблица 9.3

Показатели физико-механических свойств плотных асфальтобетонов из горячих и теплых смесей в зависимости от марки

Наименование показателя	Нормы для асфальтобетонов из смесей марок		
	I	II	III
Водонасыщение, % по объему, для асфальтобетонов типов:			
А	1,0–4,0	1,0–4,0	–
Б и Г	1,0–4,0	1,0–4,0	1,0–4,0
В и Д	–	1,0–4,0	1,0–4,0
щебеночно-мастичных (С)	0,5–3,0	–	–

Уровень повреждаемости от температуры:

$$\psi_T = 1 - F_T^{3,8(1-F_T)-0,4} = 1 - 0,81^{3,8(1-0,81)-0,4} = 0,061.$$

Уровень повреждаемости от попеременного замораживания и оттаивания:

$$\psi_M = 1 - F_M^{3,8(1-F_M)-0,4} = 1 - 0,66^{3,8(1-0,66)-0,4} = 0,298.$$

Общий приведенный уровень работоспособности:
– от температурных факторов:

$$F_T^n = 0,3F_T + (1 - \psi_T)0,7 = 0,3 \cdot 0,81 + (1 - 0,061)0,7 = 0,9.$$

– от попеременного замораживания оттаивания:

$$F_M^n = 0,4F_M + (1 - \psi_M)0,6 = 0,4 \cdot 0,66 + (1 - 0,298)0,6 = 0,69.$$

Общий приведенный уровень работоспособности:

$$F_o = F_n - (1 - F_T^n) - (1 - F_M^n) = 1 - (1 - 0,9) - (1 - 0,69) = 0,59.$$

Общий уровень повреждаемости:

$$\psi = 1 - F_o^{3,8(1 - F_o) - 0,4} = 1 - 0,59^{3,8(1 - 0,59) - 0,4} = 0,46.$$

Общий уровень повреждаемости ниже предельно допустимого значения $[\psi] = 0,5$:

$$\psi \leq [\psi];$$

$$0,46 \leq 0,5.$$

Расчет показал, что основным видом возможных усталостных деформаций рассматриваемой конструкции будут температурные и коррозионные. Это также подтверждает опыт эксплуатации.

Слой 2 – крупнозернистый плотный асфальтобетон на битуме БНД 60/90.

Интенсивность движения по сезонам:

$$N_{\text{весна}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,1 = 6\,196 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{лето}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,41 = 254\,046 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{осень}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,22 = 13\,631 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{зима}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,27 = 16\,729 \text{ авт.}$$

Предельное число циклов нагружения для каждого сезона:

$$N_{\text{весна}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m = \left(1 \cdot \frac{5,5}{0,35} \right)^9 = 5,84 \cdot 10^{10}, \quad \sigma = 0,35 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{лето}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m = \left(1,5 \cdot \frac{5,5}{0,35} \right)^9 = 2,25 \cdot 10^{12}, \quad R_{\text{и}} = 5,5 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{осень}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m = \left(1,2 \cdot \frac{5,5}{0,35} \right)^9 = 3,02 \cdot 10^{11}, \quad R_{\text{с}} = 7,5 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{зима}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m = \left(1,6 \cdot \frac{5,5}{0,35} \right)^9 = 4,02 \cdot 10^{12}.$$

Уровень работоспособности по сезонам:

$$F_{\text{весна}} = 1 - \frac{N_{\text{весна}}}{N_{\text{весна}}^n} = 1 - \frac{6196}{5,84 \cdot 10^{10}} = 1,0;$$

$$F_{\text{лето}} = 1 - \frac{N_{\text{лето}}}{N_{\text{лето}}^n} = 1 - \frac{25404}{2,25 \cdot 10^{12}} = 1,0;$$

$$F_{\text{осень}} = 1 - \frac{N_{\text{осень}}}{N_{\text{осень}}^n} = 1 - \frac{13631}{3,02 \cdot 10^{11}} = 1,0;$$

$$F_{\text{зима}} = 1 - \frac{N_{\text{зима}}}{N_{\text{зима}}^n} = 1 - \frac{16729}{4,02 \cdot 10^{12}} = 1,0.$$

Приведенный к весеннему периоду уровень работоспособности:

$$F_{\text{п}} = F_{\text{весна}} - \left(1 - \frac{1,2R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}} \right) (1 - F_{\text{лето}}) - \left(1 - \frac{R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}} \right) (1 - F_{\text{осень}}) - \\ - \left(1 - \frac{1,5R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}} \right) (1 - F_{\text{зима}}) = 1,0.$$

Таким образом, влияние транспортной нагрузки при данной толщине слоев и низкой интенсивности движения несущественно. Развитие усталостных деформаций в виде сетки трещин маловероятно.

Уровень работоспособности от перепадов температур:

$$F_T = 1 - k_{v1}T = 1 - 0,028 \cdot 11 = 0,7;$$

$$k_{v1} = \left(\frac{5,5 \cdot 0,75}{7,5} \right)^6 = 0,028.$$

Уровень работоспособности от попеременного замораживания оттаивания:

$$F_M = 1 - k_{v11}T = 1 - 0,009 \cdot 11 = 0,9;$$

$$k_{v11} = \frac{R_n W p_{v11}}{R_c} = \frac{5,5 \cdot 3 \cdot 0,004}{7,5} = 0,009;$$

$$p_{v11} = 0,016 / 4 = 0,004 \text{ (см. табл. 9.2),}$$

где W – водонасыщение материала монолитного слоя, %. Значение водонасыщения принимаем по СТБ 1033 табл. 9.2 и 9.3 ($W = 3\%$).

Уровень повреждаемости от температуры:

$$\psi_T = 1 - F_T^{3,8(1-F_T)-0,4} = 1 - 0,7^{3,8(1-0,7)-0,4} = 0,24.$$

Уровень повреждаемости от попеременного замораживания оттаивания:

$$\psi_M = 1 - F_M^{3,8(1-F_M)-0,4} = 1 - 0,9^{3,8(1-0,9)-0,4} = -0,003.$$

Принимаем $\psi_M = 0$.

Общий приведенный уровень работоспособности:
– от температурных факторов:

$$F_T^n = 0,3F_T + (1 - \psi_T)0,7 = 0,3 \cdot 0,7 + (1 - 0,24) \cdot 0,7 = 0,74;$$

– от попеременного замораживания оттаивания:

$$F_M^n = 0,4F_M + (1 - \psi_M)0,6 = 0,4 \cdot 0,9 + (1 - 0) \cdot 0,6 = 0,96.$$

Общий приведенный уровень работоспособности:

$$F_o = F_n - (1 - F_T^n) - (1 - F_M^n) = 1 - (1 - 0,74 - (1 - 0,96)) = 0,7.$$

Общий уровень повреждаемости:

$$\psi = 1 - F_o^{3,8(1 - F_o) - 0,4} = 1 - 0,7^{3,8(1 - 0,7) - 0,4} = 0,23.$$

Общий уровень повреждаемости ниже предельно допустимого значения $[\psi] = 0,5$.

$$\psi \leq [\psi];$$

$$0,23 \leq 0,5.$$

Расчет показал, что основным видом возможных усталостных деформаций рассматриваемой конструкции будут температурные и коррозионные. Это также подтверждает опыт эксплуатации.

Слой 3 – песчаный асфальтобетон тип Г марки II на битуме БНД 60/90.

Интенсивность движения по сезонам:

$$N_{\text{весна}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,1 = 6\,196 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{лето}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,41 = 254\,046 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{осень}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,22 = 13\,631 \text{ авт.};$$

$$N_{\text{зима}} = \sum N_p \alpha = 61\,960 \cdot 0,27 = 16\,729 \text{ авт.}$$

Предельное число циклов нагружения для каждого сезона:

$$N_{\text{весна}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m = \left(1 \cdot \frac{6}{1,23} \right)^9 = 1,56 \cdot 10^6, \quad \sigma = 1,23 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{лето}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m = \left(1,5 \cdot \frac{6}{1,23} \right)^9 = 6,01 \cdot 10^7, \quad R_{\text{и}} = 6,0 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{осень}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m = \left(1,2 \cdot \frac{6}{1,23} \right)^9 = 8,07 \cdot 10^6, \quad R_{\text{с}} = 10 \text{ МПа};$$

$$N_{\text{зима}}^n = \left(\beta \frac{R_{\text{и}}}{\sigma} \right)^m = \left(1,6 \cdot \frac{6}{1,23} \right)^9 = 1,08 \cdot 10^8.$$

Уровень работоспособности по сезонам:

$$F_{\text{весна}} = 1 - \frac{N_{\text{весна}}}{N_{\text{весна}}^n} = 1 - \frac{6196}{1,56 \cdot 10^6} = 1,0;$$

$$F_{\text{лето}} = 1 - \frac{N_{\text{лето}}}{N_{\text{лето}}^n} = 1 - \frac{25404}{6,01 \cdot 10^7} = 1,0;$$

$$F_{\text{осень}} = 1 - \frac{N_{\text{осень}}}{N_{\text{осень}}^n} = 1 - \frac{13631}{8,07 \cdot 10^6} = 1,0;$$

$$F_{\text{зима}} = 1 - \frac{N_{\text{зима}}}{N_{\text{зима}}^n} = 1 - \frac{16729}{1,08 \cdot 10^8} = 1,0.$$

Уровень работоспособности, приведенный к весеннему периоду:

$$F_{\text{п}} = F_{\text{весна}} - \left(1 - \frac{1,2R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}} \right) (1 - F_{\text{лето}}) - \left(1 - \frac{R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}} \right) (1 - F_{\text{осень}}) - \\ - \left(1 - \frac{1,5R_{\text{и}}}{R_{\text{с}}} \right) (1 - F_{\text{зима}}) = 1,0.$$

Таким образом, влияние транспортной нагрузки при данной толщине слоев и низкой интенсивности движения несущественно. Развитие усталостных деформаций в виде сетки трещин маловероятно.

Уровень работоспособности от перепадов температур:

$$F_T = 1 - k_{v1} \cdot T = 1 - 0,005 \cdot 11 = 0,94$$

$$k_{v1} = \left(\frac{6 \cdot 0,7}{10} \right)^6 = 0,005.$$

Уровень работоспособности от попеременного замораживания оттаивания:

$$F_M = 1 - k_{v11} T = 1 - 0,012 \cdot 11 = 0,87;$$

$$k_{v11} = \frac{R_n W p_{v11}}{R_c} = \frac{6 \cdot 3 \cdot 0,0064}{10} = 0,012;$$

$$p_{v11} = 0,016 / 2,5 = 0,0064,$$

где W – водонасыщение, материала монолитного слоя, %. Значение водонасыщения принимаем по СТБ 1033 табл. 9.2 и 9.3 ($W = 3\%$).

Значение p_{v11} принимаем по табл. 9.2.

Уровень повреждаемости от температуры:

$$\psi_T = 1 - F_T^{3,8(1-F_T)-0,4} = 1 - 0,94^{3,8(1-0,94)-0,4} = -0,011.$$

Принимаем $\psi_T = 0$.

Уровень повреждаемости от попеременного замораживания оттаивания:

$$\psi_M = 1 - F_M^{3,8(1-F_M)-0,4} = 1 - 0,87^{3,8(1-0,87)-0,4} = 0,011.$$

Общий приведенный уровень работоспособности:

– от температурных факторов:

$$F_T^n = 0,3F_T + (1 - \psi_T)0,7 = 0,3 \cdot 0,94 + (1 - 0)0,7 = 0,98;$$

– от попеременного замораживания оттаивания:

$$F_M^n = 0,4F_M + (1 - \psi_M)0,6 = 0,4 \cdot 0,87 + (1 - 0,011)0,6 = 0,94.$$

Общий приведенный уровень работоспособности:

$$F_o = F_n - (1 - F_T^n) - (1 - F_M^n) = 1 - (1 - 0,98 - (1 - 0,94)) = 0,91.$$

Общий уровень повреждаемости:

$$\psi = 1 - F_o^{3,8(1 - F_o) - 0,4} = 1 - 0,91^{3,8(1 - 0,91) - 0,4} = -0,005.$$

Общий уровень повреждаемости ниже предельно допустимого значения $[\psi] = 0,5$:

$$\psi \leq [\psi];$$

$$-0,005 \leq 0,5.$$

Расчет показал, что основным видом возможных усталостных деформаций рассматриваемой конструкции будут температурные и коррозионные.

10. КОНСТРУИОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛИНГА

10.1. Основы теории

10.1.1. Общие положения

В случае необходимости удаления материала старого покрытия либо большой глубины фрезерования с точки зрения предотвращения отраженных дефектов может быть применен способ переработки и восстановления материала старого покрытия определенными методами. На практике в основном распространен метод холодного ресайклинга.

Технология холодного ресайклинга включает следующие операции:

1. Фрезерование материала старого покрытия (возможно и основания).
2. Смешение гранулята с битумной эмульсией и цементом (цементным тестом).
3. Распределение смеси и уплотнение.

Вместо битумной эмульсии можно использовать вспененный битум, что позволяет снизить стоимость работ и повысить прочность материала.

Все эти операции выполняет комплект машин фирмы «Wirtgen» (рис. 10.1).



Рис. 10.1. Холодный «ресайклинг» дорожного покрытия

Важным моментом технологии холодного «ресайклинга» является возможность ввода цементного теста в состав материала. Это позволяет получить бетон на органогидравлическом вяжущем с высокой устойчивостью к пластическим деформациям. Холодный «ресайклинг» можно производить на глубину до 50 см.

В результате смешения дробленого асфальтобетона, битумной эмульсии и цемента получают новый материал – бетон на органогидравлических вяжущих (ОГВ), свойства которого должны соответствовать СТБ 1415–2003.

В результате подбора составов у производителя должны быть отражены следующие показатели в соответствии с СТБ 1415–2003:

- индекс сопротивления пластическим деформациям;
- индекс температурной трещиностойкости;
- показатель предельной структурной прочности;
- коэффициент морозостойкости;
- расчетные характеристики для проектирования дорожной одежды (модуль упругости, предел прочности на изгиб);
- уровень надежности и марка бетона.

При этом состав должен удовлетворять следующим требованиям: соотношение цемент–эмульсия должно находиться в пределах 1,6–1,7, а общее количество вяжущего (цемент плюс эмульсия) должно составлять 7–10 %.

Холодный «ресайклинг» можно осуществить и по двухстадийной технологии, когда материал покрытия удаляют холодным фрезерованием с последующей доставкой на завод и приготовлением бетонов на ОГВ соответствующей марки.

Для приготовления смесей преимущество имеют мобильные установки, оборудованные электронной системой дозирования типа КМА-200 (рис. 10.2).



Рис. 10.2. Мобильная установка по приготовлению бетонов на ОГВ: вверху – в транспортном состоянии; внизу – в развернутом состоянии

10.1.2. Конструирование и расчет дорожных одежд при применении технологии холодного ресайклинга

При применении технологии холодного ресайклинга старое асфальтобетонное покрытие сохраняется. Соответственно сохраняются отметки продольного профиля.

В соответствии с технологией материал старого покрытия (частично или полностью) перерабатывают и получают конструктивный слой из нового материала, бетона на органигидравлических вяжущих (ОГВ) в соответствии с СТБ 1415–2003. Бетон на ОГВ имеет более высокие расчетные характеристики, что позволяет произвести усиление слоями асфальтобетона меньшей толщины.

Конструкция дорожной одежды имеет вид, представленный на рис. 10.3.

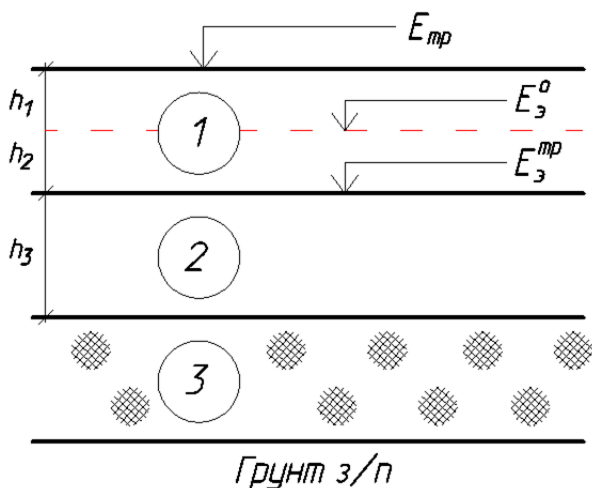


Рис. 10.3. Конструкция дорожной одежды при применении технологии холодного ресайклинга:

1 – слой усиления; 2 – бетона на ОГВ; 3 – существующая дорожная одежда

Конструкция включает:

1. Слои усиления в виде двухслойного асфальтобетонного покрытия. Нижний слой покрытия является несущим и одновременно выполняет функции выравнивающего слоя. Материалы для устрой-

ства слоев выбирают по методике раздела «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве».

2. Слой из бетона на ОГВ, полученный в результате переработки старого асфальтобетона.

3. Оставшиеся конструктивные слои старой дорожной одежды.

Расчет конструкции выполняют по всем критериям прочности в соответствии с разделом «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве» по следующей методике:

1. Определяется требуемый модуль упругости дорожной одежды.

2. Задаются минимальные толщины слоев усиления (h_1 и h_2).

3. Расчетом сверху вниз по номограмме 2.9 определяется требуемый модуль упругости на поверхности бетона на ОГВ (см. рис. 10.3).

4. Задается марка бетона на ОГВ и определяются его расчетные характеристики.

5. Задается некоторая толщина слоя бетона на ОГВ h_0 .

6. Расчетом сверху вниз находится эквивалентный требуемый модуль основания под бетон на ОГВ (рис. 10.4).

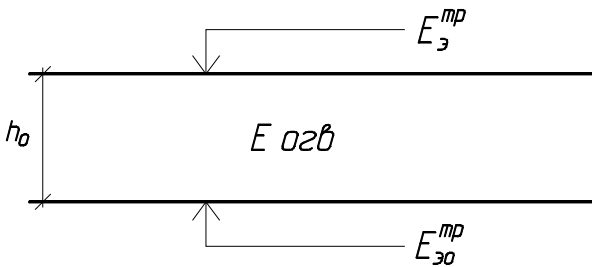


Рис. 10.4. Расчетная схема для определения эквивалентного требуемого модуля основания под бетон на ОГВ

7. Расчетом сверху вниз находится фактический модуль основания под бетон на ОГВ (рис. 10.5).

8. Задается следующая толщина бетона на ОГВ и пп. 6, 7 повторяется.

9. Строится график зависимости $h_0 = f(E_{эф}, E_{отр})$, точка пересечения кривых дает искомое значение $[h_0]$ (рис. 10.6).

10. Проверяется условие трещиностойкости бетона на ОГВ [4].

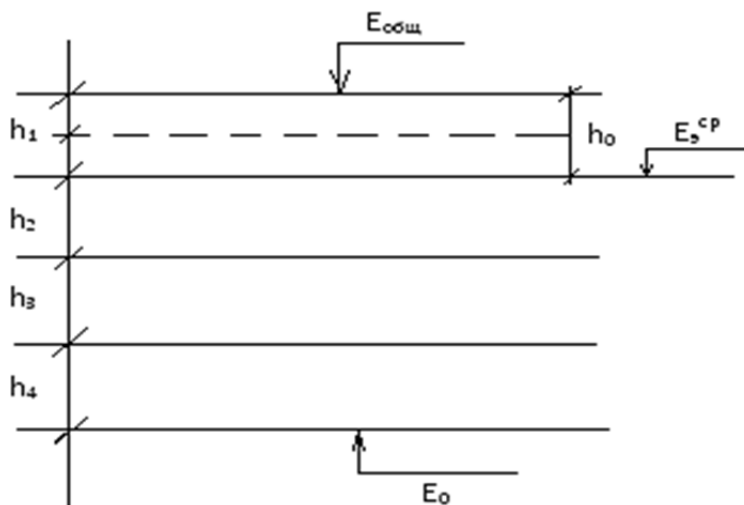


Рис. 10.5. Расчетная схема конструкции дорожной одежды

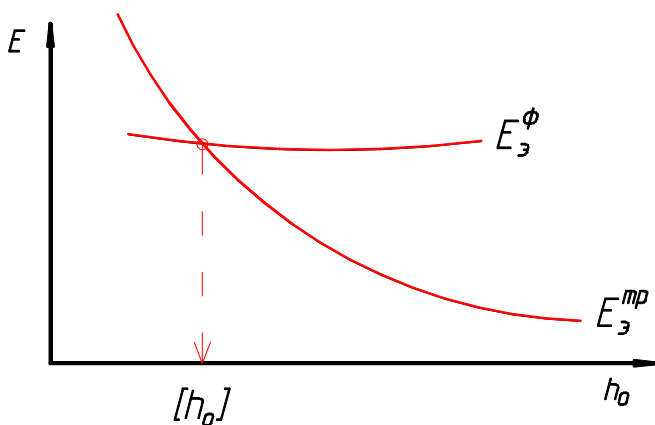


Рис. 10.6. График для определения толщины бетона на ОГВ

11. Проверяются слои усиления и старой дорожной одежды по критериям сдвигоустойчивости и устойчивости к усталостным деформациям. При необходимости конструкцию корректируют.

В отличие от традиционных конструкций, дорожные одежды, содержащие слои из бетона на ОГВ, проверяют на условие устойчивости температурным трещинам.

Отсутствие трещин в регенерированном слое в течение проектного срока службы дорожной одежды гарантировано при выполнении условия

$$\sigma_p^p \leq \frac{[\sigma_p^p]}{k_3}, \quad (10.1)$$

где σ_p^p – растягивающие напряжения в регенерированном слое, МПа;

$[\sigma_p^p]$ – допустимые растягивающие напряжения для материала регенерированного слоя, МПа.

Растягивающие напряжения в регенерированном слое определяют по номограммам в зависимости от толщины регенерированного слоя и модуля упругости материала регенерированного слоя при расчетной температуре -15 °С.

Модуль упругости стабилизированного материала определяют по методике СТБ 1415.

Предельные растягивающие напряжения в регенерированном слое рассчитывают по формуле

$$[\sigma_p^p] = \frac{R_C^p}{N_{пр} \left(\frac{1}{m} \right)}, \quad (10.2)$$

где R_C^p – максимальная структурная прочность материала защитного слоя, определяемая по методике СТБ 1415 либо принимается по прил. 7;

$N_{пр}$ – предельное количество циклов воздействия переменных температур максимальной амплитуды за весь срок службы. Рассчитывается как произведение проектного срока службы на количество циклов воздействия переменных температур за год, которое можно принять равным 27;

m – коэффициент, характеризующий развитие усталостных процессов, принимается равным 6,2.

10.2. Расчет холодного ресайклинга в курсовом проекте

В соответствии с технологией материал старого покрытия (частично или полностью) перерабатывают и получают конструктивный слой из нового материала, бетона на ОГВ в соответствии с СТБ 1415–2003. Бетон на ОГВ имеет более высокие расчетные характеристики, что позволяет произвести усиление слоями асфальтобетона меньшей толщины (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Расчетные характеристики бетонов на ОГВ

Наименование материала	Модуль упругости E , МПа, при расчетной температуре, °С			Внутреннее сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения φ , °	Прочность на изгиб $R_{и}$, МПа	Предельная структурная прочность R_c , МПа
	0	10	50				
Бетон на органо-гидравлическом вяжущем 3 группы марки I по СТБ 1415	4500	3500	500	0,30	42	3,6	6,0
Бетон на органо-гидравлическом вяжущем 3 группы марки II по СТБ 1415	3000	2700	450	0,30	35	2,2	4,5
Бетон на органо-гидравлическом вяжущем 3 группы марки III по СТБ 1415	2000	2200	400	0,15	35	1,7	3,5

Конструкция дорожной одежды имеет вид, представленный на рис. 10.7.

Для устройства верхнего слоя покрытия принимаем щебеночный асфальтобетон (ЩМА_Г) на модифицированном битуме БМА 100/130.

Для устройства нижнего слоя – горячий плотный крупнозернистый асфальтобетон на битуме БНД 60/90.

Примем бетон на ОГВ марки I.

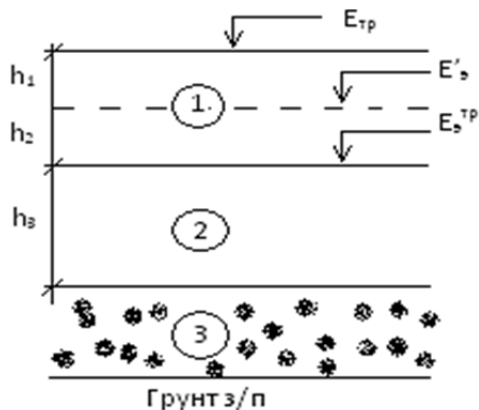


Рис. 10.7. Конструкция дорожной одежды при применении технологии холодного ресайклинга:

1 – слои усиления; 2 – бетона на ОГВ; 3 – существующая дорожная одежда

Составляем расчетную схему для определения эквивалентного требуемого модуля основания под бетон на ОГВ (рис. 10.8).

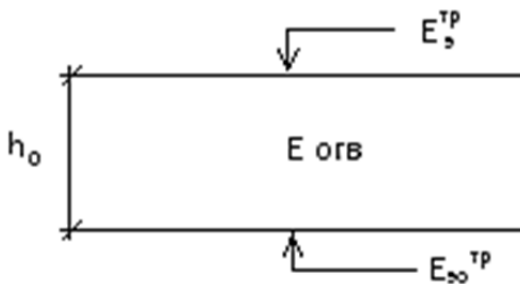


Рис. 10.8. Расчетная схема для определения эквивалентного требуемого модуля основания под бетон на ОГВ

Принимаем толщину верхнего слоя асфальтобетонного покрытия 4 см, нижнего – 6 см. Определяем значение $E_{с'с}^{TP}$ (см. рис. 10.8).

Требуемый модуль упругости (см. выше) составляет 172 МПа.

Определяем отношение:

$$h_1 / D = 4 / 41 = 0,1;$$

$$E_{тр} / E_1 = 172 / 4000 = 0,043.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_3^I / E_1 = 0,045;$$

$$E_3^I = 0,045 \cdot 4000 = 180 \text{ МПа};$$

$$h_2 / D = 6 / 41 = 0,15;$$

$$E_3^I / E_2 = 180 / 3200 = 0,056.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_{\text{этр}} / E_2 = 0,048;$$

$$E_{\text{этр}} = 0,048 \cdot 3200 = 154 \text{ МПа}.$$

Принимаем толщину слоя из бетона на ОГВ 4 см.

Определяем $E_{\text{эо}}^{\text{тр}}$ в соответствии со схемой, представленной на рис. 10.8.

Модуль упругости бетона на ОГВ при 10 °С по табл. 10.1 принимаем равным 3500 МПа:

$$E_{\text{этр}} / E_{\text{огв}} = 154 / 3500 = 0,044;$$

$$h_0 / D = 4 / 41 = 0,1.$$

По номограмме найдем:

$$E_{\text{эотр}} / E_{\text{огв}} = 0,04;$$

$$E_{\text{о}}^{\text{тр}} = 0,04 \cdot 3500 = 140 \text{ МПа}.$$

Определяем фактический модуль основания под бетон на ОГВ в соответствии со схемой, представленной на рис. 10.9.

Толщина верхнего слоя покрытия старой дорожной одежды составляет 4 см. Следовательно, граница между бетоном на ОГВ и основанием пройдет по границе нижнего слоя покрытия.

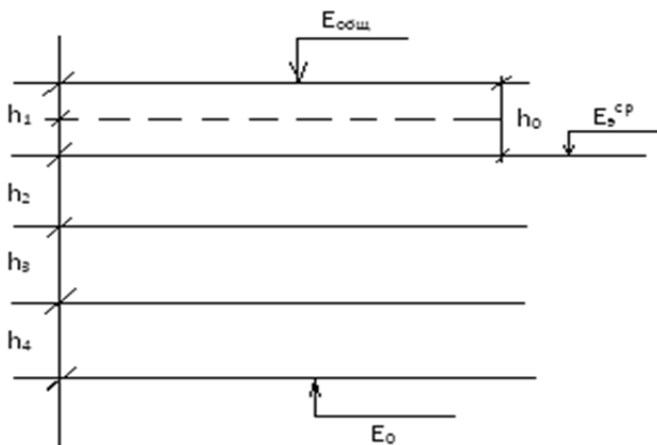


Рис. 10.9. Расчетная схема для определения фактического модуля упругости под бетоном на ОГВ

Фактический модуль упругости старой дорожной одежды составляет 106 МПа (расчет смотри раздел «Конструирование и расчет дорожных одежд при новом строительстве» (рис. 10.10)).

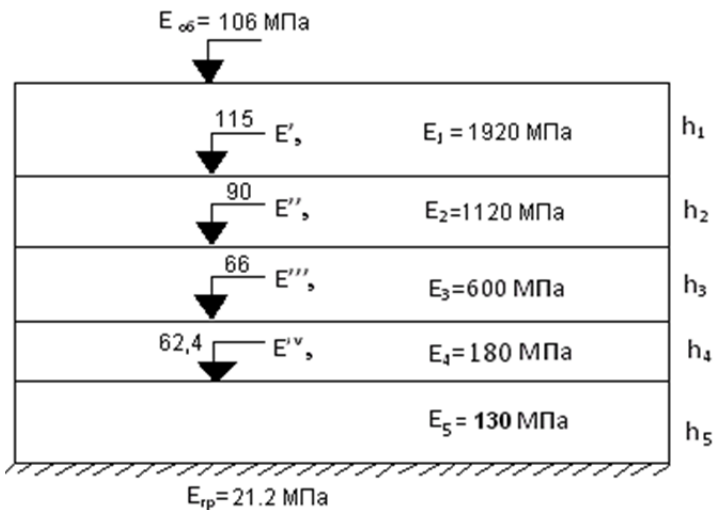


Рис. 10.10. Схема конструкции к определению E_{TP} на поверхности старой дорожной одежды

Модуль упругости асфальтобетона верхнего слоя старой дорожной одежды (см. рис. 10.10) составляет 1920 МПа, нижнего – 1120 МПа.

$$h_1 / D = 4 / 41 = 0,1;$$

$$E_{об} / E_1 = 106 / 1920 = 0,055.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_{эф} / E_1 = 0,06;$$

$$E_{эф} = 0,06 \cdot 1920 = 115 \text{ МПа.}$$

Принимаем толщину бетона на ОГВ 10 см.

Определяем $E_{отр}$:

$$E_{тр} / E_{огв} = 154 / 3500 = 0,044;$$

$$h_0 / D = 10 / 41 = 0,24.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_{э отр} / E_{огв} = 0,03;$$

$$E_{отр} = 0,03 \cdot 3500 = 105 \text{ МПа.}$$

Поскольку суммарная толщина двух слоев асфальтобетона составляет 10 см, то граница бетона на ОГВ проходит по поверхности основания из ПГС, укрепленной цементом.

В соответствии со схемой, изображенной на рис. 10.11, определяем $E_{эф}$.

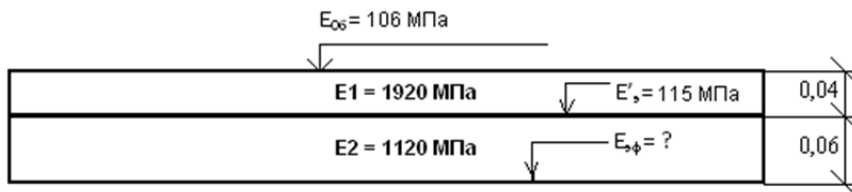


Рис. 10.11. Расчетная схема для определения $E_{эф}$

$$h_3/D = 6/41 = 0,15;$$

$$E_3^1/E_2 = 115/1120 = 0,1.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_{\text{эф}}/E_2 = 0,08;$$

$$E_{\text{эф}} = 0,08 \cdot 1120 = 90 \text{ МПа}.$$

Принимаем толщину бетона на ОГВ 15 см.

В этом случае частичной переработке подвергается основание старой дорожной одежды.

Определяем $E_{\text{э тр}}$:

$$E_{\text{тр}}/E_{\text{огв}} = 154/3500 = 0,044;$$

$$h_0/D = 15/41 = 0,37.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_{\text{э отр}}/E_{\text{огв}} = 0,02;$$

$$E_{\text{о тр}} = 0,02 \cdot 3500 = 70 \text{ МПа}.$$

В соответствии со схемой, изображенной на рис. 10.12, определяем $E_{\text{эф}}$.

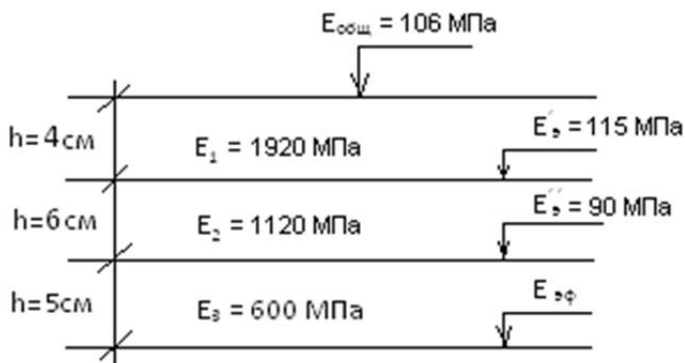


Рис. 10.12. Расчетная схема для определения $E_{\text{эф}}$

$$h_3/D = 5/41 = 0,12;$$

$$E_3^{II} / E_3 = 90/600 = 0,15.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_{\text{эф}} / E_2 = 0,135;$$

$$E_{\text{эф}} = 0,135 \cdot 600 = 81 \text{ МПа.}$$

Строим график зависимости $h_0 = f(E_{\text{эф}}, E_{\text{отр}})$, точка пересечения кривых дает искомое значение $[h_0] = 13 \text{ см}$ (рис. 10.13).

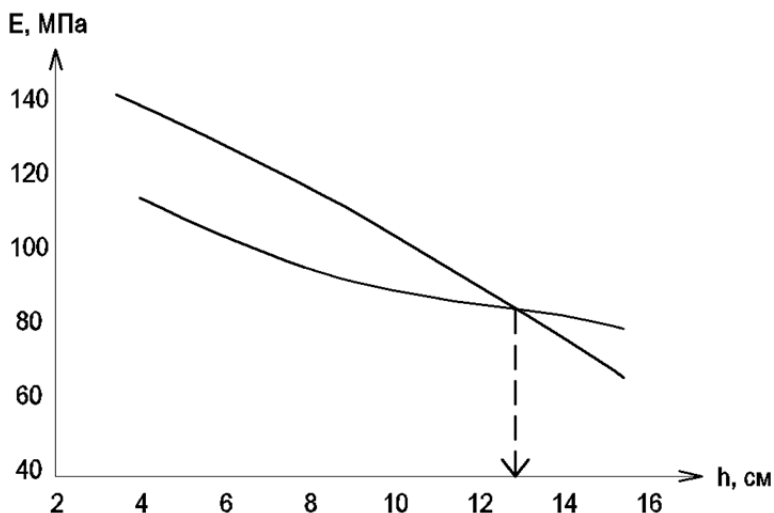


Рис. 10.13. График для определения толщины бетона на ОГВ

Проверяем условие температурной трещиностойкости бетона на ОГВ при толщине слоя 13 см.

Значение модуля релаксации при $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ принимаем по заданию. В данном случае оно составляет 18 000 МПа. Значение напряжений при толщине слоя 13 см составит 4 МПа (рис. 10.14).

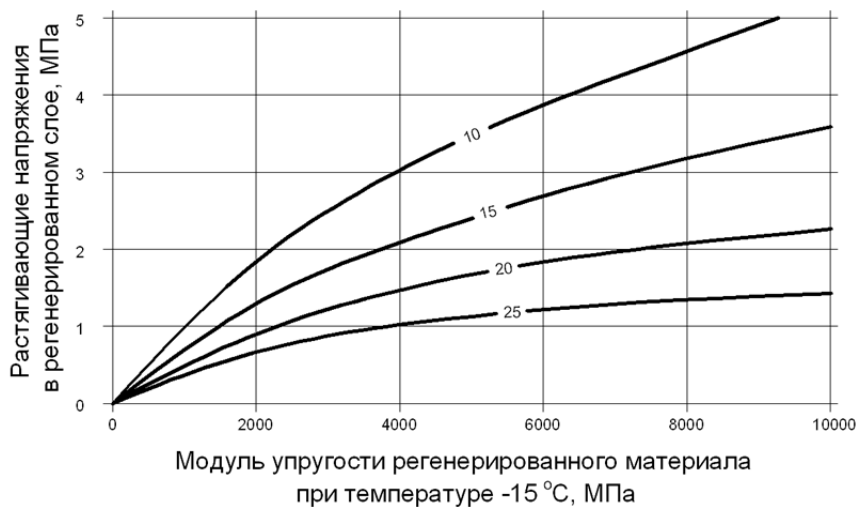


Рис. 10.14. Зависимость растягивающих напряжений на регенерированном слое от его толщины и модуля упругости, на кривых – толщина регенерированного слоя, см

При толщине вышележащих слоев 10 см по табл. 10.2 находим значение $K_h = 0,8$.

Таблица 10.2

Значения коэффициента K_h

Общая толщина защитных слоев, см	Коэффициент K_h , МПа
4	1,1
5	1,0
10	0,8
15	

Значение напряжений:

$$4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ МПа.}$$

Значение $N_{\text{пр}}$ для срока службы 11 лет составит:

$$N_{\text{пр}} = 27 \cdot 11 = 297.$$

Предельные растягивающие напряжения в регенерированном слое рассчитываем по формуле (10.2):

$$[\sigma_p^p] = \frac{R_C^p}{N_{\text{пр}} \left(\frac{1}{m}\right)} = \frac{6}{297^{(1/6,2)}} = 2,5 \text{ МПа},$$

где R_C^p принимаем по табл. 10.1 (6 МПа);

Отсутствие трещин в регенерированном слое в течение проектного срока службы дорожной одежды гарантировано, при выполнении условия (10.1).

Коэффициент запаса прочности принимаем равным 1,1 (см. табл. 4.3).

$$\sigma_p^p = 3,2 > \frac{2,5}{1,1} = 2,27.$$

Условие не выполняется, увеличиваем толщину слоев бетона на ОГВ и повторяем расчет.

Принимаем толщину бетона на ОГВ 18 см.

В этом случае переработке подвергается основание старой дорожной одежды (8 см).

Определяем $E_{\text{э тр}}$:

$$E_{\text{тр}}/E_{\text{огв}} = 154/3500 = 0,044;$$

$$h_0/D = 18/41 = 0,43.$$

По номограмме найдем:

$$E_{\text{э отр}}/E_{\text{огв}} = 0,01;$$

$$E_{\text{о тр}} = 0,01 \cdot 3\,500 = 35 \text{ МПа}.$$

В соответствии со схемой, изображенной на рис. 10.15, определяем $E_{эф}$.

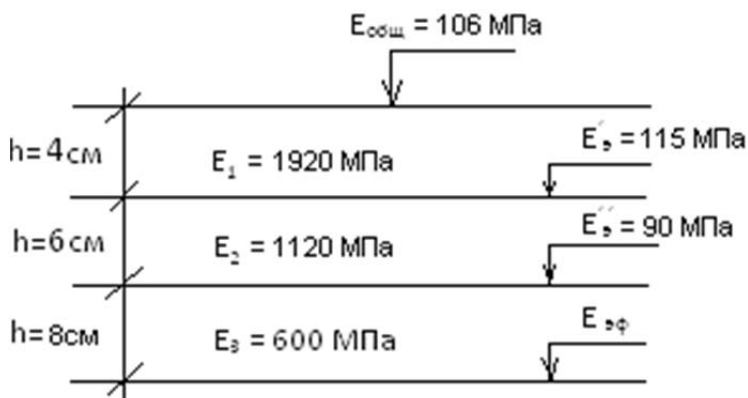


Рис. 10.15. Расчетная схема для определения $E_{эф}$

$$h_3 / D = 8 / 41 = 0,2;$$

$$E_3^{II} / E_3 = 90 / 600 = 0,15.$$

По номограмме 2.9 найдем:

$$E_{эф} / E_2 = 0,11;$$

$$E_{эф} = 0,11 \cdot 600 = 66 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие температурной трещиностойкости бетона на ОГВ при толщине слоя 18 см.

Значение модуля релаксации при -15 °С составляет 18 000 МПа. Значение напряжений (по рис. 10.16) при толщине слоя 18 см составит 2,6 МПа.

При толщине вышележащих слоев 10 см по табл. 10.2 значение K_h составит 0,8.

Значение напряжений:

$$2,6 \cdot 0,8 = 2,08 \text{ МПа}.$$

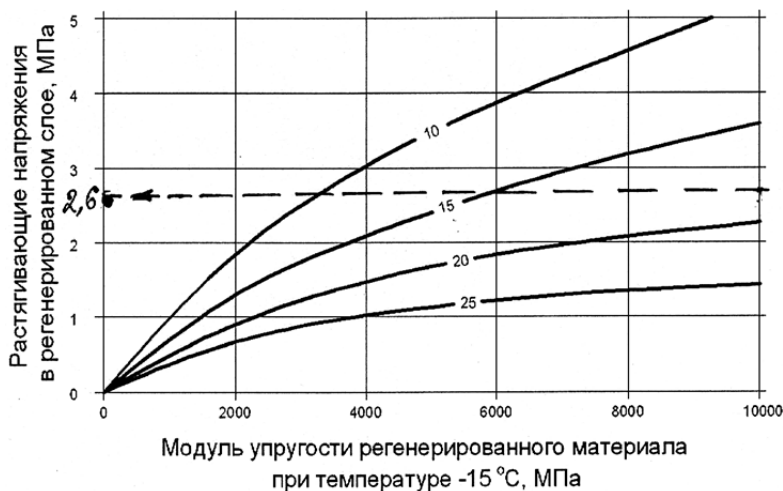


Рис. 10.16. Зависимость растягивающих напряжений на регенерированном слое от его толщины и модуля упругости, на кривых – толщина регенерированного слоя, см

Значение $N_{пр}$ для срока службы 11 лет:

$$N_{пр} = 27 \cdot 11 = 297.$$

Значение R_c примем по табл. 5.1 равным 6 МПа.

Предельные растягивающие напряжения в регенерированном слое рассчитываем по формуле:

$$[\sigma_p^p] = \frac{R_c^p}{N_{пр}^{\left(\frac{1}{m}\right)}} = \frac{6}{297^{(1/6,2)}} = 2,5.$$

Коэффициент запаса прочности принимаем равным 1,1.

Проверяем условие:

$$\sigma_p^p = 2,08 \leq \frac{[\sigma_p^p]}{k_3} = \frac{2,5}{1,1} = 2,27 \text{ МПа.}$$

$$2,08 < 2,27.$$

Условие выполняется.

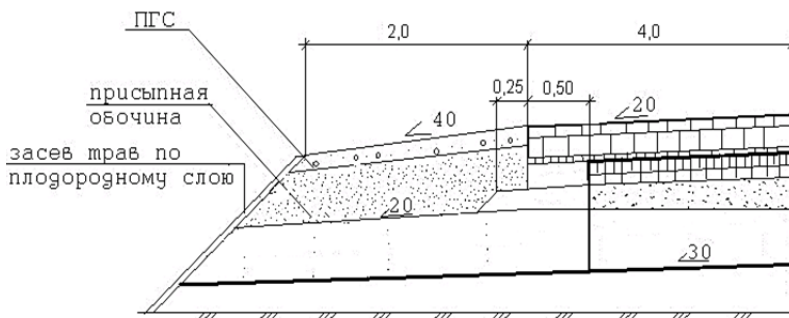
11. КОНСТРУИРОВАНИЕ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

Конструкция проезжей части включает слои усиления и новую дорожную одежду в ровике уширения. Уширение принимаем двухсторонним, ось дороги остается на прежнем месте.

Конструкцию покрытия принимаем аналогичной конструкции покрытия в пределах сохранившейся (старой) дорожной одежды – из трех слоев асфальтобетона.

Толщину основания принимаем равной толщине основания сохранившейся дорожной одежды плюс толщина старых слоев асфальтобетона: 18 см (12 + 6) ПГС, укрепленная цементом. Толщина слоя ПГС – 17 см.

Толщина песчаного слоя составит 50 см, устраиваемого на всю ширину полотна (рис. 11.1).



Песок к/з по ГОСТ 8736–93	– 0,50
ПГС	– 0,17
ПГС, укрепленная цементом	– 0,12
Асфальтобетон пористый крупнозернистый щебеночный марки II по СТБ 1033–2004	– 0,06
Асфальтобетон песчаный тип Г марки II по СТБ 1033–2004	– 0,02
Асфальтобетон плотный крупнозернистый на битуме БНД 60 90	– 0,08
ЩМА на модифицированном битуме БМА 100/130	– 0,06

Рис. 11.1. Конструкция проезжей части при реконструкции дорожной одежды

Карточка дорожной одежды в пределах ровика уширения представлена в табл. 11.1, в пределах существующей дорожной одежды – в табл. 11.2.

Карточка дорожной одежды для конструкции в пределах ровика уширения (ровик уширения – 0,50 м).
 Нормы расхода материалов на 1000 м² покрытия

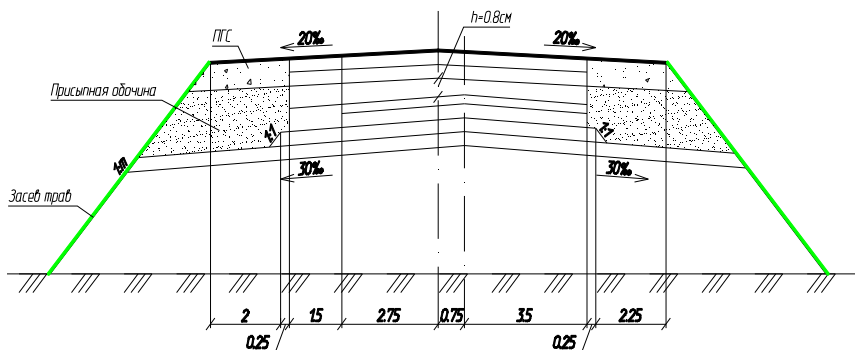
Тип дорожной одежды	Наименование работ	Расход материалов						Обоснование
		Щебеночный а/б на модифицированном битуме БМА 100/130, т	А/б плотный крупнозернистый на битуме БНД 60/90, т	Песчаный а/б тип Г марки П на битуме БНД 60/90, т	А/б к/з порист. марки П, т	ПГС опт. С2 по ГОСТ 25607-94, м ³	Песок к/з по ГОСТ 8736-95, м ³	
1	Верхний слой покрытия, 6 см	150						По расчету
1	Нижний несущий слой покрытия, 8 см		200					По расчету
1	Выравнивающий слой, 2 см			50				По расчету
1	Основание из ПГС, укрепленной цементом, 18 см					200		По расчету
	Основание из ПГС, 17 см						170	По расчету
1	Песчаный слой, 50 см						500	По расчету

Таблица 11.2

Карточка дорожной одежды для конструкции в пределах сохранившейся дорожной одежды.
 Нормы расхода материалов на 1000 м² покрытия (обочин)

Тип дорожной одежды	Наименование работ	Расход материалов						Обоснование
		Щебеночный а/б на модифицированном битуме БМА 100/130, т	А/б плотный крупнозернистый на битуме БНД 60/90, т	Песчаный а/б тип Г марки 2 на битуме БНД 60/90, т	А/б к/з пористый марки П, т	ПГС опт. С2 по ГОСТ 25607-94, м ³	ПГС природ по ГОСТ 23735-79, м ³	
1	Верхний слой покрытия, 6 см	150						По расчету
1	Нижний несущий слой покрытия, 8 см		200					По расчету
1	Выравнивающий слой, 2 см			50				По расчету
1	Нижний слой старого покрытия, 6см				225			По расчету
1	Основание из ПГС, укрепленной цементом, 12 см					129		По расчету
1	Основание из ПГС, 17 см					170		По расчету
1	Песчаный слой, 50 см						1320	По расчету
1	Укрепление обочин						100	По расчету

Пример конструирования проезжей части при двустороннем уширении показан на рис. 11.2.



Новые дорожные одежды	Существующие дорожные одежды со слоями усиления
Песок с/з по ГОСТ 8736-93 – 0,50	Песок с/з по ГОСТ 8736-93 – 0,50
ПГС – 0,17	ПГС – 0,17
ПГС, укрепленная цементом – 0,26	ПГС, укрепленная цементом – 0,21
А/б типа Г марки I по СТБ 1033-2004 – 2,8 см	А/б к/з пористый марки II по СТБ 1033-2004 – 0,05
А/б к/з плотный на БНД 60/90 – 0,1	А/б песчаный типа Г по СТБ 1033-2004 – 0,02
ЩМЦд на модифицированном битуме 60/90 – 0,06	А/б к/з плотный на битуме 60/90 – 0,1
	ЩМЦд на модифицированном битуме – 0,06

Нужно заменить названия слоев в соответствии с проектом.

Рис. 11.2. Конструкция проезжей части при реконструкции дорожной одежды (одностороннее уширение)

ДЕТАЛЬ ПРОЕКТА

12. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В курсовом проекте в качестве детали могут рассматриваться три варианта:

1. Конструирование и расчет дорожной одежды с экстремальным градиентом распределения прочности и жесткости по толщине.

2. Конструирование и расчет дорожной одежды повышенной долговечности.

2. Подготовка реферата по теме и вопросам, представленным ниже. Выбор осуществляется по указанию руководителя.

Образцы задания по деталям проекта приведены в прил. 1.

12.1. Конструирование и расчет дорожной одежды с экстремальным градиентом распределения прочности и жесткости по толщине

Теория и методика конструирования и расчета дорожных одежд с экстремальным градиентом распределения прочности и жесткости по толщине подробно приведена в [5]. Там же приведена методика и пример расчета дорожной одежды в курсовом проекте.

12.2. Конструирование и расчет дорожной одежды повышенной долговечности

12.2.1. Основы теории

Применение вышеуказанных конструкций осуществляется для дорог общего пользования I, II и III категорий с интенсивностью движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу более 500 ед./сут. при их проектировании на срок службы до капитального ремонта свыше 10 лет.

Предусматривается применение конструкций дорожных одежд с трехслойным асфальтобетонным покрытием, жесткость которых по глубине может варьироваться тремя различными способами.

Первый способ отражает традиционный подход к конструированию дорожных одежд. Он характеризуется уменьшением модуля

упругости по толщине дорожной одежды и расположением в нижнем слое пористого асфальтобетона.

Второй способ отличается от первого применением плотных асфальтобетонов во всех слоях дорожных одежд, а также более рациональным распределением модулей упругости применяемых материалов по толщине конструкции дорожной одежды.

Третий вид также предполагает применение плотных асфальтобетонов во всех конструктивных слоях, но отличается более рациональным расположением слоев с точки зрения устойчивости к появлению пластических деформаций.

Конструктивные слои могут устраиваться из модифицированных и немодифицированных асфальтобетонов различных марок. Расчетная схема дорожного покрытия включает три слоя (рис. 12.1):

1. Верхний слой покрытия (толщиной H_1 с модулем упругости E_1).
2. Нижний несущий слой покрытия (толщиной H_2 с модулем упругости E_2).
3. Нижний слой покрытия (толщиной H_3 с модулем упругости E_3).



Рис. 12.1. Схема конструкции дорожного покрытия:

E_1 – модуль упругости асфальтобетона верхнего слоя покрытия; E_2 – модуль упругости асфальтобетона нижнего несущего слоя покрытия; E_3 – модуль упругости асфальтобетона нижнего слоя покрытия; H_1 – толщина верхнего слоя покрытия; H_2 – толщина нижнего несущего слоя покрытия; H_3 – толщина нижнего слоя покрытия

В представленной расчетной схеме слои основания заменены полупространством, имеющим требуемый расчетный модуль упругости.

Указанный конструктивный элемент моделирует работу основания дорожной одежды в расчетной схеме. Конструкция основания (количество слоев, их толщина и материал) назначаются и рассчитываются в соответствии с требованиями ТКП 45-3.03-112 таким образом, чтобы общий модуль упругости на ее поверхности был больше либо равен требуемому значению для моделирующего полупространства.

Для получения вышеуказанных конструкций рекомендуется использовать материалы в соответствии с СТБ 1033 согласно табл. 12.1, 12.2 и 12.3. Данные, представленные в указанных таблицах, носят рекомендательный характер. Поэтому при соответствующем технико-экономическом обосновании материалы конструктивных слоев могут быть изменены.

Первоначальный выбор материалов (из предложенных в табл. 12.1, 12.2 и 12.3) может быть обусловлен пожеланиями заказчика, возможностями организации-исполнителя работ по устройству проектируемого покрытия либо же другими технологическими или экономическими причинами. Окончательное назначение материалов в обязательном порядке производится только после проведения полного комплекса расчетов.

Таблица 12.1

Рекомендуемые материалы для устройства первого (верхнего) слоя покрытия

Требуемый уровень надежности конструкции	Асфальтобетон для первого (верхнего) конструктивного слоя
0,96–0,98	Щебеночно-мастичный мелкозернистый марки I на модифицированном битуме либо с применением модифицирующих добавок
	Щебеночно-мастичный мелкозернистый марки I на битуме БНД 60/90
	Мелкозернистый плотный типа А марки I на модифицированном битуме либо с применением модифицирующих добавок
	Мелкозернистый плотный типа Б марки I на модифицированном битуме либо с применением модифицирующих добавок
	Мелкозернистый плотный типа А марки I на битуме БНД 60/90
	Мелкозернистый плотный типа Б марки I на битуме БНД 60/90

Требуемый уровень надежности конструкции	Асфальтобетон для первого (верхнего) конструктивного слоя
0,92–0,95	Щебеночно-мастичный мелкозернистый марки I на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130
	Мелкозернистый плотный типа А марки I или II на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130
	Мелкозернистый плотный типа Б марки I или II на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130
0,85–0,91	Щебеночно-мастичный мелкозернистый марки I на битуме БНД 90/130
	Мелкозернистый плотный типа А марки I или II на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130
	Мелкозернистый плотный типа Б марки I, II или III на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130

Таблица 12.2

Рекомендуемые материалы для устройства второго (нижнего несущего) слоя покрытия.

Требуемый уровень надежности конструкции	Асфальтобетон для первого (верхнего) конструктивного слоя
0,96–0,98	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа А марки I на модифицированном битуме либо с применением модифицирующих добавок;
	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа А марки I на битуме БНД 60/90;
	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа Б марки I на модифицированном битуме либо с применением модифицирующих добавок;
	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа Б марки I на битуме БНД 60/90;

Требуемый уровень надежности конструкции	Асфальтобетон для первого (верхнего) конструктивного слоя
0,92–0,95	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа А марки I на модифицированном битуме либо с применением модифицирующих добавок
	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа Б марки I на модифицированном битуме либо с применением модифицирующих добавок
	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа А марки I или II на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130
	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа Б марки I или II на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130
	Асфальтобетон крупнозернистый или мелкозернистый пористый марки I на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130
0,85–0,91	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа А марки II или III на битуме БНД 90/130
	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа Б марки II на битуме БНД 90/130
	Асфальтобетон крупнозернистый или мелкозернистый пористый марки II на битуме БНД 90/130

Таблица 12.3

Рекомендуемые материалы для устройства третьего (нижнего несущего выравнивающего) слоя покрытия

Требуемый уровень надежности конструкции	Асфальтобетон для первого (верхнего) конструктивного слоя
0,96–0,98	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа Б марки II или III на битуме БНД 90/130;
	Мелкозернистый плотный типа В марки II или III на битуме БНД 90/130
	Песчаный плотный типа Г марки I, II или III на битуме БНД 90/130
	Асфальтобетон крупнозернистый или мелкозернистый пористый марки I на битуме БНД 60/90 или БНД 90/130

Требуемый уровень надежности конструкции	Асфальтобетон для первого (верхнего) конструктивного слоя
0,92–0,95	Мелкозернистый или крупнозернистый плотный типа Б марки II или III на битуме БНД 90/130
	Мелкозернистый плотный типа В марки II или III на битуме БНД 90/130
	Песчаный плотный типа Г марки I, II или III на битуме БНД 90/130
	Асфальтобетон крупнозернистый или мелкозернистый пористый марки I или II на битуме БНД 90/130
0,85–0,91	Мелкозернистый плотный типа В марки II или III на битуме БНД 90/130
	Песчаный плотный типа Г марки I, II или III на битуме БНД 90/130
	Асфальтобетон крупнозернистый или мелкозернистый пористый марки II на битуме БНД 90/130
	Асфальтобетон крупнозернистый или мелкозернистый высокопористый марки I или II на битуме БНД 90/130

Исходя из данных таблиц проектировщик выбирает материалы конструктивных слоев для покрытия дорожной одежды. При этом основанием для их выбора является требуемый расчетный срок службы автомобильной дороги (данные предоставляются заказчиком), по которому определяется требуемый уровень надежности проектируемого покрытия согласно графику, представленному на рис. 12.2.

При проведении мероприятий по проектированию покрытий дорожных одежд следует учитывать тот факт, что принятый расчетный срок службы смогут обеспечить выбранные материалы в том случае, если после устройства разработанной конструкции перед эксплуатацией, а также каждые 3–5 лет после ее начала, будут устраиваться защитные слои износа по технологии Сларри-Сил либо путем выполнения поверхностной обработки. В случае выполнения мероприятий по восстановлению работоспособности конструкций только в рамках

текущих ремонтов принятый расчетный срок службы верхнего слоя покрытия уменьшается в 1,5 раза.

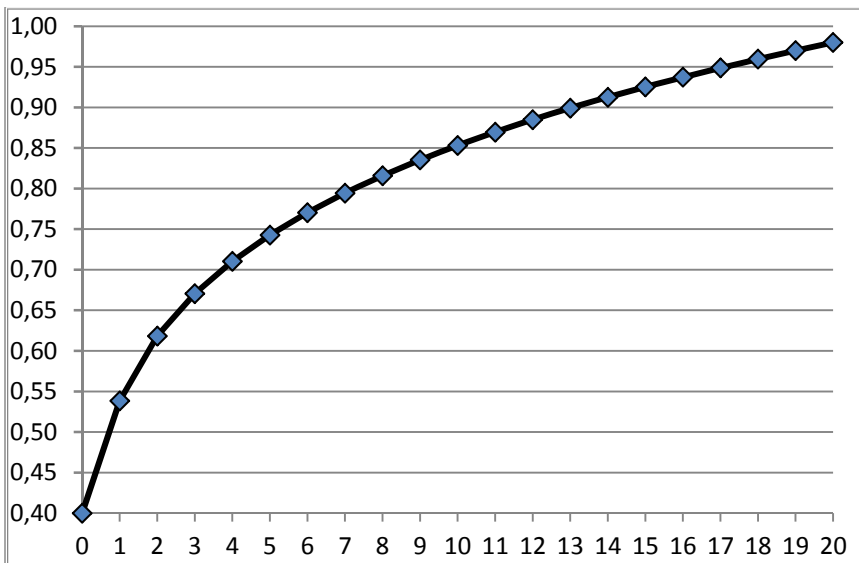


Рис. 12.2. Зависимость для определения значения общего требуемого уровня надежности

В общем случае проектирование покрытия дорожной одежды проводится в следующей последовательности:

- предварительно назначаются материалы для устройства конструктивных слоев по известному значению требуемого расчетного срока службы;
- предварительная толщина конструктивных слоев определяется расчетом по критерию упругого прогиба;
- принятая конструкция покрытия дорожной одежды моделируется и рассчитывается в программных комплексах конечно-элементного анализа с целью получения всех необходимых характеристик напряженно-деформированного состояния;
- используя значения свойств материалов конструктивных слоев и характеристики напряженно-деформированного состояния, проектируемая конструкция проверяется на прочность по всем критериям

надежности: устойчивость к появлению пластических деформаций, температурных трещин, усталостных деформаций и коррозионных разрушений;

– по итогам проведенных расчетов по необходимости производится корректировка толщин конструктивных слоев и (или) свойств применяемых материалов, после чего производится повторный расчет конструкции;

– проектирование конструкции покрытия дорожной одежды считается завершенным, если предложенная конструкция удовлетворяет всем критериям надежности, а также прочности по условию упругого прогиба, на требуемый расчетный срок службы.

На основании изложенной выше методологии конструирования и расчета долговечных дорожных одежд разработан альбом типовых конструкций для определенных сроков службы и условий движения [9].

Выбор конструкций дорожных одежд осуществляется на основании трех параметров:

– категории автомобильной дороги (данные предоставляются заказчиком);

– требуемого расчетного срока службы (данные предоставляются заказчиком);

– интенсивности движения расчетных транспортных средств группы грузовиков A_3 на наиболее нагруженную полосу (рассчитывается согласно пункту 6.2 ТКП 45-3.03-112).

Выбор и подбор составов материалов для устройства предлагаемых конструкций осуществляется в соответствии с требованиями СТБ 1033, однако для каждой разработанной схемы вводятся дополнительные требования к свойствам применяемых материалов. Дополнительные требования вводятся для следующих свойств:

1. Максимальной структурной прочности материала R_c , МПа, определяемой согласно п. 6.13 СТБ 1115. Для каждой разработанной конструкции указано минимальное значение данного параметра для материала конструктивного слоя.

2. Предела прочности материала при 0°C R_0 , МПа, определяемого согласно п. 6.10 СТБ 1115. Для каждой разработанной конструкции указано минимальное значение данного параметра для материала конструктивного слоя. Также должно выполняться следующее

условие: отношение предельной структурной прочности к пределу прочности при растяжении при температуре 0 °С должно быть большим либо равным двум.

3. Угла внутреннего трения асфальтобетона φ , °, при расчетной температуре 50 °С, МПа, определяемого согласно п. 6.12 СТБ 1115. Для каждой разработанной конструкции указано минимальное значение данного параметра для материала конструктивного слоя.

4. Удельного сцепления асфальтобетона C при расчетной температуре 50 °С, МПа, определяемого согласно п. 6.12 СТБ 1115. Для каждой разработанной конструкции указано минимальное значение данного параметра для материала конструктивного слоя.

5. Водонасыщения асфальтобетона W , %, определяемого согласно п. 6.7 СТБ 1115. Для каждой разработанной конструкции указаны предельные значения данного параметра для материала конструктивного слоя.

Все указанные требования должны быть выполнены на стадии подбора состава смеси.

Для приготовления асфальтобетонных смесей следует применять щебень по прочности марки 1000 и выше, по истираемости марки И-1 (в соответствии с ГОСТ 8267).

При проектировании дорожных одежд на срок службы от 10 до 15 лет следует применять асфальтобетоны, приготовленные на щебне с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не более 25 % (в соответствии с ГОСТ 8267). При проектировании дорожных одежд на срок службы от 15 до 20 лет следует применять асфальтобетоны, приготовленные на щебне с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не более 15 % (в соответствии с ГОСТ 8267).

Для приготовления асфальтобетонных смесей следует применять битумы по СТБ EN 12591 с кинематической вязкостью не ниже 2000 мм²/с и динамической вязкостью не ниже 100 Па·с.

При подборе составов асфальтобетонных смесей по критерию сдвигоустойчивости следует использовать метод А в соответствии с СТБ 1033, при этом значения угла внутреннего трения и силы внутреннего сцепления определяют при скорости деформации 50 мм/м.

Для каждой разработанной конструкции указывается параметр E_0 – минимальный модуль упругости на поверхности основания до-

рожной одежды при расчетной температуре 10 °С, который требуется достигнуть при его проектировании в соответствии с требованиями ТКП 45-3.03-112.

Для заданных расчетных условий проектирования разработаны два вида конструкций: конструкция № 1 отражает традиционный подход к проектированию дорожных одежд; конструкция № 2 характеризуется более рациональным распределением деформационных и прочностных свойств по толщине системы, однако требует применения более качественных материалов. Окончательный выбор производят на основе сравнения стоимости.

При применении новых материалов, прослоек, сеток типовая конструкция является ориентировочной, ее окончательный вид производят путем расчетов, представленных выше.

Некоторые выдержки из альбома [9] и варианты типовых конструкций приведены в прил. 9.

12.2.2. Реализация раздела в курсовом проекте

В соответствии с заданием (см. прил. 1) необходимо запроектировать конструкцию дорожной одежды под нагрузку A_3 на срок 17 лет, используя исходные данные раздела «Конструирование и расчет дорожных одежд при реконструкции и капитальном ремонте». Категория дороги – 2. Ежегодный прирост интенсивности движения – 20 %.

Определяем расчетную суммарную интенсивность движения на срок 17 лет.

Величину приведенной интенсивности движения на последний год срока службы дорожной одежды N_p (ед./сут.) определяем по формуле (1.17). $f_{пол} = 0,55$.

$$N_p = f_{пол} N_m S_m = 0,55 \cdot 9910 \cdot 0,145 = 790 \text{ авт./сут.},$$

Начальную интенсивность принимаем равной конечной по первому разделу $N_m = 536$:

$$N_m = 536(1 + 0,01 \cdot 20)^{17-1} = 9910 \text{ авт./сут.}$$

По прил. 9 находим уровень движения, в который попадают 790 расчетных автомобилей в сутки. Данному уровню соответствует интервал 500–1000 авт./сутки.

По таблицам типового проекта (табл. П9.7 прил. 9) примем конструкцию № 2 (табл. 12.4).

Таблица 12.4

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	5,5	1,9	41,3	0,36	1,00–1,50
Материал №3	9	Материал № 2	5,5	1,9	43,0	0,43	1,00–1,50
$\uparrow E_0 = 200 \text{ МПа}$		Материал № 3	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
Материал № 1		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033					
Материал № 3		Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной

1. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования: ТКП 45-3.03-112–2008 (02250). – Утверждены приказом Минстройархитектуры РБ от 19.11.2008, № 415.
2. Проектирование дорожных одежд улиц и дорог населенных пунктов: ТКП 45-3.03-3.2004 (02250). – Утверждены приказом Минстройархитектуры РБ с изменениями от 27.01.09 от 19.11.2008, № 18.
3. Веренько, В.А. Деформации и разрушения дорожных покрытий. Причины и пути устранения / В.А. Веренько. – Минск: БЭ, 2008. – 304 с.
4. Восстановление дорожных одежд улиц населенных пунктов способом холодной регенерации на месте: ТКП 110–2007. – Минстройархитектуры РБ, 2008.
5. Веренько, В.А. Конструирование и расчет дорожной одежды повышенной надежности и долговечности: пособие по выполнению курсового проекта № 3 / В.А. Веренько. – Минск: БНТУ, 2012. – 78 с.

Дополнительный

6. Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики: ТКП 140–2008.
7. Рекомендации по использованию георадарных технологий для мониторинга автомобильных дорог и искусственных сооружений: ДМД 02191.5.005–2007. – Утвержден приказом департамента Белавтодор от 19.12.2007, № 285.
8. Рекомендации по применению технологии холодного ресайклинга при усилении нежестких дорожных одежд: ДМД 02191.2.017–2008. – Утвержден приказом департамента Белавтодор от 21.11.2008, № 259.
9. Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Конструкции нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной грузонапряженности: серия БЗ.503.-1.12.
11. Грунты. Классификация: СТБ 943–2007.
12. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033–2016.
13. Дороги автомобильные. Методы испытаний: СТБ 1566–2005.
14. Бетоны на органо-гидравлических вяжущих. Технические условия: СТБ 1415–2003.

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Проектирование дорог»

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой

_____ Л.Р. Мытько

«__» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

**по курсовому проекту № 3 «Проектирование дорожной одежды»
по дисциплине «Проектирование автомобильных дорог»**

Студенту группы 114334 ___ Иванову О.В. _____

Раздел 1. Конструирование и расчет нежесткой дорожной одежды

1. Исходные данные.

2. Район строительства ___ Минский р-н. _____

3. Начальная интенсивность движения _____ 500 _____ авт./сут.

4. Рост интенсивности движения ___ 1 ___ %.

5. Состав движения транспортного потока

№ п/п	Тип и марка автомобиля	% автомобилей данного типа в общем потоке
1	Легковые автомобили	30
2	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 2,5 т	40
3	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 5 т	20
4	Двухосные грузовые автомобили марки МАЗ 5549 ЗиЛ-432932 МАЗ-533603-221 МАЗ-533605-221 КамАЗ-53605	2 — — — —

5	Трехосные грузовые автомобили марки	
	КамАЗ-53228	—
	КамАЗ-43118	—
	МАЗ-6303А5-321	—
	КамАЗ-65221	2
МАЗ-5516А5-347	—	
6	Автопоезда марки	
	МАЗ-5433А2-320	—
	МАЗ-5433А2-322	—
	КамАЗ-53605	—
	МАЗ-5440А9-320-030	—
	КамАЗ-53605	—
	МАЗ-5440А9-320-030	2
	МАЗ-6422А5-322	—
	МАЗ-6422А5-322	—
МАЗ 6430А5-320-010	—	
КамАЗ-65221	—	
7	Автопоезда с прицепом	
	МАЗ-5440А9-320-030	—
	МАЗ-533603-221	—
	КамАЗ-53605	—
	МАЗ-5440А9-320-030	—
	МАЗ-533603-221	—
	КамАЗ-53605	—
	КамАЗ-53228	—
	КамАЗ-43118	2
	МАЗ-6303А5-321	—
КамАЗ-65221	—	
КамАЗ-65225	—	
8	Автобусы марки	
	МАЗ-103	—
	МАЗ 203065.-067	—
	МАЗ-107	—
МАЗ-105	2	

6. Грунт земполотна (задается два вида грунта) _____ глина _____

7. Дорожно-строительные материалы и их стоимость.

Дорожно-строительные материалы	Стоимость, руб./м ²
ПГС	15 000
ПГС обработ. битумом	25 000
ПГС обработ. цементом	21 000

Дорожно-строительные материалы	Стоимость
Песок к. зернистый	10 000
Песок м. зернистый	8 000

Раздел 2. Конструирование и расчет дорожной одежды при реконструкции и капитальном ремонте

Исходные данные

1. Категория дороги (принимается на одну категорию выше, чем по п. 1) _____.

2. Модуль упругости дорожной одежды на начало ремонта _____
 $E = K_n E_{об}$ _____.

3. Площадь покрытия занятая деформациями:

3.1 Пластические ($F1 = \underline{30}$).

3.2 Хрупкими ($F2 = \underline{40}$).

3.3 Усталостными ($F3 = \underline{50}$).

3.4 Коррозионными ($F4 = \underline{40}$).

4. Ровность покрытия: _____ ($IRI = 4 - 12$ мм/м) _____ $IRI = 10$ мм/м.

5. Схема уширения дорожной одежды односторонняя _____.

6. Толщина асфальтобетонного покрытия (принимается по п. 1) _____.

7. Модуль релаксации асфальтобетонного покрытия при -15 °C ($10\ 000 - 21\ 000$) $15\ 000$ МПа _____.

8. Модуль релаксации бетона на ОГВ – $18\ 000$ МПа.

II. Состав курсового проекта:

1. Проектирование дорожной одежды нежесткого типа.

1.1 Определение категории автомобильной дороги и типа дорожной одежды.

1.2 Конструирование дорожной одежды.

1.3 Определение толщины дренающего слоя и толщины дорожной одежды по условиям морозозащиты.

1.4 Определение требуемого модуля упругости дорожной одежды.

1.5 Определение оптимального соотношения толщины слоев дорожной одежды.

1.6 Проверка трещиностойкости монолитных слоев дорожной одежды.

1.7 Проверка сдвигоустойчивости дорожной одежды.

1.8 Составление карточки дорожной одежды.

2. Проектирование реконструкции дорожной одежды.

2.1 Разработка мероприятий по борьбе с отраженными трещинами.

2.2 Принятие решения о сохранении или удалении покрытия.

2.3 Обоснование решения о наличии выравнивающего слоя.

2.4 Разработка конструкции дорожной одежды.

2.5 Расчет дорожной одежды

2.6 Составление чертежа реконструкции дорожной одежды.

3. Деталь.

3.1 Запроектировать дорожную одежду с экстремальным характером распределения прочности и жесткости по толщине.

Расчетный срок службы: 20 лет (14–25).

2. Интенсивность движения (для номера марки автомобиля – по табл. П1.1.

Таблица П1.1

№ марки	1	2	3.1	3.2	3.3.1	3.3.2	3.3.3	3.3.4	4.1	4.2	4.3	4.4
Интенсивность	7355	145	25	18	15	22	14	12	22	7	23	11
№ марки	4.5	4.6	4.5	4.8	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	6.1	6.2
Интенсивность	28	28	10	9	14	10	13	10	16	5	16	12

По указанию руководителя число столбцов и номера могут быть изменены.

3. Число полос движения: 4 (2–6).

4. Прирост интенсивности: 3 % (1–8).

5. Эквивалентный модуль основания, 150 МПа (120–200).

3.2 Запроектировать дорожную одежду с повышенным уровнем надежности и долговечности.

Запроектировать конструкцию дорожной одежды под нагрузку A_3 на срок 17 (15–30) лет, используя исходные данные раздела Б. Категория дороги 2(1–2). Ежегодный прирост интенсивности движения 20 % (10–30).

3.3 Подготовить реферат на тему:

Расчет дорожной одежды на устойчивость к пластическим деформациям (расчет на сдвигоустойчивость).

III. ДАТА ВЫДАЧИ ЗАДАНИЯ « 17 » сентября 20 г.

IV. СРОК СДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА НА ПРОВЕРКУ
 20.12.20 г.

Руководитель Веренько В.А. (Ф.И.О)

Задание принял к исполнению 17.09.20 г.
(дата, подпись)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

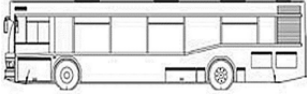
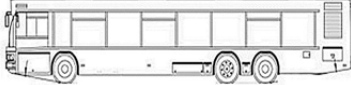

Таблица П2.1

Параметры реальных автомобилей

Марка автомобиля	Мах нагрузка на ось (тележку), т
Легковые автомобили	0,75
Грузовые автомобили грузоподъемностью до 2.5 т	1,7
Грузовые автомобили грузоподъемностью до 5 т	3,2
Грузовые автомобили до 8 т	10,0
Двухосные автомобили марок: МАЗ-5549	 11,5
Зил-432932	8,2
МАЗ-533603-221	11,5
МАЗ-533605-221	13
Трехосные автомобили марок: КамАЗ-53605	 (тележка 20 т)
КамАЗ-53228	(тележка) 18,0
КамАЗ-43118	15,4
МАЗ-6303А5-321	18,0
КамАЗ-65221	20,0
МАЗ-5516А5-347	(тележка) 26,0
Трехосные автопоезда марок:	
МАЗ-5433А2-320	(задняя ось тягача) 11,5
МАЗ-5433А2-322	10,0
КамАЗ-53605	13,0
Четырехосные автопоезда марок:	
МАЗ-5440А9-320-030	(задняя ось тягача) 11,5
КамАЗ-53605	13,0

Продолжение табл. П2.1

Марка автомобиля	Мах нагрузка на ось (тележку), т
Пятиосные автопоезда марок:	
МАЗ-5440А9-320-030	(задняя ось тягача)11,5
Пятиосные автопоезда марок:	
МАЗ-6422А5-322	(тележка тягача) 18,0
МАЗ 6430А5-320-010	(тележка тягача) 19,0
Шестиосные автопоезда марок:	
КамАЗ-65221	(тележка тягача) 20,0
Двухосные автомобили с прицепом:	
МАЗ-5440А9-320-030	(задняя ось автомобиля 11,5 т)
МАЗ-533603-221	11,5
КамАЗ-53605	(задняя ось автомобиля 13 т)
Двухосные автомобили с прицепом:	
МАЗ-5440А9-320-030	(задняя ось автомобиля 11,5 т)
МАЗ-533603-221	11,5
КамАЗ-53605	(задняя ось автомобиля 13 т)
Трехосные автомобили с прицепом:	
КамАЗ-53228	(тележка автомобиля 20 т)
КамАЗ-43118	(тележка автомобиля 20 т)
МАЗ-6303А5-321	(тележка автомобиля 20 т)
КамАЗ-65221	(тележка автомобиля 20 т)
КамАЗ-65225	(тележка автомобиля 26 т)

Марка автомобиля	Мах нагрузка на ось (тележку), т
Двухосный автобус:	
МАЗ-103 МАЗ 203065.-067	Нагрузка на заднюю ось 10,0 т
Трехосный автобус:	
МАЗ-107	(средняя ось 11,5 т)
Сочлененный автобус:	
МАЗ-105	(средняя ось 11,5 т)

Примечание. Если нагрузка указана на тележку, то максимальную нагрузку на ось получают путем ее деления на коэффициент, равный 1.78.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Таблица ПЗ.1

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

Дорожная одежда капитального типа		Дороги, предназначенные для движения группы нагрузки A_3						
Категория дороги		I		II		III, IV		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{пр}$ по критерию	упругого прогиба	1,40	1,20	1,28	1,10	1,18	1,05	1,00
	сдвигустойчивости неукрепленных слоев	1,25	1,15	1,20	1,10	1,15	1,05	1,00
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении при изгибе	1,20	1,15	1,10	1,03	1,05	1,00	0,95
	сдвигустойчивости асфальтобетонных слоев дорожной одежды	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10
	устойчивости асфальтобетонных слоев к совместному воздействию транспортной нагрузки и природно-климатических факторов	1,30	1,25	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10

Таблица П3.2

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

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

Таблица П3.3

Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок A_1

Дорожная одежда облегченного типа		Дороги, предназначенные для движения группы нагрузки A_1								
Категория дороги		III		IV			V			
Заданный коэффициент надежности K_n		0,95	0,90	0,90	0,85	0,80	0,80	0,75	0,70	
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию	упругого прогиба	1,17	1,10	1,06	1,02	1,00	0,98	0,94	0,90	
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	1,00	0,94	0,90	0,87	0,94	0,87	0,84	0,80	
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении при изгибе	0,98	0,93	0,85	0,80	0,78	0,77	0,76	0,75	

Таблица ПЗ.4

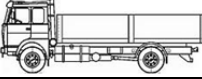
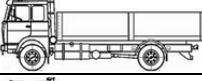
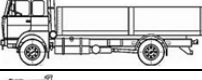
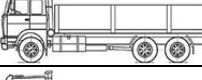

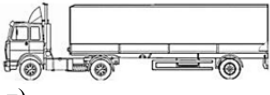
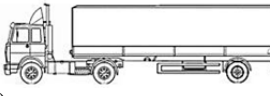
Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок A_1

Дорожная одежда переходного и низшего типа		Дороги, предназначенные для движения группы нагрузки A_1					
Категория дороги		IV			V, VI		
Заданный коэффициент надежности K_n		0,85	0,80	0,75	0,80	0,75	0,70
Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр}$ по критерию	упругого прогиба	1,06	1,02	1,00	1,06	0,98	0,90
	сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	0,90	0,87	0,85	0,94	0,87	0,80

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица П4.1

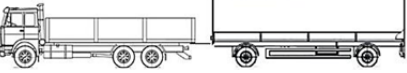
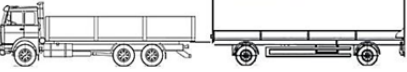
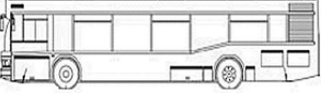
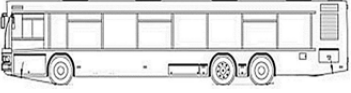

Значения суммарных коэффициентов приведения $S_{т\text{ сум}}$
для различных транспортных средств

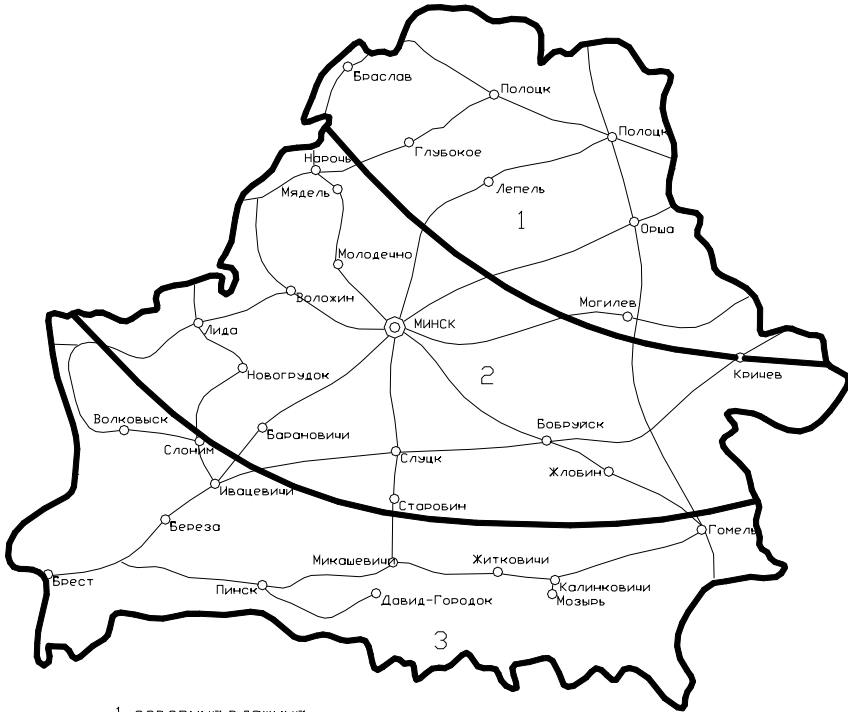
Вид транспортного средства	Коэффициенты приведения к расчетной нагрузке $S_{т\text{ сум}}$		
	$K_{пр}$ (A_1)	$K_{пр}$ (A_2)	$K_{пр}$ (A_3)
1	2	3	4
1. Легковой автомобиль	0,002	0,0015	0,0012
2. Микроавтобус	0,0037	0,0027	0,002
3. Грузовые автомобили			
3.1. Легкие (грузоподъемность 2–5 т)	0,20	0,10	0,05
3.2. Средние (грузоподъемность 5–8 т)	0,60	0,30	0,27
3.3. Тяжелые грузовые автомобили			
3.3.1.  (задняя ось 10,0 т)	1,00	0,87	0,65
3.3.2.  (задняя ось 11,5 т)	1,35	1,00	0,87
3.3.3.  (задняя ось 13 т)	2,90	1,50	1,00
3.3.4.  (тележка 20 т)	3,60	1,60	1,10
3.3.5.  (тележка 26 т)	4,80	3,50	2,00
4. Автопоезда с полуприцепом			
4.1.  (задняя ось тягача 11,5 т)	2,50	1,50	0,90
4.2.  (задняя ось тягача 13 т)	4,20	2,50	1,70

Продолжение табл. П4.1

1	2	3	4
 4.3. (задняя ось тягача 11,5 т)	3,00	1,90	1,10
 4.4. (задняя ось тягача 13 т)	6,20	3,50	2,20
 4.5. (задняя ось тягача 11,5 т)	7,00	4,10	2,50
 4.6. (тележка тягача 18 т)	3,00	1,90	1,10
 4.7. (тележка тягача 20 т)	5,50	3,50	2,20
 4.8. (тележка тягача 20 т)	7,00	4,00	2,80
5. Автопоезда с прицепом			
 5.1. (задняя ось автомобиля 11,5 т)	2,50	1,20	0,95
 5.2. (задняя ось автомобиля 13 т)	4,00	2,20	1,30
 5.3. (задняя ось автомобиля 11,5 т)	3,50	2,00	1,20
 5.4. (задняя ось автомобиля 13 т)	6,40	4,00	2,80

Окончание табл. П4.1

1	2	3	4
5.5.  (тележка автомобиля 20 т)	4,00	2,50	1,70
5.6.  (тележка автомобиля 26 т)	8,10	5,00	3,50
6. Автобусы			
6.1.  (задняя ось 11,5 т)	1,50	1,00	0,60
6.2.  (средняя ось 11,5 т)	3,76	1,90	1,20
6.3.  (средняя ось 11,5 т)	2,00	1,20	0,80



- 1-северный, влажный
- 2-центральный, умеренно-влажный
- 3-южный, неустойчиво-влажный

— автомобильные дороги
— границы дорожно-климатических районов

Рис. П5.1. Районирование территории Республики Беларусь

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица П6.1

Расчетные значения характеристик грунтов

Вид грунта	Число пластичности, J_p	Содержание песчаных зерен (2–0,5 мм), % масс.	Показатели	Расчетные значения характеристик грунта, в зависимости от влажности W_T								
				0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Песок												
Крупный			E_y , МПа	130,0								
			φ , град	35								
			C , МПа	0,004								
Средней крупности			E_y , МПа	120,0								
			φ , град	32								
			C , МПа	0,004								
Мелкий			E_y , МПа	100,0								
			φ , град	31								
			C , МПа	0,003								
Однородный			E_y , МПа	75,0								
			φ , град	31								
			C , МПа	0,003								
Пылеватый			E_y , МПа	96,0	90,0	84,0	78,0	72,0	60,0	60,0	54,0	48,0
			φ , град	38	38	37	37	36	35	34	33	32
			C , МПа	0,026	0,024	0,022	0,018	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009

Продолжение табл. Пб.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Супесь												
Крупная легкая	От 1 до 7	Более 50	E_y , МПа	108,0	108,0	100,0	100,0	79,0	69,0	62,0	54,0	50,0
			φ , град	32	30	29	28	27	26	25	23	22
			C , МПа	0,022	0,016	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005	–
Пылеватая	От 1 до 7	Более 50	E_y , МПа	108,0	108,0	100,0	100,0	79,0	69,0	62,0	54,0	50,0
			φ , град	32	30	29	28	27	26	25	23	22
			C , МПа	0,022	0,02	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005	–
Суглинок												
Легкий непылеватый	От 7 до 12	Более 40	E_y , МПа	108,0	100,0	77,0	64,0	52,0	42,0	34,0	27,0	23,0
			φ , град	27	25	23	21	19	18	16	13	11
			C , МПа	0,035	0,026	0,024	0,018	0,014	0,011	0,009	0,006	0,004
Легкий пылеватый	От 7 до 12	Менее 40	E_y , МПа	108,0	100,0	77,0	64,0	52,0	42,0	34,0	27,0	23,0
			φ , град	28	25	24	22	20	18	16	14	11
			C , МПа	0,04	0,03	0,03	0,019	0,015	0,012	0,009	0,007	0,005
Тяжелый непылеватый	От 12 до 17	Более 40	E_y , МПа	100,0	80,0	62,0	49,0	38,0	29,0	21,0	13,0	10,0
			φ , град	25	22	20	18	15	13	10	7	–
			C , МПа	0,05	0,035	0,03	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007
Тяжелый пылеватый	От 12 до 17	Менее 40	E_y , МПа	100,0	80,0	62,0	49,0	38,0	29,0	21,0	13,0	10,0
			φ , град	25	22	20	18	15	13	10	7	–
			C , МПа	0,05	0,035	0,03	0,022	0,016	0,013	0,010	0,008	0,007
Глина												
Легкая непылеватая	От 17 до 27	Более 40	E_y , МПа	82,0	62,0	51,0	34,0	24,0	17,0	10,0	5,0	–
			φ , град	23	20	17	15	12	8	3	–	–
			C , МПа	0,06	0,04	0,032	0,024	0,02	0,02	0,010	0,008	0,01

Окончание табл. Пб.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Легкая непы- лева- тая	От 17 до 27	Более 40	E_y , МПа	82,0	62,0	51,0	34,0	24,0	17,0	10,0	5,0	–
			Φ , град	23	20	17	15	12	8	3	–	–
			C , МПа	0,06	0,04	0,032	0,024	0,02	0,02	0,010	0,008	0,01
Легкая пыле- вагая	От 17 до 27	Менее 40	E_y , МПа	82,0	62,0	51,0	34,0	24,0	17,0	10,0	5,0	–
			Φ , град	23	20	17	15	12	8	3	–	–
			C , МПа	0,06	0,04	0,032	0,024	0,02	0,02	0,010	0,008	0,01
Тяже- лая	Более 27	Не нор- мируется	E_y , МПа	70,0	48,0	34,0	24,0	16,0	10,0	5,0	4,0	–
			Φ , град	22	19	16	13	10	5	–	–	–
			C , МПа	0,06	0,044	0,034	0,025	0,020	0,015	0,010	0,006	–

Таблица Пб.2

Относительная нормативная влажность грунта

Дорожно- климатическая зона	Схема увлажне- ния рабочего слоя земляного полотна	Среднее значение влажности $W_{\text{таб}}$ грунта, в долях от W_T			
		супесь легкая	песок пылеватый	суглинок, глины	супесь пылеватая и суглинок пылеватый
I	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	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
III	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

Расчетные схемы увлажнения верхней части земляного полотна

Схема увлажнения рабочего слоя	Источники увлажнения	Условия отнесения к данному типу увлажнения
1	2	3
1	Атмосферные осадки	<p>Для насыпей на участках первого типа местности по условиям увлажнения.</p> <p>Для насыпей на участках местности второго и третьего типов по условиям увлажнения при возвышении поверхности покрытия над расчетным уровнем грунтовых и поверхностных вод или над поверхностью земли более чем в 1,5 раза превышающем требования, изложенные в П2 к СНиП 2.05.02</p>
		<p>Для насыпей на участках второго типа при расстоянии от уреза поверхностной воды (отсутствующей не менее 2/3 летнего периода) более 5–10 м при супесях; 2–5 м – при легких пылеватых суглинках и 2 м при тяжелых пылеватых суглинках и глинах (меньшие значения следует принимать для грунтов с большим числом пластичности; при залегании различных грунтов – принимать большие значения)</p>
		<p>В выемках в песчаных и глинистых грунтах при уклонах кюветов более 20 ‰ (в I–III дорожно-климатических зонах) и при возвышении поверхности покрытия над расчетным горизонтом грунтовых вод более, чем в 1,5 раза превышающем требования П2 к СНиП 2.05.02. При применении специальных методов регулирования водно-теплового режима (капиллярорепрьюающие, гидроизолирующие, теплоизолирующие и армирующие прослойки, дренаж и т. п.), назначаемых по специальным расчетам</p>

1	2	3
2	Кратковременно стоящие (до 30 сут) поверхностные воды, атмосферные осадки	<p>Для насыпей на участках второго типа местности по условиям увлажнения при возвышении поверхности покрытия не менее требуемого по П2 к СНиП 2.05.02 и не более чем в два раза превышающем эти требования и при крутизне откосов не менее 1:1,5 и простом (без берм) поперечном профиле насыпи.</p> <p>Для насыпей на участках третьего типа местности при применении специальных мероприятий по защите от грунтовых вод (капилляропрерывающие слои, дренаж), назначаемых по специальным расчетам, отсутствии длительно (более 30 сут) стоящих поверхностных вод и выполнении условий предыдущего абзаца.</p> <p>В выемках в песчаных и глинистых грунтах при уклонах кюветов менее 20 ‰ (в I и II зонах) и возвышении поверхности покрытия над расчетным уровнем грунтовых вод более чем в 1,5 раз и превышающем требования П2 к СНиП 2.05.02</p>
3	Грунтовые или длительно (более 30 сут) стоящие поверхностные воды; атмосферные осадки	<p>Для насыпей на участках третьего типа местности по условиям увлажнения при возвышении поверхности покрытия, отвечающем требованиям П2 к СНиП 2.05.02, но не превышающем их более чем в 1,5 раза. То же, для выемок, в основании которых имеется уровень грунтовых вод, расположение которого по глубине не превышает требований П2 к СНиП 2.05.02 более чем в 1,5 раза</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица П7.1

Характеристики асфальтобетонов и гравийно-эмульсионных смесей при расчете на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками

Вид материала	Расчетные значения модуля упругости E , МПа	m	α	Нормативные значения сопротивления растяжению при изгибе $R_{из}$, МПа
1	2	3	4	5
Горячие асфальтобетоны				
Плотный на модифицированном битуме	5500	6,9	3,3	13,0
Щебеночно-мастичный на битуме БНД/БН марки:				
60/90	5600	5,5	5,1	11,0
90/130	4800	5,0	5,3	10,5
Плотный на битуме БНД/БН марки:				
60/90	4500	5,5	4,3	9,8
90/130	3600	5,0	4,8	9,5
130/200	2600	4,5	5,4	9,3
200/300	2000	4,3	6,2	9,1
Пористый на битуме БНД марки:				
60/90	2800	4,3	8,2	8,0
90/130	2200	4,0	8,6	7,8
130/200	1800	3,8	9,0	7,6
200/300	1400	3,7	9,6	7,1
Высокопористый на битуме БНД марки:				
60/90	2100	4,0	9,3	5,8
90/130	1700	3,8	9,8	5,5

1	2	3	4	5
Холодные асфальтобетоны				
типа «Б _х »	2600	3,0	8,0	4,9
типа «В _х »	2200	2,5	9,8	4,6
типа «Г _х »	1800	2,0	13,2	4,2
типа «Д _х »	1500	2,0	13,2	3,9
Гравийно-эмульсионные смеси:	2000	3,8	8,8	6,5

Примечание. 1. Указаны характеристики плотных асфальтобетонов при их модификации термоэластопластичными полимерами типа СБС. В случае применения резинобитумных вяжущих величины E и R_n увеличивают в 1,10 раза, при модификации терморезактивными полимерами – в 1,25 раза.

2. Характеристики плотного асфальтобетона даны для типа А. Для типов В и Д характеристики E и R_n уменьшают в 1,15 раза, для асфальтобетонов типов Б и Г – увеличивают в 1,15 и 1,20 раза соответственно.

Таблица П7.2

Значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов
и гравийно-эмульсионных смесей при расчете конструкции
по допускаемому упругому прогибу
и по условию сдвигоустойчивости

Материал	Марка битума	Кратковременный модуль упругости E , МПа, при температуре покрытия, °С		
		10	20	50
1	2	3	4	5
Щебеночно-мастичный асфальтобетон	Вязкий БНД/БН:			
	60/90	3700	2100	530
	90/130	2700	1400	460
Плотный асфальтобетон	Модифицированный	4000	2350	660
	Вязкий БНД/БН:			
	60/90	3200	1800	460
	90/130	2400	1200	420
	130/200	1500	800	380
	200/300	1200	600	360

1	2	3	4	5
Плотный асфальтобетон	Жидкий:			
	БГ-70/130	1000	420	350
	СГ-130/200	1000	420	350
	СГ-70/130	800	360	350
Пористый и высокопористый асфальтобетон	Вязкий БНД/БН:			
	60/90	2000	1200	360
	90/130	1400	800	350
	130/200	1100	600	340
	200/300	950	450	330
Холодные асфальтобетоны:				
Б _х		1300	–	–
В _х		1100	–	–
Г _х		900	–	–
Д _х		750	–	–
Гравийно-эмульсионные смеси		1800	1000	340

Примечание.

1. Модули упругости плотных асфальтобетонов на модифицированном битуме даны для случая их модификации термоэластопластичными полимерами типа СБС. В случае применения резинобитумных вяжущих величины E уменьшают в 1,05 раза, для терморезактивных полимеров – в 1,20 раза.

2. Модули упругости плотного асфальтобетона даны для типа А. Для асфальтобетонов типов В и Д величины E уменьшают в 1,10 раза, для асфальтобетонов типов Б и Г – увеличивают в 1,10 и 1,15 раза соответственно.

3. При использовании плотного асфальтобетона в нижнем слое покрытия, на глубине более 4 см от поверхности, его модуль упругости при 10 °С повышают в 1,15 раза.

4. Модули упругости пористого и высокопористого асфальтобетона даны применительно к песчаным смесям. При температуре 50 °С модули упругости для мелкозернистых смесей увеличивают в 1,10 раза, а для крупнозернистых смесей – в 1,20 раза.

Таблица П7.3

Значения модуля упругости асфальтобетона
при расчете на длительную нагрузку

Вид асфальтобетона	Тип смеси	Расчетный модуль упругости при статическом действии нагрузки E , МПа, при расчетной температуре, °С	
		20	50
Плотные смеси	ЩМСц, А	480	300
	Б	400	250
	В	320	200
	Г	300	200
	Д	200	150
Пористые и высокопористые смеси	Крупнозернистая	360	250
	Мелкозернистая	290	200
	Песчаная	250	190
Холодные асфальтобетоны	Б _х	180	–
	В _х	170	–
	Г _х	160	–
	Д _х	150	–

Таблица П7.4

Характеристики асфальтобетона при расчете на сдвигоустойчивость асфальтобетонных слоев

Наименование материала	Угол внутреннего трения φ , град	Внутреннее сцепление C , МПа
1	2	3
Щебеночно-мастичный асфальтобетон	43	0,28
Асфальтобетон крупнозернистый горячий пористый	39	0,29
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа А	39	0,27
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа Б	38	0,31
Асфальтобетон крупнозернистый горячий плотный типа А	38	0,29
Асфальтобетон мелкозернистый горячий пористый	38	0,27

1	2	3
Асфальтобетон крупнозернистый горячий плотный типа Б	37	0,33
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа В	36	0,33
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа Г	34	0,37
Асфальтобетон мелкозернистый горячий плотный типа Д	32	0,35
Вибролитой асфальт	32	0,34

Примечание. Характеристики приведены для битума БНД 90/130. При применении битума БНД 60/90 и БМА 100/130 показатели ϕ увеличивают в 1,05 раза, C – в 1,20 раза. При применении битума БМА 70/100 показатели ϕ увеличивают 1,06 раза, C – в 1,40 раза.

Таблица П7.5

Расчетные характеристики слоев из материалов и грунтов,
укрепленных вяжущими веществами

Материал слоя	Расчетные характеристики материалов	
	Модуль упругости E , МПа	Прочность на растяжение при изгибе $R_{из}$, МПа
1	2	3
Щебеночно-песчаные смеси из малоактивных металлургических шлаков по ГОСТ 3344 (С1 – С4/С5 – С6), щебеночно-песчаные смеси и крупнообломочные грунты (оптимального по СТБ П 1698 неоптимального состава), обработанные:		
цементом марок		
– 75	1000/900	0,70/0,60
– 60	900/800	0,60/0,50
– 40	700/600	0,50/0,40
комплексными вяжущими	950/700	0,40/0,30
вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	450/350	0,30/0,20

Окончание табл. П7.5

1	2	3
Щебень из малопрочных пород, доломитовый щебень, пески гравелистые, крупные, средние, обработанные: цементом марок – 100 – 75 – 60 – 40 – 20 комплексными вяжущими вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	 950 850 750 600 500 450 280	 0,60 0,50 0,40 0,30 0,20 0,30 0,20
Пески мелкие, супесь легкая, пылеватая, сугли- нок легкий, пески из отходов дробления гор- ных пород, обработанные: цементом марок – 100 – 75 – 60 – 40 – 20 комплексными вяжущими вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	 850 750 550 400 250 400 270	 0,50 0,40 0,30 0,20 0,15 0,30 0,25
Суглинки тяжелые, пылеватые, глины песча- нистые, пылеватые, обработанные: комплексными вяжущими вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	 250 150	 0,15 0,10

Таблица П7.6

Расчетные характеристики слоев из неукрепленных материалов

Материал слоя	Расчетные характеристики материалов			
	Модуль упругости слоя E , МПа	Внутреннее сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения φ , град	
1	2	3	4	
Черный щебень марки 1000 и выше, крупностью до 40 мм, уложенный по способу заклинки	900	–	–	
Фракционированный щебень марки 1000 и выше, устроенный по способу пропитки: вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	600	–	–	
	цементно-песчаной смесью марки М75 при глубине пропитки более 0,5 толщины слоя	500	–	
Каменная мостовая, пакеляж: из колотого камня	500	–	–	
	из булыжного камня	400	–	
Щебеночно-песчаные шлаковые смеси типов С1–С6 из малоактивных металлургических шлаков по ГОСТ 3344	400	–	–	
Фракционированный щебень марки 1000 и выше (из осадочных пород/из глубинных пород), крупностью до 70 мм, оптимального зернового состава по СТБ П 1698, устроенный по способу заклинки:	– известняковой смесью, фосфогипсом	<u>450</u> 350	<u>0,07</u> 0,06	<u>48</u> 45
	– асфальтогранулятом по СТБ 1705	<u>440</u> 330	<u>0,06</u> 0,05	<u>45</u> 44
	– фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевом (природным песком)	<u>400</u> 300	<u>0,05</u> 0,04	<u>43</u> 42

1	2	3	4
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси по ГОСТ 25607: типов С1–С2 типов С3–С11	240	0,03	43
	200	0,02	42
Асфальтогранулят по СТБ 1705: типа А1 типа А2	240	0,05	46
	220	0,05	44
Фракционированный доломитовый щебень марки 600 и выше оптимального зернового состава по СТБ П 1698, устроенный по способу заклинки: – асфальтогранулятом по СТБ 1705 – фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевам (природным песком)	240	0,03	46
	200	0,03	44
Щебеночно-песчаные смеси оптимального зернового состава по СТБ П 1698 крупностью до 40 мм, песчано-гравийные смеси по ГОСТ 23735 с содержанием щебня (гравия) более 30 %, минеральный бетон из гранитного отсева, малопрочных известняков, доломитов малоперекристаллизованных, в том числе с остекленной поверхностью	180	0,02	41

Примечание. При армировании основания дорожной одежды синтетическими геосетками, поверхностная плотность которых – не менее 350 г/м²; предел прочности при растяжении (в продольном и поперечном направлениях) – не менее 30 кН/м; относительное удлинение волокон при разрыве (в продольном и поперечном направлениях) – не более 16 %, модуль упругости слоя основания E допускается увеличивать в соответствии с действующими ТНПА.

Значение расчетных характеристик материалов
конструктивных слоев дорожных одежд

Наименование материала	Предел прочности при изгибе $R_{и}$, МПа	Предельная структурная прочность $R_{с}$, МПа
1	2	3
Асфальтобетон литой (ЛБС-МЖ) по СТБ 1257	6,5	8,0
Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033	6,0	10,0
Асфальтобетон мелкозернистый типа А марки I по СТБ 1033 с остаточной пористостью 2–3 % и водонасыщением 1–2%	5,7	9,0
Асфальтобетон мелкозернистый типа А марки I по СТБ 1033	5,2	8,0
Асфальтобетон мелкозернистый типа Б марки I по СТБ 1033	6,0	9,0
Асфальтобетон мелкозернистый типа Б марки II по СТБ 1033	5,7	9,0
Асфальтобетон мелкозернистый типа В марки II по СТБ 1033	5,5	9,0
Асфальтобетон песчаный типа Г марки II по СТБ 1033	6,0	10,0
Асфальтобетон крупнозернистый и мелкозернистый пористый марки I по СТБ 1033	4,3	6,6
Асфальтобетон крупнозернистый типа А марки I по СТБ 1033 с остаточной пористостью не более 5% и водонасыщением не более 3 %	5,5	7,5
Асфальтобетон мелкозернистый пористый марки I по СТБ 1033	5,0	7,5
Асфальтобетон мелкозернистый пористый марки I по СТБ 1033 с остаточной пористостью не более 5 % и водонасыщением не более 3 %	6,0	9,0
Асфальтобетон крупнозернистый пористый по ГОСТ 30491–97 и СТБ 1033	4,7	6,8

Окончание табл. П8.1

1	2	3
Асфальтобетон крупнозернистый пористый по ГОСТ 30491–97 и СТБ 1033 с остаточной пористостью не более 5 % и водонасыщением не более 3 %	6,2	8,5
Бетон на органомеханическом вяжущем первой группы марки I по СТБ 1415–2003	6,5	10,0
Бетон на органомеханическом вяжущем второй группы марки I по СТБ 1415	3,0	5,0
Бетон на органомеханическом вяжущем третьей группы марки I по СТБ 1415	3,6	6,0
Бетон на органомеханическом вяжущем второй группы марки II по СТБ 1415	2,0	4,0
Бетон на органомеханическом вяжущем третьей группы марки II по СТБ 1415	2,2	4,5
Бетон на органомеханическом вяжущем второй группы марки III по СТБ 1415	1,3	3,0
Бетон на органомеханическом вяжущем третьей группы марки III по СТБ 1415	1,7	3,5
Бетон на органомеханическом вяжущем первой группы марки I по СТБ 1415 с остаточной пористостью не более 5 % и водонасыщением не более 3 %	6,5	10,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Таблица П9.1

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I, II или III
Требуемый расчетный срок службы $T_{\text{сл}}$	11 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 500 до 1000 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,87
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,20
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	200 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	5	Материал № 1	5,0	2,1	43,0	0,39	1,00–3,00
Материал №3	9	Материал № 2	4,8	2,0	40,0	0,37	1,00–3,00
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,2	39,0	0,29	6,00–7,00
Материал № 1		Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа Б марки I по СТБ 1033					
Материал № 3		Асфальтобетон крупнозернистый пористый марки I по СТБ 1033					

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	5	Материал № 1	4,8	2,0	40,0	0,37	1,00–3,00
Материал №3	7	Материал № 2	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–3,00
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,5	39,0	0,27	1,00–3,00
Материал № 1		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа Б марки I по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					
Материал № 3		Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки II по СТБ 1033					

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I, II или III
Требуемый расчетный срок службы $T_{сл}$	11 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 1000 до 1500 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,87
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,20
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	200 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	6	Материал № 1	5,0	2,1	43,0	0,39	1,00–3,00
Материал №3	9	Материал № 2	4,8	2,0	40,0	0,37	1,00–3,00
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,2	39,0	0,29	6,00–7,00
Материал № 1	Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа Б марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый пористый марки I по СТБ 1033						

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	6	Материал № 1	4,8	2,0	40,0	0,37	1,00–3,00
Материал №3	7	Материал № 2	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–3,00
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,5	39,0	0,27	1,00–3,00
Материал № 1	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа Б марки I по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки II по СТБ 1033						

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I, II или III
Требуемый расчетный срок службы $T_{сл}$	11 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 1500 до 2000 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,87
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,20
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	200 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	6	Материал № 1	5,0	2,1	43,0	0,39	1,00–3,00
Материал №3	10	Материал № 2	5,0	2,0	41,3	0,34	1,00–3,00
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,2	39,0	0,29	6,00–7,00
Материал № 1		Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					
Материал № 3		Асфальтобетон крупнозернистый пористый марки I по СТБ 1033					

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	6	Материал № 1	4,8	2,0	40,0	0,37	1,00–3,00
Материал №3	8	Материал № 2	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–3,00
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–3,00
Материал № 1		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа Б марки I по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I, II или III
Требуемый расчетный срок службы $T_{сл}$	14 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 500 до 1000 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,91
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,26
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	200 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	6	Материал № 1	5,0	2,1	43,0	0,39	1,00–1,50
Материал №3	10	Материал № 2	5,0	2,0	41,3	0,34	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,2	39,0	0,29	6,00–7,00
Материал № 1	Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый пористый марки I по СТБ 1033						

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	6	Материал № 1	4,8	2,0	40,0	0,37	1,00–1,50
Материал №3	8	Материал № 2	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
Материал № 1	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа Б марки I по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I, II или III
Требуемый расчетный срок службы $T_{сл}$	14 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 1000 до 1500 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,91
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,26
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	200 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	5,0	2,1	43,0	0,39	1,00–1,50
Материал №3	10	Материал № 2	5,0	2,0	41,3	0,34	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,2	39,0	0,29	6,00–7,00
Материал № 1	Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый пористый марки I по СТБ 1033						

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	4,8	2,0	40,0	0,37	1,00–1,50
Материал №3	8	Материал № 2	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
Материал № 1	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа Б марки I по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I, II или III
Требуемый расчетный срок службы $T_{сл}$	14 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 1500 до 2000 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,91
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,26
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	200 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	5,0	2,1	43,0	0,39	1,00–1,50
Материал №3	11	Материал № 2	5,0	2,0	41,3	0,34	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,2	39,0	0,29	6,00–7,00
Материал № 1	Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый пористый марки I по СТБ 1033						

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	4,8	2,0	40,0	0,37	1,00–1,50
Материал №3	9	Материал № 2	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
Материал № 1	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа Б марки I по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I или II
Требуемый расчетный срок службы $T_{сл}$	17 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 500 до 1000 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,95
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,34
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	200 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	5,0	2,1	43,00	0,43	1,00–1,50
Материал №3	11	Материал № 2	5,0	2,0	41,3	0,36	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,5	39,0	0,27	1,00–3,00
Материал № 1		Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					
Материал № 3		Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки II по СТБ 1033					

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	5,5	1,9	41,3	0,36	1,00–1,50
Материал №3	9	Материал № 2	5,5	1,9	43,0	0,43	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
Материал № 1		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033					
Материал № 3		Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I или II
Требуемый расчетный срок службы $T_{сл}$	17 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 1000 до 1500 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,95
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,34
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	200 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	8	Материал № 1	5,0	2,1	43,0	0,43	1,00–1,50
Материал №3	11	Материал № 2	5,0	2,0	41,3	0,36	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	4,5	1,5	39,0	0,27	1,00–3,00
Материал № 1		Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033.					
Материал № 3		Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки II по СТБ 1033.					

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	8	Материал № 1	5,5	1,9	41,3	0,36	1,00–1,50
Материал №3	9	Материал № 2	5,5	1,9	43,0	0,43	1,00–1,50
↑ $E_0 = 200$ МПа		Материал № 3	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00–1,50
Материал № 1		Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					
Материал № 2		Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033					
Материал № 3		Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033					

Таблица П9.9

Условия эксплуатации

Категория автомобильной дороги	I или II
Требуемый расчетный срок службы $T_{сл}$	17 лет
Интенсивность движения расчетных транспортных средств группы нагрузок A_3 на наиболее нагруженную полосу	от 1000 до 1500 ед./сут.
Требуемый общий уровень надежности	0,95
Требуемый коэффициент запаса прочности	1,34
Требуемый модуль упругости на поверхности основания	230 МПа

Конструкция № 1

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	5,0	2,1	43,0	0,43	1,00-1,50
Материал №3	10	Материал № 2	5,0	2,0	41,3	0,36	1,00-1,50
$\uparrow E_0 = 230$ МПа		Материал № 3	4,5	1,5	39,0	0,27	1,00-3,00
Материал № 1	Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки II по СТБ 1033						

Конструкция № 2

Материал №1	5	Требуемые показатели	R_c , МПа	R_0 , МПа	φ , °	C , МПа	W , %
Материал №2	7	Материал № 1	5,5	1,9	41,3	0,36	1,00-1,50
Материал №3	8	Материал № 2	5,5	1,9	43,0	0,43	1,00-1,50
$\uparrow E_0 = 230$ МПа		Материал № 3	5,5	1,9	41,3	0,34	1,00-1,50
Материал № 1	Асфальтобетон мелкозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						
Материал № 2	Асфальтобетон щебеночно-мастичный по СТБ 1033						
Материал № 3	Асфальтобетон крупнозернистый плотный типа А марки I по СТБ 1033						

**ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЗАДАЧ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ
ПРИ СДАЧЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА И НА ЭКЗАМЕНЕ**

Задача № 1. Определить суммарный коэффициент приведения и интенсивность движения расчетных автомобилей.

Исходные данные:

1. Состав и интенсивность принимаем по табл. П10.1 (данные за-
дает преподаватель).
2. Расчетная нагрузка – A_2 .
3. Интенсивность движения в физических единицах на первый
год эксплуатации – 700 авт./сутки.
4. Ежегодный прирост интенсивности движения – 2 %.
5. Расчетный срок службы – 8 лет.
6. Район строительства – г. Брест
7. Категория дороги – 2.

Таблица П10.1

№ п/п	Тип и марка автомобиля	% автомобилей данного типа в общем потоке
1	2	3
1	Легковые автомобили	15
2	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 2,5 т	–
3	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 5 т	15
4	Двухосные грузовые автомобили марки МАЗ 5549	10
	ЗиЛ-432932	–
	МАЗ-533603-221	20
	МАЗ-533605-221	–
5	Трехосные грузовые автомобили марки КамАЗ-53228	20
	КамАЗ-43118	–
	МАЗ-6303А5-321	–
6	Автопоезда марки МАЗ-6422А5-322	–
	МАЗ 6430А5-320-010	–
	КамАЗ-65221	5

1	2	3
7	Автопоезда с прицепом КамАЗ-65221 КамАЗ-65225	
8	Автобусы марки МАЗ-103 МАЗ 203065.-067 МАЗ-107 МАЗ-105	– – 15 –

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает табл. П2.1 прил. 2 и табл. П4.1 прил. 4.

Значение суммарного коэффициента приведения при упрощенном подходе $S_m \text{ сум}$ определяют по формуле (1.26):

$$S_m \text{ сум} = \sum_1^n S_n p_n,$$

где n – число групп отдельных автомобилей.

S_n – коэффициент приведения конкретной группы автомобилей (по табл. П2.1 прил. 2);

P_n – удельное количество автомобилей данной группы, в долях единицы.

Расчет выполним в табличной форме.

Таблица П10.2

№ п/п	Вид и марка транспортного средства	Схема транспортного средства (по табл. П2.1 прил. 2)	Максимальная нагрузка на ось, т	% автомобилей в долях единицы	Строчка табл. П1.1 прил. 1	Коэф. приведения
1	2	2	3	4	5	6
1	Легковые автомобили марки Audi A6	–	0,75	0,15	1	0,0015

1	2	2	3	4	5	6
2	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 5 т	–	3,2	0,15	3.3.2	0,3
3	МАЗ-5549		10	0.1	3.3.1	0,87
4	Грузовые автомобили до 12 т марки МАЗ-533603-221		11,5	0,2	3.3.2	1
5	Грузовые автомобили свыше 12 т марки КамАЗ-53228		20 на тележку	0,2	3.3.4	1,6
6	Автопоезда марки КамАЗ-65221		11,5	0,05	4,5	4,1
7	Автобусы марки МАЗ 107		11,5	0,15	6.2	1,9

Получаем суммарный коэффициент приведения:

$$\begin{aligned}
 S_{m \text{ сум}} &= \sum_1^n S_n P_n = \\
 &= 0,15 \cdot 0,015 + 0,15 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,87 + 0,2 \cdot 1 + 0,2 \cdot 1,6 + \\
 &\quad + 0,05 \cdot 4,1 + 0,15 \cdot 1,9 = 1,14.
 \end{aligned}$$

Величину приведенной интенсивности движения при проведении титульных экономических обследований.

Величину приведенной интенсивности движения на последний год срока службы дорожной одежды N_p , ед./сут., определяют по формуле (1.28):

$$N_p = f_{\text{пол}} N_T S_T = 0,55 \cdot 804 \cdot 1,14 = 504 \text{ авт./сут.},$$

где $f_{\text{пол}}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним ($f_{\text{пол}} = 0,55$);

N_T – число поездок в сутки в обоих направлениях транспортных средств в физических единицах на конец срока службы:

$$N_T = 700(1 + 0,01 \cdot 2)^{8-1} = 804 \text{ авт./сут.},$$

$S_{m \text{ сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства t -й марки к расчетной нагрузке $Q_{\text{расч}}$.

Определим суммарное число воздействий расчетного автомобиля за срок службы по формуле (1.29):

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{\text{кл}}-1)}} T_{\text{рдг}} k_n.$$

Коэффициент суммирования K_c определим по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{кл}}} - 1}{q - 1} = \frac{1,02^8 - 1}{1,02 - 1} = 8,58,$$

где q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам:

$$q = 1 + 0,01p = 1 + 0,02 = 1,02.$$

Значение $T_{\text{рдг}}$ для южного дорожно-климатического района составит 135 дней.

Значения коэффициента, учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, принимаем из таблицы 1.10 (данное значение задает преподаватель).

В нашем случае $k_n = 1,31$.

Тогда

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 504 \frac{8,58}{1,02^{(8-1)}} 135 \cdot 1,31 = 46\,549 \text{ авт.}$$

Задача № 2. Выбрать материал для устройства конструктивного слоя.

Исходные данные:

Исходные данные включают значения модулей упругости материалов и удельные стоимости (табл. П10.3).

Таблица П10.3

Наименование материала	Модуль упругости, МПа	Удельная стоимость, руб./см
Песчано-гравийная смесь	200	1200
Щебень по методу заклинки	350	1900

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограмму (см. рис. 2.9).

Составляем расчетные схемы:

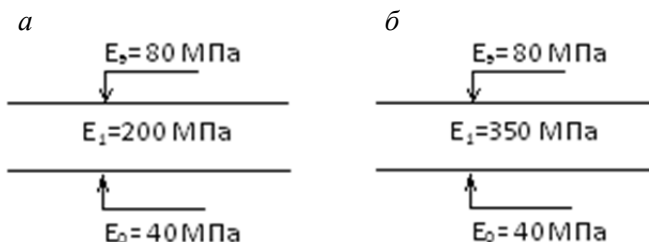


Рис. П10.1. Варианты равнопрочных систем:
а – ПГС; б – щебень по методу заклинки

Назначаем E_0 , принимая что $E_0 = (0,1 - 0,5)E_{\min}$, $E_{\min} = 200$ МПа.

Принимаем $E_0 = 40$ МПа.

Принимаем значение E_3 в два раза больше E_0 :

$$E_3 = 2E_0 = 2 \cdot 40 = 80 \text{ МПа.}$$

Вычислим соотношения характеристик для слоя основания из ПГС:

$$E_0 / E_1 = 40 / 200 = 0,2; \quad E_3 / E_1 = 80 / 200 = 0,4.$$

Вычислим соотношения характеристик для слоя основания из щебня:

$$E_0/E_2 = 40/350 = 0,11; \quad E_3/E_2 = 80/350 = 0,23.$$

Определим соотношения h/D , используя номограмму (см. рис. 2.9) и толщины слоев:

$$h_1/D = 0,64 \Rightarrow h_1 = 0,64 \cdot 39 = 25 \text{ см};$$

$$h_2/D = 0,48 \Rightarrow h_2 = 0,48 \cdot 39 = 19 \text{ см}.$$

Определим стоимость слоев основания из заданных материалов с учетом найденных толщин, обеспечивающих их одинаковую прочность:

$$C_1 = 1200 \cdot 25 = 30\,000 \text{ руб.};$$

$$C_2 = 1900 \cdot 19 = 36\,100 \text{ руб}.$$

Из рассмотренных вариантов для дальнейшего проектирования основания принимаем ПГС.

Задача № 3. Проверить условие прочности дорожной одежды по упругому прогибу.

Исходные данные:

1. Суммарный коэффициент приведения к расчетной нагрузке – 2,0.
2. Расчетная нагрузка – A_2 .
3. Район строительства – г. Пинск.
4. Интенсивность движения автомобилей в начальный год эксплуатации в физических единицах 600 авт./сутки.
5. Ежегодный прирост интенсивности 2 %.
6. Расчетный срок службы – 10 лет.
7. Коэффициент прочности – 1,1.
8. Толщины слоев и значения модулей упругости принимаем по рис. П10.2.

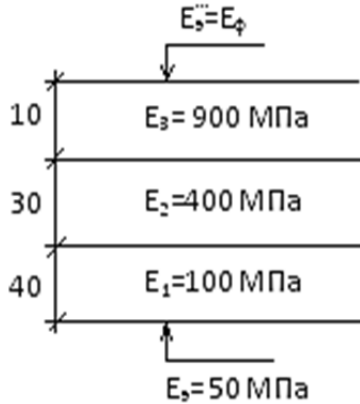


Рис. П10.2. Конструкция дорожной одежды

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограмму (см. рис. 2.9).

Условие прочности по упругому прогибу имеет вид (4.2):

$$E_{об} > E_{min} K_{пр}^{TP},$$

Определяем суммарную интенсивность расчетных автомобилей за весь срок службы.

Величину приведенной интенсивности движения на последний год срока службы дорожной одежды N_p (ед./сут.) определяют по формуле (1.28):

$$N_p = f_{пол} N_T S_T = 0,55 \cdot 717 \cdot 2 = 789 \text{ авт./сут.},$$

где $f_{пол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним ($f_{пол} = 0,55$);

N_T – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств в физических единицах на конец срока службы:

$$N_T = 600(1 + 0,01 \cdot 2)^{10-1} = 717 \text{ авт./сут.}$$

$S_{\text{т сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства т-й марки к расчетной нагрузке $Q_{\text{расч}}$.

Определим суммарное число воздействий расчетного автомобиля за срок службы по формуле (1.29)

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

Коэффициент суммирования K_c определим по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1} = \frac{1,02^{10} - 1}{1,02 - 1} = 10,9,$$

где q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам:

$$q = 1 + 0,01p = 1 + 0,02 = 1,02.$$

Значение $T_{\text{рдг}}$ южного дорожно-климатического района составит 135 дней.

Примем $k_n = 1,31$.

Тогда

$$\sum N_p = 0,7 \cdot 789 \frac{10,9}{1,02^{(10-1)}} 135 \cdot 1,31 = 890\,920 \text{ авт.}$$

Определим значение требуемого модуля упругости.

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции дорожной одежды при $\sum N_p > 4 \cdot 10^4$ авт. E_{min} МПа вычисляют по формуле (4.3):

$$E_{\text{min}} = 98,65 [\lg(\sum N_p) - c] = 98,65 (\lg 890\,920 - 3,23) = 268 \text{ МПа,}$$

где $\sum N_p$ – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды;

c – коэффициент, зависящий от группы нагрузки (для группы нагрузки A_2 $c = 3,23$).

Определяем фактический модуль упругости дорожной одежды.
Составляем расчетную схему (рис. П10.3)

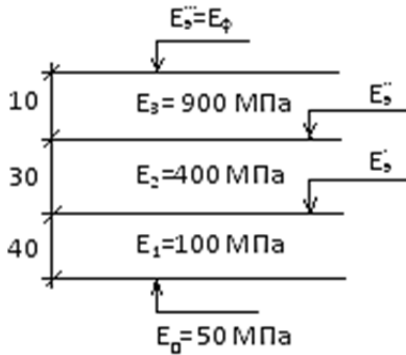


Рис. П10.3. Расчетная схема

Находим эквивалентный модуль упругости на поверхностях слоев, используя номограмму (см. рис. 2.9) для определения общего модуля упругости двухслойной системы и выполняя расчет сверху вниз.

На поверхности нижнего слоя основания E_3^I .

$$K_2 = h_1 / D = 40 / 39 = 1,03;$$

$$K_1 = E_0 / E_1 = 50 / 100 = 0,5.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $E_3^I / E_1 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,77$:

$$E_3^I = E_1 K_3 = 100 \cdot 0,77 = 77 \text{ МПа.}$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности верхнего слоя основания E_3^{II} :

$$K_2 = h_2 / D = 30 / 39 = 0,77;$$

$$K_1 = E_3^I / E_2 = 77 / 400 = 0,19.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $E_3^{II} / E_2 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,43$:

$$E_3^{II} = E_2 K_3 = 400 \cdot 0,43 = 172 \text{ МПа.}$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности покрытия (фактический модуль) E_3^{III} :

$$K_2 = h_3 / D = 10 / 39 = 0,26;$$

$$K_1 = E_3^{\text{II}} / E_3 = 172 / 900 = 0,19.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение E_3^{III} / E_3 (K_3), которое составит $K_3 = 0,25$:

$$E_3^{\text{III}} = E_3 K_3 = 900 \cdot 0,25 = 225 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие прочности:

$$E_{\text{об}} > E_{\text{min}} K_{\text{пр}}^{\text{TP}},$$

$$225 < 268 \cdot 1,1.$$

Условие не выполняется. Необходимо увеличить толщину слоев дорожной одежды.

Задача № 4. Определить толщину конструктивного слоя дорожной одежды.

Для упрощения примем исходные данные предыдущей задачи.

Толщины слоев и значения модулей упругости принимаем по рис. П10.4.

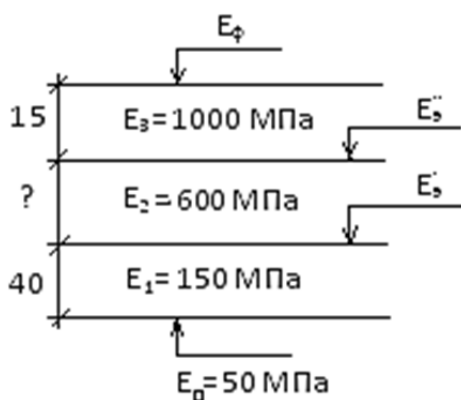


Рис. П10.4. Конструкция дорожной одежды

Необходимо определить толщину слоя № 2.

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограмму (см. рис. 2.9).

Из решения предыдущей задачи минимальный требуемый модуль упругости составит 268 МПа.

Фактический модуль упругости с учетом коэффициента запаса прочности составит

$$E_{\phi} = 268 \cdot 1,1 = 295.$$

Составим расчетную схему (рис. П10.5):

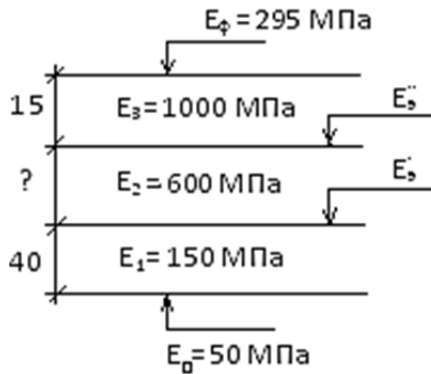


Рис. П10.5. Расчетная схема

Расчетом снизу вверх найдем значение эквивалентного модуля на поверхности нижнего слоя основания E_3^1 .

$$K_2 = h_1 / D = 40 / 39 = 1,03;$$

$$K_1 = E_0 / E_1 = 50 / 150 = 0,33.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение E_3^1 / E_1 (K_3), которое составит $K_3 = 0,64$:

$$E_3^1 = E_1 K_3 = 150 \cdot 0,64 = 96 \text{ МПа.}$$

Расчетом сверху вниз найдем значение эквивалентного модуля на поверхности верхнего слоя основания E_3^{II} .

$$K_2 = h_3 / D = 15 / 39 = 0,38;$$

$$K_1 = E_{\phi} / E_3 = 295 / 1000 = 0,295.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $E_3^{\text{II}} / E_3 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,19$:

$$E_3^{\text{II}} = E_3 \cdot K_3 = 1000 \cdot 0,19 = 190 \text{ МПа}.$$

Определяем толщину слоя № 2.

$$m_1 = E_3^{\text{II}} / E_2 = 190 / 600 = 0,32;$$

$$m_2 = E_3^{\text{I}} / E_3 = 96 / 600 = 0,16.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $h_2 / D (m_3)$ которое составит 0,57. Тогда $h_2 = 0,57 \cdot 39 = 22 \text{ см}$.

Задача № 5. Проверить условие сдвигоустойчивости грунта земляного полотна или дополнительного слоя основания.

Исходные данные:

1. Угол внутреннего трения грунта (слоя основания) – 40° .
2. Сила внутреннего сцепления – 0,005 МПа.
3. Коэффициенты $K_1 = 3,0$, $K_2 = 0.9$.
4. Расчетная нагрузка – A_2 .
5. Значения модулей упругости и конструкцию дорожной одежды принять по рис. П10.6.

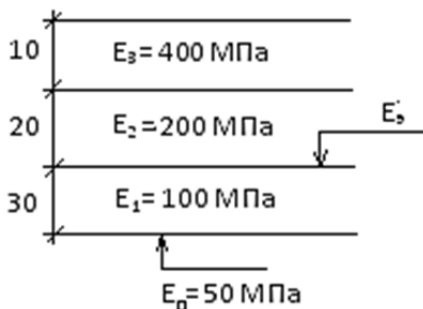


Рис. П10.6. Конструкция дорожной одежды

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограммы (рис. 2.9, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18).

Условие сдвигоустойчивости несвязных материалов имеет вид (4.9):

$$K_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \leq T_{\text{пр}} / T_{\text{а}}$$

Предельное активное напряжение сдвига $T_{\text{пр}}$ в грунте рабочего слоя (или в дополнительном слое основания) определяют по формуле (4.10):

$$T_{\text{пр}} = Ck_1k_2.$$

В нашем случае:

$$T_{\text{пр}} = 0,005 \cdot 3 \cdot 0,9 = 0,0135 \text{ МПа.}$$

Расчетное активное напряжение сдвига $T_{\text{а}}$, МПа, возникающее в грунте или в неукрепленных материалах, определяют по формуле (4.12):

$$T_{\text{а}} = \bar{\tau}_{\text{а}}P + \tau_{\text{в}},$$

Многослойную дорожную конструкцию приводим к двухслойной расчетной модели в соответствии с рис. П10.7.

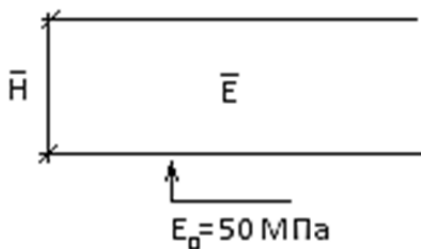


Рис. П10.7. Расчетная схема

Определяем средневзвешенный модуль пакета слоев:

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i},$$

где n – количество слоев дорожной одежды, шт.;

E_i – модуль упругости i -го слоя, МПа;

h_i – толщина i -го слоя, м.

В нашем случае:

$$E_b = (400 \cdot 10 + 200 \cdot 20 + 30 \cdot 100) / (10 + 20 + 30) = 183 \text{ МПа.}$$

Суммарная толщина слоев составит:

$$H = 60 \text{ см;}$$

$$H/D = 60/39 = 1,5;$$

$$E_b/E_0 = 183/50 = 3,7.$$

По номограмме (рис. 4.15) найдем:

$$\tau_a = 0,021.$$

По номограмме (рис. 4.17) получим, что $\tau_b = -0,0042$ МПа.

Подставляя все полученные значения в формулу (4.9) получим

$$T_a = 0,021 \cdot 0,6 - 0,0042 = -0,0294 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется.

При проверке сдвигоустойчивости дополнительного слоя основания, вместо E_0 , подставляется эквивалентный модуль E_3^i . Соответственно, при определении суммарной толщины слоев и среднего модуля упругости будут рассматриваться два верхних слоя.

Задача № 6. Проверить условие устойчивости монолитного слоя к усталостным деформациям.

Исходные данные:

1. Нормативное значение прочности на изгиб – 2,9 МПа.
2. Суммарная интенсивность движения расчетных автомобилей за весь срок службы – 200 000.

3. Коэффициенты: $t = 1,32$, $K_M = 1,0$, $K_T = 0,9$, $m = 4,5$, $\alpha = 6,1$.
4. Коэффициент запаса прочности – 1,15.
5. Значения модулей упругости и конструкцию дорожной одежды принять по рис. П10.8.

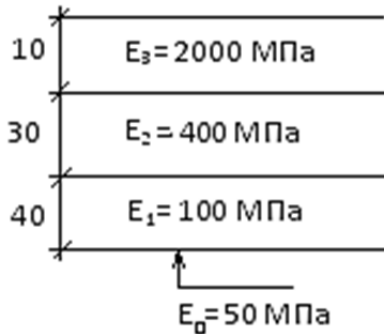


Рис. П10.8. Конструкция дорожной одежды

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограммы (см. рис. 2.9).

Условие устойчивости монолитного слоя усталостным деформациям имеет вид (4.14):

$$k_{\text{пр}}^{\text{ТР}} \leq R_{\text{доп}} / \sigma_r.$$

Значение допустимого напряжения определим по условию (4.15):

$$R_{\text{доп}} = R_{\text{и}} (1 - 0,1t) k_M k_{\text{кн}} k_T.$$

Коэффициент учета кратковременности и повторности нагружения на дорогу $K_{\text{кн}}$ определяется по формуле (4.16):

$$K_{\text{кн}} = \alpha \sum N_p^{-(1/m)}.$$

В нашем случае:

$$K_{\text{кн}} = 6,1 \cdot 200\,000^{-1/4,5} = 0,42.$$

Тогда

$$R_{\text{доп}} = 2,9 (1 - 0,1 \cdot 1,32) 1,0 \cdot 0,42 \cdot 0,9 = 0,95 \text{ МПа.}$$

Полное растягивающее напряжение σ_r , МПа, определяется по формуле (4.18):

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r p K_{\bar{\sigma}}.$$

Принимаем $K_{\bar{\sigma}} = 0.85$.

Представим расчетную схему (рис. П10.9).

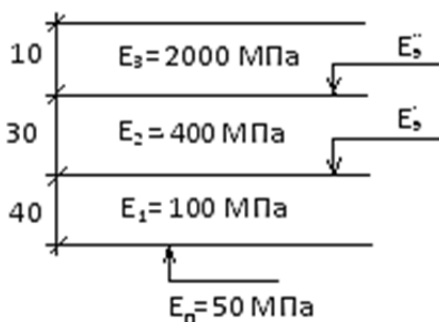


Рис. П10.9. Расчетная схема

Определяем значение E_3^I .

$$K_2 = h_1 / D = 40 / 39 = 1,03;$$

$$K_1 = E_0 / E_1 = 50 / 100 = 0,5.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $E_3^I / E_1 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,77$:

$$E_3^I = E_1 K_3 = 100 \cdot 0,77 = 77 \text{ МПа.}$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности верхнего слоя основания E_3^{II} :

$$K_2 = h_2 / D = 30 / 39 = 0,77;$$

$$K_1 = E_3^I / E_2 = 77 / 400 = 0,19.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $E_3^{\text{II}}/E_2 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,43$:

$$E_3^{\text{II}} = E_2 K_3 = 400 \cdot 0,43 = 172 \text{ МПа.}$$

Определяем отношение:

$$E_3 / E_3^{\text{II}} = 2000 / 172 = 11,6;$$

$$H / D = 10 / 39 = 0,26.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем:

$$\bar{\sigma}_r = 1,78 \text{ МПа.}$$

Тогда

$$\sigma_r = 1,78 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 0,91 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие (4.14):

$$1,15 \leq 0,95 / 0,91 = 1,04.$$

Условие не выполняется. При невыполнении условия необходимо повысить эквивалентный модуль упругости подстилающего основания E_3^{II} за счет увеличения толщины наиболее дешевых слоев либо понизить σ_r за счет увеличения толщины слоев асфальтобетона. Решение принимается на основе технико-экономического сравнения.

Задача № 7. Определить толщину дренирующего слоя и проверить условие морозостойчивости дорожной одежды.

Исходные данные:

1. Район строительства – Витебский район.
2. Коэффициент фильтрации материала дренирующего слоя – 5 м/сутки.
3. Общая толщина слоев дорожной одежды с учетом дренирующего слоя – 85 см.
4. Грунт земляного полотна – суглинок.
5. Категория дороги – 3.
6. Материал дренирующего слоя – песок крупный.

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограмму (см. рис. 3.1), карту (рис. 4.31) и табл. 3.1.

Полную толщину дренирующего слоя дорожной одежды h_{Π} (м) определяют по формуле (3.1):

$$h_{\Pi} = h_m b K_c + h_{\text{зап.}}$$

Коэффициент b , зависящий от длины пути фильтрации воды, равен 0,4 для дороги III категории.

Дополнительная толщина слоя $h_{\text{зап.}}$, зависящая от капиллярных свойств материала, равна:

0,18–0,20 м – пески мелкие.

0,14–0,15 м – пески средней крупности;

0,10–0,12 м – пески крупные.

Витебский район относится к первому дорожно-климатическому району. Тогда по табл. 3.1 значение q составит 6 л/м²сутки. По номограмме (см. рис. 3.1) найдем значение h_m , которое составит 53 см. Окончательно толщина дренирующего слоя составит

$$h_{\Pi} = 53 \cdot 0,4 \cdot 1,1 + 10 = 33 \text{ см.}$$

Проверим критерий морозостойкости дорожной одежды (4.19).

Требуемую толщину дорожной одежды определим по рис. 4.31. Для Витебского района требуемая толщина составит 95 см.

Проверяем критерий морозостойкости дорожной одежды:

$$95 \text{ см} \geq 85 \text{ см} - \text{условие не выполняется.}$$

Требуется корректировка дорожной одежды. Толщину подстилающего (морозозащитного) слоя необходимо увеличить на 10 см.

Задача № 8. Принять решение о целесообразности использования материала старого покрытия в новой дорожной одежде и назначить конструкцию слоев усиления.

Преподаватель выдает табл. 6.2 и 6.3.

Исходные данные:

1. Ровность покрытия 6 мм/км.

2. Удельные площади дефектов, занятые пластическими деформациями (0,3), температурными трещинами (0,2), усталостными трещинами (0,2), коррозионными деформациями (0,3).

3. Категория дороги – 2.

4. Срок службы покрытия – 13 лет.

Решение.

Определяем уровень дефектности по (6.9)

$$\begin{aligned} \text{ДП} &= 1 - \sqrt[4]{(1 - F_1) \cdot (1 - F_2) \cdot (1 - F_3) \cdot (1 - F_4)} = \\ &= 1 - \sqrt[4]{(1 - 0,3) \cdot (1 - 0,2) \cdot (1 - 0,2) \cdot (1 - 0,3)} = 0,22. \end{aligned}$$

Коэффициент надежности по формуле (6.2) составит:

$$K_H = 1 - \text{ДП} = 1 - 0,22 = 0,78.$$

Допустимый коэффициент надежности по табл. 6.2 составит 0,8.

$$K_H < K_H^{\text{доп}}.$$

Следовательно, принимаем решение об удалении материала старого покрытия.

Определим допустимую ровность покрытия.

Фактическая ровность на момент диагностики составила 6 мм/м.

Определим допустимую ровность по формуле (6.10)

$$IRI_{\text{доп}} = IRI_0 \exp(Bt).$$

Для дороги второй категории по табл. 6.3

$$IRI_0 = 2,0 \text{ мм/м}, \quad B = 0,0644.$$

Срок службы покрытия t в нашем случае составляет 13 лет. Тогда

$$IRI_{\text{доп}} = 2 \exp(0,064 \cdot 13) = 6,5 \text{ мм/м}.$$

Фактическая ровность (6 мм/м) меньше допустимой (6,5 мм/м), что не требует устройства выравнивающего слоя. Однако в связи

с тем, что материал старого покрытия фрезеруется (удаляется), необходимо устройство выравнивающего слоя.

Таким образом, принимаем трехслойное покрытие. Нижний слой принимаем из песчаного асфальтобетона типа Г марки 1.

Задача № 9. Определить глубину фрезерования старого покрытия из условия предотвращения отраженных дефектов.

Исходные данные:

1. Максимальная структурная прочность слоя усиления – 9,0 МПа.
2. Конструкцию слоев старого покрытия и значения модулей релаксации при $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ принять по рис. П10.10.

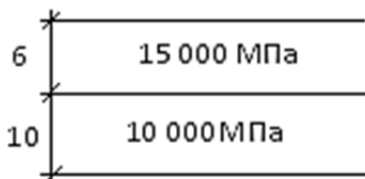


Рис. П10.10. Конструкция и характеристики асфальтобетонного покрытия

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограмму (см. рис. 6.2).

Эксплуатируемая дорожная одежда состоит из двух асфальтобетонных слоев: 1-й средней толщиной 6 см, 2-й средней толщиной 10 см.

На рис. П10.10 указаны модули упругости асфальтобетонных слоев при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Проверка условия необходимости предотвращения отраженного трещинообразования

Предельное напряжение при растяжении, рассчитанное по формуле (6.7):

$$\sigma_p^{\text{пред}} = 0,2R_c = 0,2 \cdot 9 = 1,8 \text{ МПа.}$$

По графику, представленному на рис. 6.6, в зависимости от толщины старого покрытия (16 см) и среднего модуля упругости при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (11 875 МПа) определяем значение растягивающих напряжений в нижней части слоя, которое составит 5,8 МПа.

Проверяем условие устойчивости отраженным трещинам (6.6):

$$5,8 > 1,8.$$

Условие не выполняется, следовательно, нужно предусмотреть мероприятия по борьбе с отраженными трещинами.

Мероприятия по предотвращению отраженного трещинообразования.

Для того чтобы выполнялось условие (6.6), необходимо, чтобы растягивающее напряжение в нижней части слоя было меньше 1,8 МПа.

По рис. 6.6 определим толщину старого слоя, при котором напряжения при модуле 11 875 составят 1,8 МПа, которая составит 4 см.

Таким образом, для предотвращения отраженных трещин необходимо фрезерование старого асфальтобетонного покрытия на глубину 12 см ($16 - 4 = 12$ см).

Задача № 10. Определить ширину разделки трещин из условия предотвращения появления отраженных дефектов.

Исходные данные:

Исходные данные и конструкцию примем для предыдущей задачи.

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограммы (рис. 6.6 и рис. 6.7).

Как было установлено в предыдущей задаче, растягивающие напряжения в нижней части слоя – 5,8 МПа. Коэффициент снижения растягивающих напряжений составит 5,8.

По графику, представленному на рис. 6.7, определяем отношение ширины разделки трещин к толщине старого слоя асфальтобетона. В нашем случае это отношение составит 1,4. Следовательно, ширина разделки составит 22,4 см ($16 \cdot 1,4 = 22,4$ см).

Задача № 11. Проверить условие сдвигоустойчивости верхнего слоя асфальтобетонного покрытия.

Исходные данные:

1. Угол внутреннего трения асфальтобетона при 50 °С – 45°.
2. Сила внутреннего трения асфальтобетона при 50 °С – 0,4 МПа.
3. Расчетная нагрузка – A_2 .

4. Интенсивность движения расчетных автомобилей – 250 авт./сутки.
5. Коэффициент запаса прочности – 1,2.
6. Конструкцию дорожной одежды и значения модулей упругости принять по рис. П10.11.

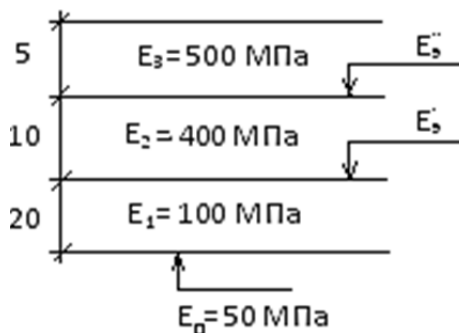


Рис. П10.11. Конструкция дорожной одежды

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограммы (рис. 2.9, 8.2, 8.3, 8.4).

Диаметр отпечатка для расчета на сдвиг принимаем равным 28 см. Определяем эквивалентные модули упругости на контактах слоев E_3^I и E_3^{II} (см. рис. П10.11).

Расчет ведем снизу вверх.

Определяем эквивалентный модуль на поверхности нижнего слоя основания E_3^I :

$$K_2 = h_1 / D = 20 / 28 = 0,71;$$

$$K_1 = E_0 / E_1 = 50 / 100 = 0,5.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение E_3^I / E_1 (K_3), которое составит $K_3 = 0,7$:

$$E_3^I = E_1 K_3 = 100 \cdot 0,7 = 70 \text{ МПа.}$$

Определяем эквивалентный модуль на поверхности нижнего слоя покрытия E_3^{II} :

$$K_2 = h_2 / D = 10 / 28 = 0,36;$$

$$K_1 = E_3^I / E_2 = 70 / 400 = 0,175.$$

По номограмме (см. рис. 2.9) найдем отношение $E_3^{II} / E_2 (K_3)$, которое составит $K_3 = 0,28$:

$$E_3^{II} = E_2 \cdot K_3 = 400 \cdot 0,28 = 112 \text{ МПа.}$$

Условие устойчивости пластическим деформациям имеет следующий вид (8.2):

$$\tau \leq \frac{CK}{B_C K_3} + |\sigma| \operatorname{tg} \varphi.$$

Проверим условие устойчивости верхнего слоя покрытия (№ 1).
Определим отношение

$$\frac{E_3}{E_3^{II}} = \frac{500}{112} = 4,46.$$

По номограмме 8.2 для толщины 5 см значения касательных напряжений:

$$\tau_0 = 0,27 \text{ МПа.}$$

По номограмме (8.3) определим нормальные напряжения σ_0 :

$$\sigma_0 = 0,118 \text{ МПа.}$$

Интенсивность движения расчетных автомобилей (250) менее 300 авт./сут. Следовательно, горизонтальную нагрузку не учитываем.

По рис. 8.4 найдем параметр B_p , который для интенсивности 250 авт./сут. составит 0,97.

Проверяем условие (8.5):

$$\frac{CK}{B_p K_3} + \sigma \operatorname{tg} \varphi = \frac{0,4 \cdot 0,80}{0,97 \cdot 1,2} + 0,118 \cdot \operatorname{tg} 45 = 0,39.$$

Проверяем условие прочности

$$\tau = 0,27 < 0,39.$$

Условие выполняется.

Задача № 12. Проверить условие сдвигоустойчивости нижнего слоя асфальтобетонного покрытия.

Исходные данные:

Исходные данные примем как для предыдущей задачи.

Конструкцию дорожной одежды и значения модулей упругости примем по рис. П10.12.

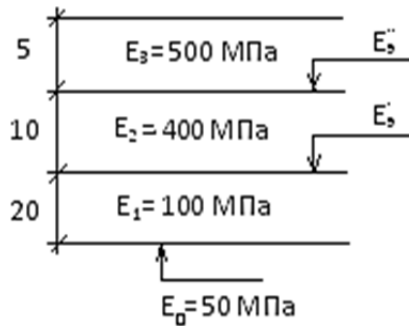


Рис. П10.12. Конструкция дорожной одежды

Решение.

Для решения задачи преподаватель выдает номограммы (рис. 2.9, 8.4, 8.5, 8.6).

Диаметр отпечатка для расчета на сдвиг принимаем равным 28 см. Расчетная схема представлена на рис. П10.13.



Рис. П10.13. Расчетная схема

Условие устойчивости пластическим деформациям имеет вид (8.2):

$$\tau \leq \frac{CK}{B_C K_3} + |\sigma| \operatorname{tg} \varphi.$$

По рис. 8.4 найдем параметр B_p , который для интенсивности 250 авт./сут. составит 0,97.

Проверяем условие (8.2).

Вычисляем средний модуль упругости слоев № 2 и № 3:

$$E_{\text{ср}} = \frac{E_3 h_3 + E_2 h_2}{h_2 + h_3} = \frac{500 \cdot 5 + 400 \cdot 10}{5 + 10} = 433 \text{ МПа.}$$

Находим отношение:

$$\frac{E_{\text{ср}}}{E_3^I} = \frac{433}{70} = 6,19.$$

По номограмме 8.5 для толщины слоя 15 см и отношения модулей найдем:

$$\tau = 0,15 \text{ МПа.}$$

По рис. 8.6 найдем

$$\sigma = 0,05 \text{ МПа.}$$

Вычисляем:

$$\frac{CK}{B_p K_3} + \sigma \operatorname{tg} \varphi = \frac{0,25 \cdot 0,80}{0,97 \cdot 1,2} + |0,05| \operatorname{tg} 40 = 0,21 \text{ МПа;}$$

$$\tau = 0,15 < 0,21 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется.

Учебное издание

ВЕРЕНЬКО Владимир Адольфович

ПРОЕКТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Учебно-методическое пособие
по выполнению курсового и дипломного проекта
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

Редактор *Е. С. Кочерго*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 16.05.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 17,44. Уч.-изд. л. 13,64. Тираж 300. Заказ 841.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.