



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ИНЖЕНЕРИИ
ДЕПАРТАМЕНТ «СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И ПРОТОТИПИРОВАНИЯ»

Солдатов А.А., Корниенко В.В.

Научные основы эксплуатации автомобильных дорог и городской улично-дорожной сети

Методические указания по выполнению практических работ

Для студентов направления
08.04.01 «Строительство»

Направленность профиль «Проектирование, строительство и эксплуатация
автомобильных дорог»

Содержание

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	3
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	8
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 КОНСТРУИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	18
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4 РАСЧЁТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ НА ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ	25
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 КРИТЕРИИ НАДЁЖНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	36
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6 ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ СЛОЁВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ	43
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7 ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПО ДОПУСТИМОМУ УПРУГОМУ ПРОГИБУ	65
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8 РАСЧЁТ ПО УСЛОВИЮ СДВИГОУСТОЙЧИВОСТИ СЛОЁВ С ПОНИЖЕННОЙ СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬЮ СДВИГУ	75
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9 РАСЧЁТ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ В МОНОЛИТНЫХ СЛОЯХ.....	85
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10 РАСЧЁТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ.....	94

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Виды дорожных одежд и конструктивные слои

Дорожная одежда (ДО) – это инженерная многослойная конструкция, воспринимающая нагрузку от транспортных средств и передающая её на грунтовое основание или подстилающий грунт [1].

Жёсткая – одежда, работающая как плита конечных размеров, лежащая на упругом основании при свободном, штыревом или другом виде сопряжения плит. К жёстким относят дорожные одежды с цементобетонными покрытиями или асфальтобетонными покрытиями на бетонном основании.

Нежёсткая – одежда, работающая как слоистая система бесконечных в плане размеров на грунтовом основании. К нежёстким дорожным одеждам (ДО) относятся одежды со слоями, устроенными из разного вида асфальтобетона (или дёгтебетонов), из материалов и грунтов, укрепленных битумом, цементом, известью, комплексными и другими вяжущими, а также из слабосвязных зернистых материалов (щебня, шлака, гравия и др.).

В многослойных конструкциях различают следующие элементы дорожной одежды.

Покрытие – это верхняя часть ДО, воспринимающая усилия от колёс транспортных средств и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов.

Основание – часть конструкции ДО, расположенная под покрытием. Оно обеспечивает совместно с покрытием перераспределение напряжений в конструкции, а также морозоустойчивость и осушение конструкции. Состоит из нескольких слоёв.

При наличии неблагоприятных погодных-климатических и грунтово-гидрологических условий между несущим основанием и подстилающим грунтом устраивают *дополнительные слои основания*.

Рабочий слой земляного полотна (подстилающий грунт) – это тщательно уплотнённая и спланированная верхняя часть полотна, на которую укладывают дорожные одежды. Он находится в пределах от низа дорожной одежды до 2/3

глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия. На рабочий слой передаётся и распределяется всё давление от транспортных нагрузок.

Комплекс, включающий в себя дорожную одежду и земляное полотно с дренажными, водоотводными, удерживающими и укрепительными конструктивными элементами, называется *дорожной конструкцией*. Пример дорожной конструкции приведён на рис. 1.1.

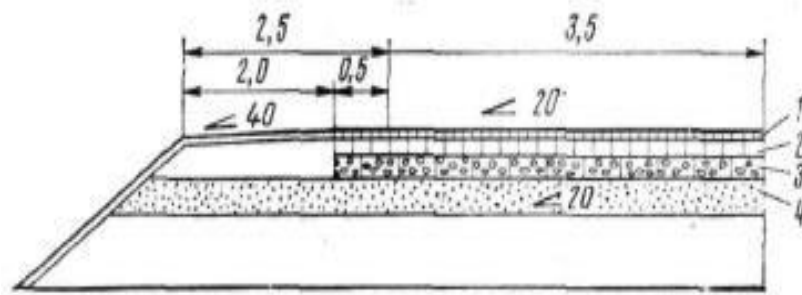


Рисунок 1.1 – Конструкция дорожной одежды; 1 – верхний слой покрытия – мелкозернистый плотный асфальтобетон (5 см); 2 – нижний слой покрытия – крупнозернистый пористый асфальтобетон (8 см); 3 – верхний слой основания – песчано-гравийная смесь, укрепленная цементом (22 см); 4 – нижний слой основания – песок (30 см).

Покрытие назначается с учётом перспективной приведённой интенсивности движения.

Классификация по типу покрытия

Классификация дорожных одежд по типу покрытия приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1 (ОДН 218.046-01, табл. 1.1) – Классификация дорожных одежд

Типы дорожных одежд		Материал и способ его укладки
Усовершенствованное	Капитальные	Из горячих асфальтобетонных смесей
		Цементобетонные монолитные
		Железобетонные, монолитные и сборные или из предварительно напряжённого цементобетона, армобетонные сборные и монолитные

	Облегченные	1. Из горячих асфальтобетонных смесей 2. Из холодных асфальтобетонных смесей 3. Из органоминеральных смесей: с жидкими органическими вяжущими; с жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными; с вязкими, в том числе эмульгированными органическими вяжущими; с эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными 4. Из каменных материалов и грунтов, обработанных битумом по способу смешения на дороге или методами пропитки 5. Из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими методом пропитки 6. Чёрного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки 7. Из пористой и высокопористой асфальтобетонной смеси с поверхностной обработкой 8. Из прочного щебня с двойной поверхностной обработкой
	Переходные	Щебёночные и гравийные; из грунтов и каменных материалов, обработанных вяжущими или армированных геосинтетическими материалами
	Низшие	Из грунтов, армированных геосинтетическими материалами или улучшенных добавками

По виду покрытия дорожные одежды подразделяются на усовершенствованные, переходные и низшего типа. *Усовершенствованные* покрытия используются на дорогах высоких категорий. Дорожные одежды *переходного типа* используются на дорогах IV и V категорий. *Низшего типа* – на дорогах V категории. Усовершенствованные покрытия подразделяются на *капитальные* и *облегченные*. Обычно дорожные одежды капитального типа проектируют на дорогах I-й и II-й категории, облегченного – III-й и IV-й категории [2, 3].

Этапы проектирования дорожных одежд нежёсткого типа

- Назначение типа дорожной одежды в зависимости от категории дороги;
- Назначение расчётной нагрузки на дорожные одежды;
- Конструирование дорожной одежды;
- Расчёты дорожной одежды на прочность;

- Расчёты дорожной одежды на морозоустойчивость и осушение.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение термину «дорожная одежда». Каково её основное назначение?
2. Назовите и охарактеризуйте три основных конструктивных элемента (слоя) дорожной одежды. Какой функции служит каждый из них?
3. В чём заключается принципиальное различие между жёсткой и нежёсткой дорожной одеждой?
4. Что входит в понятие «дорожная конструкция» в широком смысле?
5. Перечислите три основных типа покрытий дорожных одежд по уровню качества (совершенства).
6. На дорогах каких категорий применяются усовершенствованные покрытия капитального типа?
7. Проанализируйте рисунок 1.1 из документа. Определите, к какому типу (жёсткая/нежёсткая) относится изображённая конструкция и обоснуйте свой ответ, назвав материалы каждого слоя.
8. Используя таблицу 1.1, приведите по два примера материалов для каждого из следующих типов покрытий: облегчённое усовершенствованное, переходное, низшее.

Источники информации

1. ОДН 218.046-01. Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежёстких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.
2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.
3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
4. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009. Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.
6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.
7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.
8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.
9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Задачи и принципы конструирования дорожных одежд

Процедура конструирования дорожных одежд (ДО) включает в себя:

- выбор покрытия;
- назначение числа конструктивных слоёв с выбором материалов и назначение их ориентировочных толщин. Обычно конструкция ДО состоит из одно- или двухслойного покрытия, основания, также состоящего из нескольких слоёв, и дополнительного слоя основания;
- назначение морозо- или теплозащитных мер, а также мер по повышению трещиностойкости и сдвигоустойчивости слоёв, чувствительных к тепловлажностным воздействиям.

Материалы слоёв должны располагаться по толщине ДО с учётом прочности. Прочность слоя материала должна убывать сверху – вниз. Желательно, чтобы отношение модулей упругости смежных материалов находилось в пределах.

$$\frac{E_1}{E_2} = 5 : 6$$

Обычно дорожные одежды капитального типа проектируют на дорогах I-й и II-й категории и на дорогах III-й и IV категории с большой долей большегрузного транспорта. Капитальные покрытия устраивают из горячих асфальтобетонных смесей (см. табл. 1.1).

Дорожные одежды облегченного типа устраивают на дорогах III-й и IV-й категории [1, 2]. Покрытия в этом случае делают: из горячих и холодных асфальтобетонных смесей; чёрного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки; из пористой и высокопористой асфальтобетонной смеси с поверхностной обработкой и т.д. (см. табл. 1.1).

Вид, марку и тип асфальтобетона для покрытия назначают в соответствии с положениями действующих СП 34.13330.2012 «Автомобильные дороги» и ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон,

полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия» [3,4].

Одной из основных задач при конструировании пакета асфальтобетонных слоёв является оптимизация толщины верхнего слоя из плотного или высокоплотного асфальтобетона.

Асфальтобетонное покрытие и основание должны быть, как правило, однослойным. Двухслойное асфальтобетонное основание допустимо применять лишь при необходимости использования в нижнем слое основания асфальтобетона с пониженной сдвигоустойчивостью (высокопористый, песчаный).

Классификация асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-2013

Асфальтобетонная смесь – это рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня (гравия) и песка с минеральным порошком или без него) с битумом, взятых в определённых соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии. *Асфальтобетон* – это уплотнённая асфальтобетонная смесь.

В зависимости от вида минеральной составляющей смеси подразделяют на щебёночные, гравийные и песчаные.

- *горячие* асфальтобетонные смеси – это смеси на вязких и жидких нефтяных дорожных битумах, применяемые непосредственно после приготовления с температурой не ниже 120 °С.

- *холодные* асфальтобетонные смеси – смеси на жидких нефтяных дорожных битумах, допускаемые к длительному хранению и применяемые с температурой не ниже 5 °С.

В зависимости от наибольшего размера зёрен минеральных материалов смеси подразделяют на:

- *крупнозернистые* – с зёрнами размером до 40 мм; *мелкозернистые* – с зёрнами размером до 20 мм; *песчаные* – с зёрнами размером до 10 мм.

В зависимости от значения остаточной пористости ε горячие асфальтобетонные смеси подразделяют на:

- *высокоплотные* $1 < \varepsilon \leq 2,5 \%$;

- *плотные* $2,5 < \varepsilon \leq 5 \%$;

- *пористые* $5 < \varepsilon \leq 10 \%$;

- *высокопористые* $\varepsilon > 10\%$.

Холодные асфальтобетоны должны иметь остаточную пористость $6 < \varepsilon \leq 10\%$. В зависимости от содержания в асфальтобетонных смесях щебня (гравия)

$C_{щ}$ горячие щебёночные и гравийные асфальтобетонные смеси и плотные асфальтобетоны подразделяют на типы:

А – $50\% < C_{щ} \leq 60\%$; **Б** – $40\% < C_{щ} \leq 50\%$; **В** – $30\% < C_{щ} \leq 40\%$.

Холодные щебёночные или гравийные асфальтобетонные смеси и плотные асфальтобетоны подразделяют на типы:

Бх – $40\% < C_{щ} \leq 50\%$;

Вх – $30\% < C_{щ} \leq 40\%$.

Горячие песчаные смеси и асфальтобетоны в зависимости от вида песка подразделяются на типы **Г** (на песках из отсевов) и **Д** (на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления).

Холодные песчаные смеси и асфальтобетоны в зависимости от вида песка подразделяются на типы **Гх** (на песках из отсевов) и **Дх** (на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления).

Смеси и асфальтобетоны в зависимости от показателей физико-механических свойств и применяемых материалов подразделяют на марки, указанные в табл. 2.1 [4].

Таблица 2.1 - (ГОСТ 9128-2013, табл. 1) – Марки асфальтобетонных смесей

Вид и тип смесей из асфальтобетона			Марка
по температуре	по плотности	тип	
горячие	высокоплотные		I
	плотные	А Б, Г В, Д	I, II I, II, III II, III
	пористые		I, II
	высокопористые щебёночные		I
	высокопористые песчаные		II
холодные	$6 < \varepsilon \leq 10 \%$	Бх, Вх	I, II
		Гх	I, II

		Дх	II
	высокопористые щебёночные		I

Конструирование покрытий дорожных одежд капитального типа

Покрытия устраивают из *горячих* асфальтобетонных смесей. На дорогах I, II-й категорий в верхнем слое дорожной одежды используется *плотный асфальтобетон I-й марки мелкозернистый* (щебёночный или гравийный) типов **А, Б** и песчаный типа **Г**.

Марка битума назначается в соответствии с приложением А к ГОСТ 9128- 2013 в зависимости от категории дороги и дорожно-климатической зоны (см. Приложение). В табл. 2.2 приведены марки битума, используемые в II и III дорожно-климатических зонах, в соответствии с ГОСТ 9128-2013.

Таблица 2.2 – Применяемые марки битума для капитальных покрытий во II и III дорожно-климатических зонах

Вид асфальто- бетона	Категория автомобильной дороги					
	I, II		III		IV	
	Типы и марка смеси	Марка битума	Типы и марка смеси	Марка битума	Типы и марка смеси	Марка битума
Плотный из горячих смесей	Типы А, Б, В, Г марка I	БНД 60/90 БНД 90/130	Типы А, Б, В, Г, Д марка II	БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130	Типы Б, В, Г, Д марка III	БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130

Конструирование покрытий дорожных одежд облегченного типа

Дорожные одежды *облегченного типа с асфальтобетонным и дёгтебетонным покрытием* устраивают на дорогах III и IV категорий и на первой стадии двухстадийного строительства дорог II категории:

1. Верхний слой из горячих асфальтобетонных смесей – плотный мелкозернистый щебёночный (гравийный).

На дорогах III категории – II-й марки типов **А, Б** и **В** и *песчаный* асфальтобетон типов **Г** и **Д**.

На дорогах IV-й категории – III-й марки типов **Б** и **В**, *песчаный* типов **Г** и **Д**.

2. Верхний слой из холодных асфальтобетонных смесей – асфальтобетон мелкозернистый щебёночный (гравийный).

На дорогах III категории – I-й марки типов **Бх** и **Вх** и *песчаный* асфальтобетон типов **Гх**.

На дорогах IV-й категории – II-й марки типов **Бх** и **Вх**, *песчаный* типов **Гх** и **Дх**.

3. Покрывание из пористого асфальтобетона с устройством поверхностной обработки или из высокопористого асфальтобетона с устройством двойной поверхностной обработки допускается устраивать на дорогах с перспективной интенсивностью движения до 3000 авт./сут и при стадийном строительстве.

Соответствующие марки смеси и марки битума приведены в табл. 2.3. Для Красноярского края используется битум марки БНД 90/130.

4. *Из органоминеральных смесей:* с жидкими органическими вяжущими; с жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными; с вязкими, в том числе эмульгированными органическими вяжущими; с эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными.

Таблица 2.3 – Применяемые марки битума для облегченных покрытий во II и III дорожно-климатических зонах

Вид асфальтобетона	Категория автомобильной дороги			
	III		IV	
	Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума
Плотный из горячих смесей	Типы А, Б, В, Г, Д марка II	БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130	Типы Б, В, Г, Д марка III	БНД 60/90 БНД 90/130 БН 60/90 БН 90/130
Из холодных смесей	I	СГ 70/130	II	СГ 70/130 МГ 70/130 МГО 70/130

5. Из каменных материалов и грунтов, обработанных битумом по способу смешения на дороге или методами пропитки.

6. Из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими методом пропитки.

7. Чёрного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки.

8. Из прочного щебня с двойной поверхностной обработкой.

Дорожные одежды с покрытием из щебня, гравия и песка, обработанных вяжущими устраивают на дорогах IV и V категорий.

Назначение толщины покрытия

Предварительно толщину покрытия из асфальтобетона облегченных дорожных одежд следует назначать равной 4-6 см, а при использовании других материалов (дёгтебетонные, из чёрного щебня, из щебня, обработанного вяжущими по способу пропитки, из крупнообломочных материалов, из песчаных или супесчаных грунтов, обработанных в установке битумной эмульсией совместно с цементом) – равной 6-8 см. Окончательно толщину покрытия устанавливают расчётом.

Независимо от результатов расчёта на прочность дорожной одежды толщины конструктивных слоев в уплотненном состоянии следует принимать не менее приведенных в табл. 2.4 значений.

Если асфальтобетонные слои и слои, содержащие органическое вяжущее, укладывают на слои основания, укрепленные цементом, то толщину слоёв из материалов, содержащих органическое вяжущее (для ограничения появления «отражённых» трещин на покрытии) нужно принимать, как правило, не менее толщины слоёв, укрепленных цементом. При этом минимальная толщина слоёв с органическими вяжущими должна соответствовать данным табл. 2.5.

Таблица 2.4 - (СП 34.13330.2012, табл. 8.9) – Минимальная толщина слоёв дорожной одежды

Материалы слоёв дорожной одежды	Толщина слоя, см
Крупнозернистый асфальтобетон (с размером зёрен до 40 мм)	7
Мелкозернистый асфальтобетон (с размером зёрен до 20 мм)	5

Щебёночно-мастичный асфальтобетон (до 10 мм) и песчаный асфальтобетон (до 5 мм)	3
Щебёночные (гравийные) материалы, обработанные органическим вяжущим	8
Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу пропитки	8
Щебёночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими: на песчаном основании	15
на прочном основании (каменном или из укрепленного грунта)	8
Каменные материалы и грунты, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10

Примечание: Толщину конструктивного слоя следует принимать во всех случаях не менее двойного размера наиболее крупной фракции применяемого минерального материала.

Таблица 2.5 - (СП 34.13330.2012, табл. 7.6) – Ограничения на толщину слоёв

Тип дорожной одежды	Наименьшая толщина слоёв из материалов, содержащих органическое вяжущее, уложенных на слои, укрепленные цементом, см
Капитальные	18
Облегченные	12

Пример конструкции дорожной одежды капитального типа.

1. *1-й слой покрытия.* Горячий мелкозернистый плотный асфальтобетон. Тип Б, марка II – 5 см.
2. *2-й слой покрытия.* Горячий крупнозернистый пористый асфальтобетон – 7 см.
3. *Основание.* Фракционированный щебень, уложенный по способу заклинки – 20 см.
4. *Дополнительный слой.* Гравийно-песчаная смесь С4 – 35 см.
5. *Грунт земляного полотна* – суглинок легкий.

Контрольные вопросы

1. Перечислите три основные задачи, которые решаются в процессе конструирования дорожной одежды.
2. Сформулируйте основной принцип расположения материалов по толщине дорожной одежды с точки зрения их прочности. Каким должно быть соотношение

модулей упругости смежных слоёв?

3. Дайте определения следующим терминам: асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, горячая асфальтобетонная смесь, холодная асфальтобетонная смесь.

4. На какие виды делятся асфальтобетонные смеси в зависимости от вида минеральной составляющей и от наибольшего размера зёрен?

5. Как классифицируются горячие асфальтобетонные смеси по величине остаточной пористости? Укажите границы пористости для каждого вида.

6. На дорогах каких категорий проектируют дорожные одежды капитального типа, а на каких – облегченного?

7. Какое общее правило регламентирует количество слоёв в асфальтобетонном покрытии и основании? В каком случае допускается исключение?

8. Используя таблицу 2.1 (ГОСТ 9128-2013), определите, какие марки присваиваются горячим плотным асфальтобетонам типа Б и типа В.

9. По данным таблицы 2.2, подберите марку битума для устройства плотного покрытия из горячих смесей на дороге I категории. Какие типы смесей при этом используются?

10. В чём заключается разница в требованиях к материалу верхнего слоя покрытия для дорог III и IV категорий при использовании горячих асфальтобетонных смесей (см. раздел 2.4)?

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.

2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.

3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов.

Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

Приложение А (ГОСТ 9128-2013)

Область применения асфальтобетонов при устройстве верхних слоев покрытий
автомобильных дорог и городских улиц

Дорожно-климатическая зона	Вид асфальтобетона	Категория автомобильных дорог					
		I, II		III		IV	
		марка смеси	марка вяжущего	марка смеси	марка вяжущего	марка смеси	марка вяжущего
I	Плотный и высокоплотный	I	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300	II	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200	III	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200
II, III	Плотный и высокоплотный	I	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 90/130	II	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 БН 60/90 БН 90/130 БН 130/200 БН 200/300	III	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 БН 60/90 БН 90/130 БН 130/200 БН 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200
	Из холодных смесей			I	СГ 70/130 СГ 130/200	II	СГ 70/130 СГ 130/200 МГ 70/130 МГ 130/200 МГО 70/130 МГО 130/200
IV, V	Плотный	I	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90	II	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН 90/130	III	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН 90/130
	Из холодных смесей	-	-	I	СГ 70/130 СГ 130/200	II	СГ 70/130 СГ 130/200 МГ 70/130 МГ 130/200 МГО 70/130 МГО 130/200

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

КОНСТРУИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Конструирование оснований дорожных одежд капитального типа

Слои основания из горячего пористого крупнозернистого асфальтобетона. Его устраивают в верхней части несущего основания на дорогах, предназначенных для движения автомобилей грузоподъемностью 8 и более тонн, при устройстве покрытий толщиной 3-5 см. Размер зёрен – до 40 мм. Горячий пористый асфальтобетон имеет марку I и II [4]. Марка битума применяется та же самая, что и в покрытии.

Асфальтобетонное основание должно быть, как правило, однослойным. Двухслойное асфальтобетонное основание допустимо применять лишь при необходимости использования в нижнем слое основания асфальтобетона с пониженной сдвигоустойчивостью, к которым относятся *высокопористый* ($10\% < \epsilon$) и песчаный. В этом случае слой из пористого асфальтобетона укладывают на слой из *горячего высокопористого щебёночного крупнозернистого асфальтобетона* или *горячего высокопористого песчаного асфальтобетона*. Марка указана в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Марки асфальтобетона для оснований

Вид и тип смесей из асфальтобетона			Марка
по температуре	по плотности	тип	
горячие	пористые		I, II
	высокопористые щебёночные		I
	высокопористые песчаные		II
холодные	$6 < \epsilon \leq 10 \%$	Бх, Вх	I, II
		Гх	I, II
		Дх	II
	высокопористые щебёночные		I

Несущий слой основания из прочных материалов. Несущий слой основания капитальных дорожных одежд также устраивают из таких прочных материалов, как дёгтебетон; щебёночные смеси, обработанные битумной эмульсией; фракционированный щебень, обработанный вязким битумом по способу пропитки; фракционированный щебень, уложенный по принципу расклинки мелким щебнем

или гранулированный активным шлаком.

Если в качестве несущего слоя основания применяется *слой из щебня, укрепленного по методу пропитки цементно-песчаной смесью*, то минимальная толщина слоёв капитальной дорожной одежды, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на него, должна быть не менее 18 см (табл. 2.5) и не менее толщины слоёв, укрепленных цементом. Это необходимо для ограничения появления «отражённых» трещин на покрытии.

Слои основания из щебня, уложенного по принципу расклинки мелким щебнем или гранулированный активным шлаком. В этом случае применяют щебень, отвечающий требованиям ГОСТ 25607, ГОСТ 8267, ГОСТ 3344 и [5-7]. В качестве основного материала используют щебень фракции 40-70 (80) мм или фракции 70(80) -120 мм, а в качестве расклинивающего – фракции 5-10, 10-20 и 20-40 мм. При устройстве оснований дорожных одежд из щебня фракции 40-70 (80) мм для расклинки допускается применять щебёночно-песчаные смеси С10, С11 по ГОСТ 25607 вместо фракции 5-10 мм (см. Приложение Б).

По прочности марка щебня на сжатие должна быть в соответствии с табл. 3.2.

Таблица 3.2 (СП 34.13330.2012, табл. 8.13) – Марки щебня по прочности для оснований

Материал	Марка по прочности на сжатие (раздавливание) не менее, МПа для дорог	
	I-III категорий	IV – V категорий
Щебень из изверженных и метаморфических пород	800	800
Щебень из осадочных пород	600	400
Щебень из шлаков чёрной и цветной металлургии, фосфорных	600	400
Щебень из гравия	600	400

В случае укладки каменных материалов на глинистые грунты предусматривают прослойку из геосинтетических материалов или прослойку толщиной не менее 10 см из песка, высевок, укрепленного грунта или других водостойчивых материалов.

Конструирование оснований дорожных одежд облегченного типа

На дорогах III и IV категорий целесообразно устраивать основание дорожной одежды из гравийного пористого асфальтобетона; гравийно-песчаных смесей, обработанных эмульсией, дёгтями и другими органическими вяжущими; различных материалов, грунтов и побочных продуктов промышленности, обработанных неорганическими или комплексными вяжущими, щебёночных и щебёочно-гравийных смесей.

Если в качестве несущего слоя основания применяется *слой из щебня, укрепленный по методу пропитки цементно-песчаной смесью*, то минимальная толщина слоёв облегченной дорожной одежды, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на него, должна быть не менее 12 см (табл. 2.5) и не менее толщины слоёв, укрепленных цементом. Это необходимо для ограничения появления «отражённых» трещин на покрытии.

Слои основания из щебня, уложенного по принципу расклинки мелким щебнем или гранулированный активным шлаком. При этом в качестве основного материала используют щебень фракции 40-70 (80) мм или фракции 70(80) -120 мм, а в качестве расклинивающего – фракции 5-10, 10-20 и 20-40 мм. При устройстве оснований дорожных одежд из щебня фракции 40-70 (80) мм для расклинки допускается применять щебёочно-песчаные смеси С10, С11 по ГОСТ 25607 вместо фракции 5-10 мм (См. приложение к конспекту Б).

По прочности марка щебня на сжатие должна быть в соответствии с табл. 3.2.

Дополнительные слои основания

Между конструктивным слоем из каменных материалов и слоем из мелкозернистых грунтов предусматривают прослойку из геосинтетического материала или прослойку толщиной не менее 10 см из песка, высевок, укрепленного грунта или других водостойчивых материалов.

Для устройства дополнительных слоёв основания могут быть применены смеси С3 - С11 по ГОСТ 25607-2009 [5] и пески по ГОСТ 8736-2014 [6]. Коэффициент фильтрации смесей и песков должен быть не менее 1 м/сут.

Минимальная толщина слоёв

Минимальную толщину слоёв устанавливают в соответствии с табл. 3.3. Толщину конструктивного слоя следует принимать во всех случаях не менее чем двойного размера наиболее крупной фракции применяемого минерального материала.

Таблица 3.3 (СП 34.13330.2012, табл. 8.9) — Минимальная толщина слоёв основания

Материалы слоев дорожной одежды	Толщина слоя, см
Крупнозернистый асфальтобетон (с размером зерен до 40 мм)	7
Мелкозернистый асфальтобетон (с размером зерен до 20 мм)	5
Щебёночно-мастичный асфальтобетон (до 10 мм) и песчаный асфальтобетон (до 5 мм)	3
Щебёночные (гравийные) материалы, обработанные органическим вяжущим	8
Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу пропитки	8
Щебёночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими: на песчаном основании на прочном основании (каменном или из укрепленного грунта)	15
	8
Каменные материалы и грунты, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10

Контрольные вопросы

1. В каком случае и для каких дорог целесообразно устраивать слой основания из горячего пористого крупнозернистого асфальтобетона?
2. Какое общее правило регламентирует количество слоёв в асфальтобетонном основании? В каком исключительном случае допускается двухслойное основание и какие материалы при этом используются?
3. Что такое «расклинка» щебня? Какие фракции щебня используются в качестве основного материала, а какие – в качестве расклинивающего?
4. Какова основная цель устройства дополнительного слоя основания между конструктивным слоем из каменных материалов и слоем из мелкозернистых грунтов? Какие материалы для этого применяются?

5. Каков минимальный требуемый коэффициент фильтрации для материалов, используемых в дополнительных слоях основания?

6. Какое универсальное правило определяет абсолютный минимум толщины любого конструктивного слоя?

7. Используя таблицу 3.2, определите, какая марка по прочности требуется для щебня из изверженных пород при устройстве основания на дороге IV категории. Сравните с требованиями для дорог I-III категорий.

8. По таблице 3.3 определите минимальную толщину слоя основания из щебня, обработанного органическим вяжущим по способу пропитки, и слоя из щебёночных материалов, не обработанных вяжущими, при укладке на прочное основание.

9. В соответствии с таблицей 3.1, какие марки асфальтобетона предусмотрены для устройства оснований из холодных смесей типов Бх и Вх?

10. Представьте, что вы используете щебень фракции 40-70 мм для устройства основания. Какую минимальную толщину слоя вы должны назначить, исходя из общего правила, указанного в документе?

11. Используя Приложение Б (ГОСТ 25607-2009), определите, для каких целей предназначены смеси С4 и С11. Каков наибольший размер зерна для этих смесей?

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежёстких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.

2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.

3. СП 34.13330-2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов.

Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

Приложение Б (ГОСТ 25607-2009)

Таблица Б.1 - Зерновой состав готовых смесей для устройства оснований и дополнительных слоев оснований

Номер смеси	Наибольший размер зерен Д, мм	Полный остаток, % по массе, на ситах с размерами отверстий, мм									
		120	80	40	20	10	5	2,5	0,63	0,16	0,05
Смеси для покрытий											
С1	40	0	0	0-10	20-40	35-60	45-70	55-80	70-90	75-92	80-93
С2	20	0	0	0	0-10	10-35	25-50	35-65	55-80	65-90	75-92
Смеси для оснований (непрерывная гранулометрия)											
С3	120	0-10	10-30	30-50	40-65	54-75	65-85	71-90	82-95	90-98	95-100
С4	80	0	0-10	15-35	28-55	40-70	50-80	60-85	80-95	91-97	95-100
С5	40	0	0	0-10	25-60	45-80	57-85	67-88	80-95	90-97	95-100
С6	20	0	0	0	0-10	25-60	50-77	58-85	80-95	90-97	95-100
С7	10	0	0	0	0-5	0-37	30-60	50-77	75-95	85-97	90-100
С8	5	0	0	0	0	0-5	0-40	20-55	55-87	75-98	80-100
Смеси для оснований (прерывистая гранулометрия)											
С9	80	0	0-10	15-35	28-55	40-70	50-80	50-80	60-88	85-97	95-100
С10	40	0	0	0-10	25-60	45-80	57-85	57-85	71-91	87-97	95-100
С11	20	0	0	0	0-10	25-60	50-77	50-77	70-88	85-97	95-100
Примечания											
1 Допускается использование смесей С1 и С2 для устройства оснований при соответствующем технико-экономическом обосновании; С3-С6, С9-С11 - для устройства дополнительных слоев оснований; С4-С5, С10-С11 - для укрепления обочин автомобильных дорог.											
2 Смеси С1 и С2, применяемые для покрытия, должны содержать не менее 50 % щебня от массы частиц размером более 5 мм, входящих в состав смесей.											

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

РАСЧЁТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ НА ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ

Виды нагрузок, учитываемых при проектировании дорожной одежды

Расчёт дорожной одежды на прочность осуществляют с учётом *нормативной осевой нагрузки*, *расчётной осевой нагрузки* для конкретного потока и *расчётной удельной нагрузки*.

Нормативная осевая нагрузка – это полная нагрузка от наиболее нагруженной оси условного двухосного автомобиля. Значение нормативной осевой нагрузки принимают в зависимости от капитальности дорожной одежды:

- при капитальном типе дорожной одежды она составляет 115 кН;
- при облегченном и переходном типах – 100 кН [3,7].

Расчётная осевая нагрузка – это максимальная нагрузка на наиболее нагруженную ось для двухосных автомобилей или на приведённую ось для многоосных автомобилей. Доля таких автомобилей в составе и интенсивности движения должна составлять не менее 5 %. Если максимальная осевая нагрузка меньше нормативной, то в качестве расчётной принимают нормативную осевую нагрузку. *Удельная нагрузка* – это нагрузка на дорожную одежду от колеса расчётного двухосного автомобиля. Она моделируется, как гибкий круговой штамп диаметром D , передающий равномерно распределённую нагрузку p на покрытие дорожной одежды. Площадь круга равновелика площади отпечатка колеса. Диаметр круга принимают равным 39 см для подвижной нагрузки (при расчётах дорожной одежды на перегоне) и 34 см для статической нагрузки (используемой при расчёте дорожных одежд на автомобильных стоянках). Величину p принимают равной давлению воздуха в шинах. Оно составляет 0,8 МПа для автомобильных дорог с капитальными дорожными одедами и 0,6 МПа для автомобильных дорог с облегченными и переходного типа дорожными одедами [7].

Определение расчётной осевой нагрузки

Расчётную осевую нагрузку находят в следующей последовательности [1].

9. Сначала определяют перспективную интенсивность движения на конец межремонтного периода $N_{\text{пер}}$. Обычно её находят по формуле

$$N_{\text{пер}} = N_{\text{исх}} \left(1 + \frac{P}{100}\right)^t, \quad (4.1)$$

где $N_{\text{исх}}$ – исходная интенсивность движения, авт./сут; p – ежегодный прирост интенсивности, %; t – перспективный период, годы.

2. Определяют по формуле (4.2) приведённую к расчётному двухосному автомобилю интенсивность движения с помощью специальных коэффициентов.

$$N_p = f_{\text{пол}} \sum_{m=1}^n N_m S_{m \text{ сум}}, \text{ груз.ед./сут}, \quad (4.2)$$

где $f_{\text{пол}}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним; n – общее число различных марок транспортных средств в составе транспортного потока; N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m -й марки (интенсивность движения транспортных средств m -й марки); $S_{m \text{ сум}}$ – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m -й марки, значения которого приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 (ОДН 218.046-01, табл. П.1.3) – Коэффициенты приведения

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

Расчёты интенсивности движения удобно вести в табличной форме, пример

которой приведен в табл. 4.2. В примере $N_{\text{пер}}=7052$ авт./сут и $n = 7$.

Таблица 4.2 – Пример расчёта интенсивности в табличной форме

m	Вид транспортного средства	% в потоке	N_m , авт./сут	S_m сум	$N_m \cdot S_m$ сум, груз.ед./сут
1	легковые	51	3597	0	0
2	грузовые с нагрузкой на ось: до 2 т	12	846	0,005	4,23
3	от 2 до 6 т	11	776	0,2	155,14
4	от 6 до 8 т	9	635	0,7	444,28
5	от 8 до 14 т	9	635	1,25	793,35
6	автопоезда	6	423	1,5	634,68
7	автобусы	2	141	0,7	98,73
Итого:		100	7052	-	2130,41

Таким образом,

$$\sum_{m=1}^7 N_m S_{m \text{ сум}} = 2130,41 \text{ груз.ед./сут.}$$

Коэффициент $f_{\text{пол}}$ назначают по табл. 4.3. Порядковый номер полосы считается справа по ходу движения в одном направлении. Для двухполосных дорог $f_{\text{пол}}=0,55$. В случае автомобильных дорог с многополосной проезжей частью дорожную одежду для всех полос движения рассчитывают на одинаковую наибольшую расчётную нагрузку. Для шестиполосных $f_{\text{пол}} = 0,3$. Тогда

$$N_p = f_{\text{пол}} \sum_{m=1}^n N_m S_{m \text{ сум}} = 0,3 \cdot 2130,41 = 639,1 \text{ груз.ед./сут.}$$

Таблица 4.3 (ОДН 218.046-01, табл. 3.2) – Коэффициент многополосности

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

3. Находят суммарное расчётное число приложений расчётной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы по формуле:

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{\text{сл}}-1)}} T_{\text{рдг}} k_n, \quad (4.3)$$

где q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам; $T_{\text{сл}}$ – расчётный срок службы; K_c – коэффициент суммирования; $T_{\text{рдг}}$ – расчётное число расчётных дней в году, соответствующих определённому состоянию деформируемости конструкции; k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого.

3.1 Показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам

$$q = \left(1 + \frac{p}{100}\right), \quad (4.4)$$

где p – ежегодный прирост интенсивности движения, %.

3.2 *Расчётный срок службы $T_{\text{сл}}$* задают по табл. 4.4.

3.3 *Коэффициент суммирования K_c* определяют по формуле:

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1}. \quad (4.5)$$

Значение K_c также можно принять по табл. 4.5.

3.4. *Расчётное число расчётных дней в году $T_{\text{рдг}}$* определяют по региональным нормам. При их отсутствии допускается использовать данные рис. 4.1 и табл.

4.6. Для Восточной и Западной Сибири можно принять $T_{\text{рдг}} = 130$ дней.

Расчётным днём 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.

Таблица 4.4 (ОДН 218.046-01, табл. П.6.2) – Расчётный срок службы

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

Таблица 4.5 (ОДН 218.046-01, табл. П.6.3) – Значение K_c

Показатель q	Значение K_c при сроке службы дорожной одежды $T_{\text{сл}}$ в годах			
	8	10	15	20
0,90	5,7	6,5	7,9	8,8
0,92	6,1	7,1	8,9	10,1
0,94	6,5	7,7	10,0	11,8
0,96	7,0	8,4	11,4	13,9
0,98	7,5	9,1	13,1	16,6

1,00	8,0	10,0	15,0	20,0
1,02	8,6	10,9	17,2	24,4
1,04	9,2	12,0	20,0	29,8
1,06	9,9	13,2	23,2	36,0
1,08	10,6	14,5	27,2	45,8
1,10	11,4	15,9	31,7	67,3

3.5 Коэффициент k_n , учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого находят по табл. 4.7.

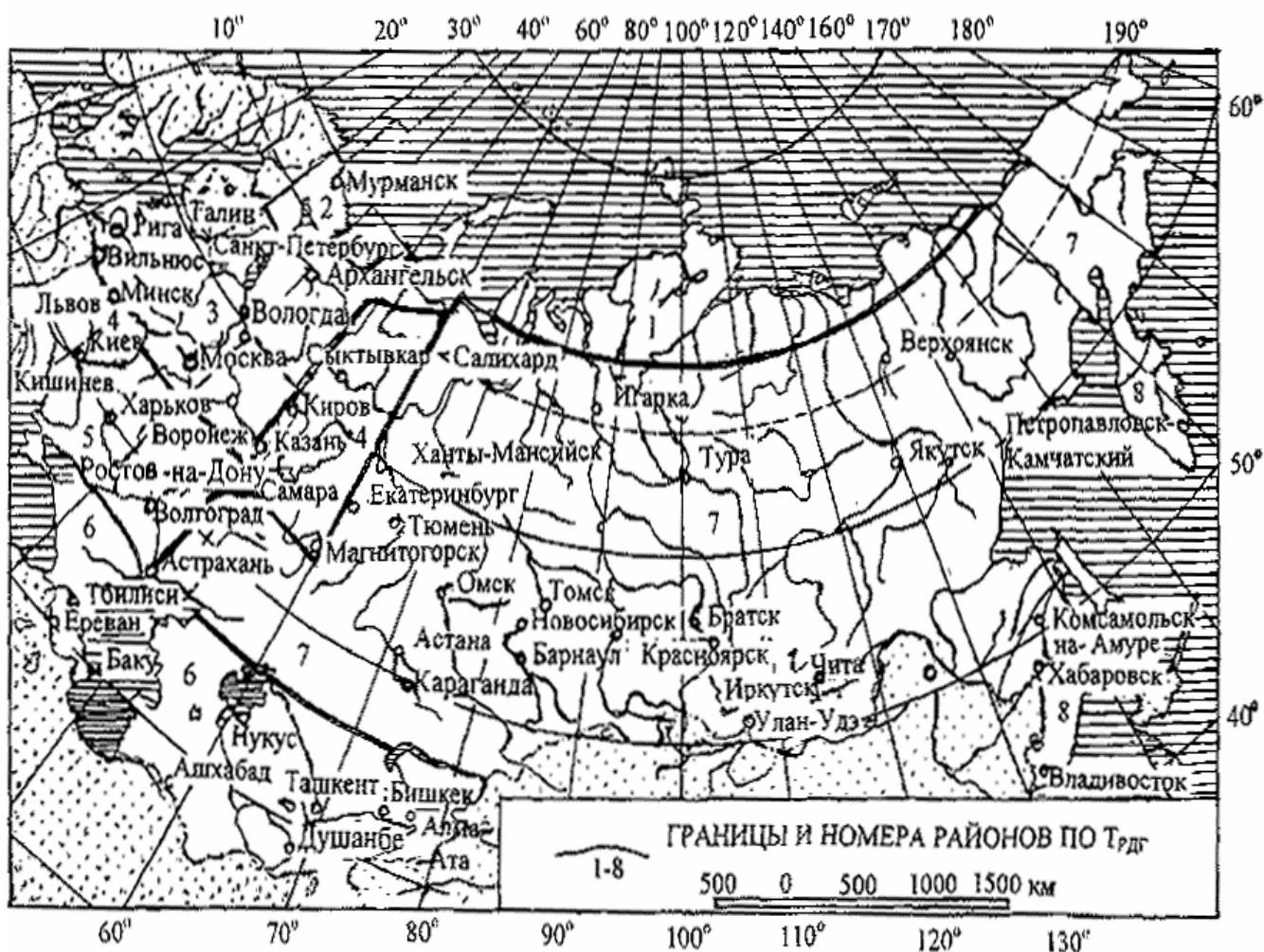


Рисунок 4.1 (ОДН 218.046-01, рис. П.6.1) – Карта районов

Таблица 4.6 (ОДН 218.046-01, табл. П.6.1) – Рекомендуемое количество расчётных дней в году

Номера районов на карте	Примерные географические границы районов	Рекомендуемое количество расчётных дней в году (T_{pdg})
1	Зона распространения вечномёрзлых грунтов севернее семидесятой параллели	70

2	Севернее линии, соединяющей Онегу - Архангельск - Мезень - Нарьян-Мар - шестидесятый меридиан - до побережья Европейской части	145
3	Севернее линии, соединяющей Минск - Смоленск - Калугу - Рязань - Саранск - сорок восьмой меридиан - до линии, соединяющей Онегу - Архангельск - Мезень - Нарьян-Мар	125
4	Севернее линии, соединяющей Львов - Киев - Белгород - Воронеж - Саратов - Самару - Оренбург - шестидесятый меридиан до линии районов 2 и 3	135
5	Севернее линии, соединяющей Ростов-на-Дону - Элисту - Астрахань до линии Львов - Киев - Белгород - Воронеж - Саратов - Самара	145
6	Южнее линии Ростов-на-Дону - Элиста - Астрахань для Европейской части, южнее сорок шестой параллели для остальных территорий	205
7	Восточная и Западная Сибирь, Дальний Восток (кроме Хабаровского и Приморского краев, Камчатской области), ограниченные с севера семидесятой параллелью, с юга сорок шестой параллелью	130-150 (меньшие значения для центральной части)
8	Хабаровский и Приморский края. Камчатская область	140

Таблица 4.7 (ОДН 218.046-01, табл. 3.3) – Значения коэффициентов k_n

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

Пример расчёта подвижной нагрузки

Требуется вычислить суммарное расчётное количество приложений расчётной нагрузки за срок службы по формуле (4.3) при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края;
- категория автомобильной дороги – I;
- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{сл} = 20$ лет;
- заданная надёжность $K_n = 0,95$;
- приведённая к нагрузке 115 кН интенсивность движения на конец срока службы $N_p = 639$ груз.ед./сут;

- приращение интенсивности $q = 1,04$;

В соответствии с данными табл. 4.5 $K_c = 29,8$. Расчётная продолжительность $T_{рдг} = 130$ дней (табл. 4.6). Коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, $K_n = 1,49$ (табл. 4.7). Тогда

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сн}-1)}} T_{рдг} k_n = 0,7 \cdot 639 \cdot \frac{29,8}{1,04^{(20-1)}} \cdot 130 \cdot 1,49 = 1225700 \text{ груз.ед.}$$

Задание для самостоятельной работы

В соответствии с назначенным вариантом требуется вычислить суммарное расчётное количество приложений расчётной нагрузки за срок службы по формуле (4.3).

Вариант	Категория дороги	Дорожно-климат. зона (и район по рис. 4.1)	Тип дорожной одежды	Тсл, лет	Нр, груз.ед./сут	q
1	I	II (район 7)	Капитальный	18	850	1.04
2	I	III (район 4)	Капитальный	20	1200	1.06
3	II	II (район 7)	Капитальный	15	450	1.02
4	II	IV (район 6)	Капитальный	16	600	1.08
5	III	II (район 7)	Капитальный	12	300	1.00
6	III	III (район 4)	Облегченный	14	250	1.02
7	III	V (район 8)	Облегченный	15	180	1.04
8	IV	I (район 3)	Капитальный	13	150	0.98
9	IV	II (район 7)	Облегченный	10	100	1.00
10	IV	IV (район 6)	Облегченный	12	120	1.06
11	V	III (район 4)	Облегченный	10	50	1.00
12	V	V (район 8)	Переходный	8	30	0.96
13	I	I (район 2)	Капитальный	16	950	1.05
14	I	IV (район 5)	Капитальный	19	1100	1.07

Вариант	Категория дороги	Дорожно-климат. зона (и район по рис. 4.1)	Тип дорожной одежды	Тсл, лет	Нр, груз.ед./сут	q
15	II	I (район 3)	Капитальный	14	500	1.01
16	II	III (район 4)	Капитальный	15	550	1.03
17	II	V (район 8)	Капитальный	16	480	1.04
18	III	I (район 3)	Облегченный	11	200	0.99
19	III	IV (район 5)	Облегченный	13	220	1.05
20	IV	III (район 4)	Капитальный	12	130	1.00
21	IV	V (район 8)	Облегченный	11	90	1.02
22	V	I (район 2)	Облегченный	9	40	0.98
23	V	II (район 7)	Переходный	5	20	0.94
24	I	V (район 8)	Капитальный	17	1000	1.08
25	II	II (район 7)	Облегченный	13	350	1.02
26	III	II (район 7)	Облегченный	14	270	1.03
27	IV	IV (район 6)	Капитальный	14	140	1.04
28	IV	I (район 3)	Облегченный	9	80	0.97
29	V	IV (район 6)	Переходный	7	25	0.95
30	V	II (район 7)	Облегченный	10	60	1.01

Контрольные вопросы

1. Дайте определения следующим видам нагрузок: нормативная осевая нагрузка, расчётная осевая нагрузка, удельная нагрузка.
2. Чем отличается нормативная осевая нагрузка от расчётной? В каком случае их значения совпадают?
3. Как моделируется удельная нагрузка от колеса на покрытие? Каковы

типовые значения диаметра отпечатка колеса (D) и давления в шинах (p) для дорог с капитальными одеждами?

4. Что такое «приведённая к расчётному двухосному автомобилю интенсивность движения» (N_p) и для чего она определяется?

5. Что понимается под «расчётным днём» ($T_{рлг}$) при оценке деформации дорожной одежды? От чего зависит его продолжительность в разных регионах?

6. Какие транспортные средства вносят основной вклад в расчётную нагрузку на дорожную одежду? Объясните, глядя на значения коэффициентов приведения (S_m сум).

7. Как коэффициент многополосности ($f_{пол}$) влияет на расчётную интенсивность движения (N_p) для конкретной полосы? Приведите пример для четырёхполосной дороги.

8. Используя таблицу 4.4, определите расчётный срок службы ($T_{сл}$) для облегчённой дорожной одежды на дороге IV категории в III дорожно-климатической зоне.

9. Как ежегодный прирост интенсивности движения (p) влияет на показатель (q) и, в конечном счёте, на коэффициент суммирования (K_c)? Проиллюстрируйте на примере, используя таблицу 4.5.

10. По таблице 4.7 определите коэффициент надёжности (k_n) для расчёта капитальной дорожной одежды на дороге II категории.

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.

2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.

3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные,

асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

КРИТЕРИИ НАДЁЖНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Понятие надёжности дорожной одежды, критериев отказа и надёжности

Дорожная одежда, как любой технический объект, должна обладать надёжностью и долговечностью. В соответствии с ГОСТ Р 27.002-2009 «Надёжность в технике. Термины и определения» под *надёжностью* технического объекта понимают его способность выполнять требуемую функцию в заданных режимах и условиях применения. *Отказом* технического объекта считается потеря способности технического объекта выполнить требуемую функцию. *Долговечность* – это способность технического объекта выполнять требуемую функцию до достижения предельного состояния при данных условиях его использования (климатических, технических или экономических) и технического обслуживания [8].

Функция дорожной одежды заключается в восприятии нагрузки от автомобильного транспорта и перераспределении её на грунт земляного полотна. Надёжность дорожной одежды обеспечивается её прочностью. Под *прочностью дорожной одежды* понимают способность сопротивляться процессу развития остаточных деформаций и разрушений под воздействием напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте от расчётной нагрузки. Нарушение прочности является *отказом дорожной одежды*.

Критерий отказа по прочности может быть записан в виде неравенства [1]:

$$K_{\text{пр}} < K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \quad (5.1)$$

где $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прочности, $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ – требуемый коэффициент прочности, а *критерий надёжности* – в виде неравенства:

$$K_{\text{пр}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}} \quad (5.2)$$

Коэффициент прочности представляет собой отношение напряжений (нормальных или касательных) от расчётной нагрузки:

$$K_{\text{пр}} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{расч}}}, \quad (5.3)$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимые напряжения от расчётной нагрузки, которые не приводят к отказу; $\sigma_{\text{расч}}$ – расчётные напряжения от расчётной нагрузки, т.е. фактические напряжения, которые могут возникнуть в проектируемой конструкции под действием расчётной нагрузки.

Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ зависит от типа дорожной одежды, категории дороги, величины заданной надёжности и вида отказа конструкции дорожной одежды.

Мерой надёжности дорожной одежды является *вероятность безотказной работы в течение межремонтного периода*. Её значение нормируется *коэффициентом надёжности* $K_{\text{н}}$. Математическая запись

$$P(K_{\text{пр}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}}) = K_{\text{н}}, \quad (5.4)$$

означает, что вероятность выполнения условия надёжности (5.2) равна $K_{\text{н}}$. Используемые в проектировании дорожных одежд значения коэффициента надёжности приведены в табл. 5.1.

В качестве *количественного показателя отказа дорожной одежды*, как элемента инженерного сооружения линейного характера, используют *предельный коэффициент разрушения* $K_{\text{пр}}^{\text{пр}}$. Он представляет собой отношение суммарной протяжённости (или суммарной площади) участков дороги, требующих ремонта из-за недостаточной прочности дорожной одежды, к общей протяжённости (или общей площади) дороги между корреспондирующими пунктами. Предельный коэффициент разрушения назначается в зависимости от типа покрытия и категории дороги. Его значения приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 (ОДН 218.046-01, табл. 3.1) – Коэффициенты надёжности и прочности

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

Продолжение табл. 5.1 (ОДН 218.046-01, табл. 3.1)

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

Виды отказов и критерии прочности дорожной одежды

По предельному коэффициенту разрушения назначают *коэффициент прочности*, для которого сформулированы критерии прочности конструкции. Можно ввести понятия первичного и вторичного отказа конструкции. Под *первичным отказом* – потеря прочности дорожной одежды, как единой конструкции, *под вторичным отказом* – нарушение прочности в отдельных слоях дорожной одежды. Наиболее распространённые виды вторичного отказа дорожной одежды, связанные с недостаточной ее прочностью: образование продольной и поперечной неровности поверхности дорожной одежды (поперечные неровности, колея, усталостные

трещины), с последующим развитием других видов деформаций и разрушений (частые трещины, сетка трещин, выбоины, просадки, проломы и т.д.).

Исходя из такого разделения отказов на два вида, методика оценки прочности конструкции включает в себя:

- оценку прочности конструкции в целом;
- оценку прочности с учётом напряжений, возникающих в отдельных конструктивных слоях.

Расчёт прочности конструкции в целом, без рассмотрения механизма нарушения прочности, ведут *по допустимому упругому прогибу* (или требуемому общему модулю упругости). Конструкция проверяется на прочность по критерию:

$$\frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{тр}}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \quad (5.5)$$

где $E_{\text{общ}}$ – общий расчётный модуль упругости конструкции, МПа; $E_{\text{тр}}$ – требуемый модуль упругости, определяемый по специальной эмпирической зависимости допускаемого упругого прогиба от числа приложений нагрузки, МПа; $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ требуемый коэффициент прочности. Такую прочность должна иметь дорожная одежда к концу межремонтного периода.

При оценке прочности с учётом напряжений, возникающих в отдельных конструктивных слоях, напряжения в слоях дорожной одежды и в подстилающем грунте от воздействия транспортной нагрузки вычисляют по формулам теории упругости для слоистой среды, нагруженной равномерно распределённой нагрузкой через гибкий круглый штамп, с учётом условий на контакте слоёв.

В случае расчёта *на сдвиг грунта земляного полотна и малосвязных конструктивных слоёв дорожной одежды* критерий устойчивости:

$$\frac{T_{\text{доп}}}{T} > K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \quad (5.6)$$

где $T_{\text{доп}}$ – допустимое напряжение сдвига грунта, $T_{\text{мах}}$ – максимальное сдвигающее напряжение от расчётной нагрузки.

Монолитные слои конструкции (асфальтобетон, материалы, обработанные

вяжущим) рассчитывают на прочность при изгибе по критерию

$$\frac{R_{\text{н}}}{\sigma_r} > K_{\text{сп}}^{\text{тр}}, \quad (5.7)$$

где $R_{\text{н}}$ – предельно допустимое растягивающее напряжение для материала монолитного слоя, σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в монолитном слое.

Помимо *основных* критериев, обеспечивающих требуемый уровень надёжности и долговечности конструкции, дорожные одежды рассчитывают и по *дополнительным* критериям: морозоустойчивости и осушению.

Задача расчёта дорожной одежды

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

Контрольные вопросы

1. Какие основные прочностные характеристики материалов слоёв дорожной одежды и грунта необходимы для её расчёта? (Укажите не менее трёх).
2. Что такое расчётная влажность грунта и от каких основных факторов она зависит?
3. Объясните, в чём разница между назначением модуля упругости грунта по таблице 6.2 для случая, когда $Z_1 < 0.75$ м и когда $Z_1 \geq 0.75$ м.
4. Что понимается под «расчётным днём» при оценке деформации дорожной одежды и как это связано с определением расчётной влажности?
5. Как изменяются сдвиговые характеристики грунта (угол внутреннего трения φ и сцепление c) с ростом числа приложений нагрузки (ΣN_p) и увеличением влажности? Какова общая тенденция?
6. Используя таблицу 6.2, определите модуль упругости (E_{gr}) для суглинка лёгкого пылеватого при относительной влажности $W/W_T = 0.75$.
7. По карте дорожно-климатических зон (Рис. 6.1) и таблице 6.3 определите среднее многолетнее значение влажности ($W_{\text{таб}}$) для супеси пылеватой для II

дорожно-климатической зоны, подзоны П2, при 3-й схеме увлажнения.

8. Используя таблицу 6.7, определите нормативные значения угла внутреннего трения (φ) и сцепления (c) для супеси при расчётной относительной влажности 0.8 и суммарном числе приложений нагрузки $\Sigma N_p = 10^5$.

9. По таблице 6.13 определите модуль упругости плотного асфальтобетона на битуме БН 90/130 для расчёта:

а) на упругий прогиб ($t = +10^\circ\text{C}$);

б) по условию сдвигоустойчивости в III дорожно-климатической зоне ($t = +30^\circ\text{C}$).

10. Используя таблицу 6.14, определите расчётные значения модуля упругости (E), сопротивления растяжению при изгибе (R) и коэффициентов (α , m) для плотного асфальтобетона на битуме БНД 90/130 для II дорожно-климатической зоны.

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.

2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.

3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ СЛОЁВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Исходные данные к расчёту дорожных одежд

Для расчёта дорожной одежды по критериям прочности необходимо назначить модули упругости конструктивных слоёв и грунта подстилающего слоя. Пример таблицы с исходными данными для слоёв дорожной одежды капитального типа приведён в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Пример исходных данных для слоёв дорожных одежд капитального типа

№	Материал слоя	h , см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E , МПа	По усл. сдвига-уст., E , МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
						E , МПа	R_0 , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8W_t$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

Модули упругости подстилающего грунта

Пески и супесь лёгкая крупная. Нормативные значения модулей упругости песчаных грунтов (пески крупные, средней крупности, мелкие и однородные) и супеси легкой крупной принимают по табл. 6.2 вне зависимости от относительной влажности грунта.

Таблица 6.2 (ОДН 218.046-01, табл. П.2.5) – Модули упругости песков, супесей и суглинков

Грунт		$E_{гр}$, при относительной влажности W/W_T , МПа									
		0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
Пески	крупные	130									
	средней крупности	120									
	мелкие	100									
	однородные	75									
	пылеватые	96	90	84	78	72	60	60	54	48	43
Супеси	лёгкая	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
	пылеватая, тяжёлая	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	пылеватая										
Суглинки	лёгкая крупная	65									
	лёгкий, тяжёлый	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
	лёгкий пылеватый, тяжёлый пылеватый	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25

Супеси и суглинки. Модуль упругости этих грунтов зависит от относительной влажности (т.е. влажности, отнесённой к значению влажности грунта на границе его текучести). Расчётная влажность зависит от дорожно-климатической зоны и подзоны, схемы увлажнения земляного полотна и типа грунта. Дорожно-климатическую зону и подзону района проектирования определяют по карте 6.1.

Если суммарная толщина дорожных одежд $Z_1 < 0,75$ м, то расчётную влажность назначают по табл. 6.3. В ней приведены средние многолетние значения относительной влажности грунта, наблюдавшиеся в наиболее неблагоприятный (весенний) период года в рабочем слое земляного полотна, отвечающего нормам

проектирования по возвышению над источниками увлажнения, на дорогах с усовершенствованными покрытиями и традиционными основаниями дорожных одежд (щебень, гравий и т.п.).

При суммарной толщине слоёв дорожной одежды $Z_1 \geq 0,75$ м расчётную влажность определяют по формуле:

$$W_p = (\overline{W}_{\text{таб}} + \Delta_1 - \Delta_2)(1 + 0,1t) - \Delta_3, \quad (6.1)$$

где $\overline{W}_{\text{таб}}$ – среднее многолетнее значение относительной влажности, определяемое по табл. 6.3; Δ_1 – поправка на особенности рельефа территории; Δ_2 – поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин; Δ_3 – поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоёв дорожной одежды; t – коэффициент нормированного отклонения.

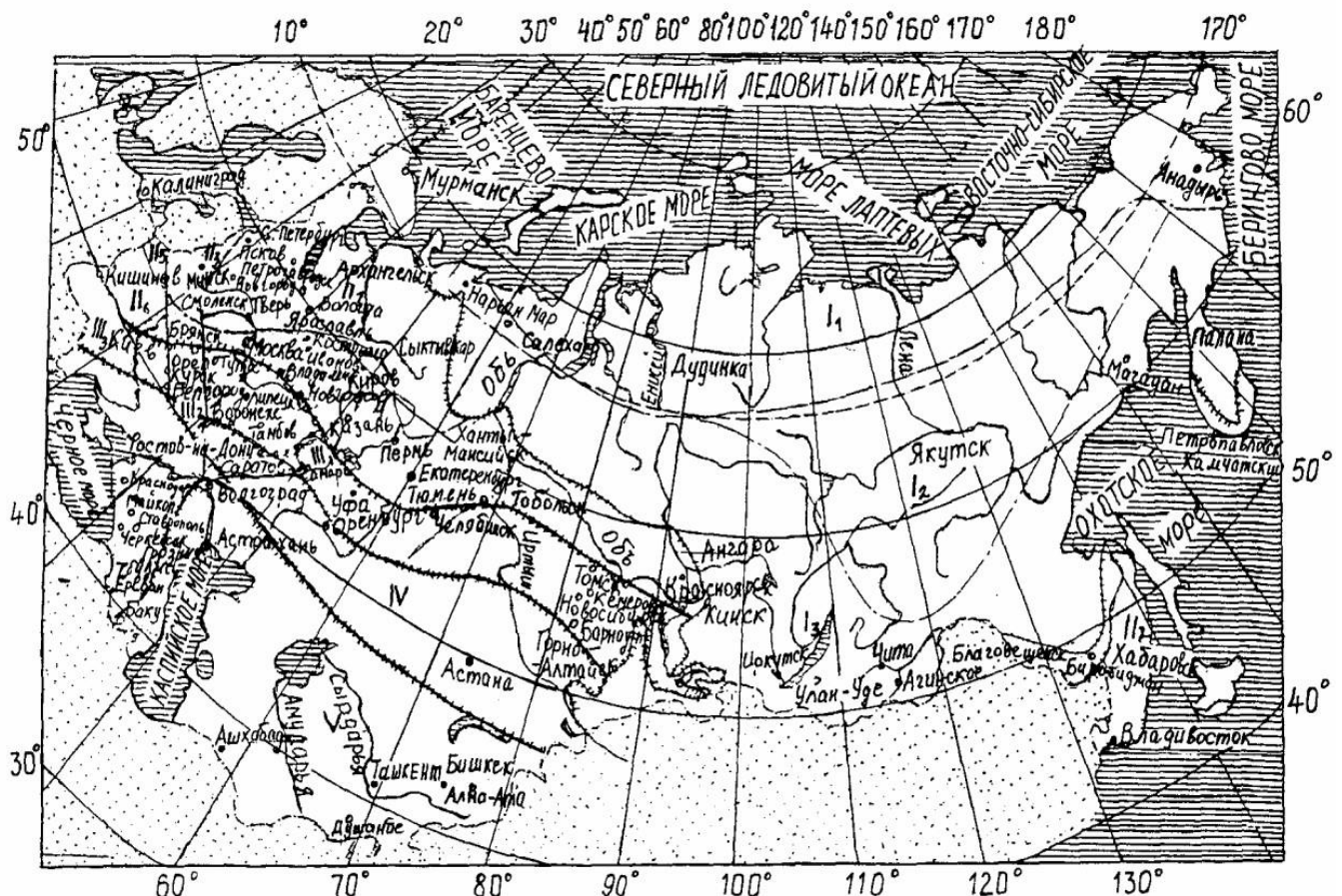


Рисунок 6.1 (ОДН 218.046-01, рис. П.2.2) – Карта дорожно-климатических зон и подзон:

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

Таблица 6.3 (ОДН 218.046-01, табл. П.2.1) – Значения влажности грунта подстилающего слоя

Дорожно-климатические зоны	Дорожно-климатические подзоны	Схема увлажнения рабочего слоя зем. полотна	Среднее значение влажности $\overline{W}_{\text{таб}}$ грунта, доли от W_T			
			супесь лёгкая	песок пылеватый	суглинок лёгкий	супесь пылеватая и суглинок пылеватый
I	I ₁	1	0,53	0,57	0,62	0,65
		2	0,55	0,59	0,65	0,67
		3	0,57	0,62	0,67	0,70
	I ₂	1	0,57	0,57	0,62	0,65
		2	0,59	0,62	0,67	0,70
		3	0,62	0,65	0,70	0,75
	I ₃	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,62	0,65	0,70	0,75
		3	0,65	0,70	0,75	0,80
II	II ₁	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,63	0,65	0,68	0,73
		3	0,65	0,67	0,70	0,75
	II ₂	1	0,57	0,59	0,62	0,67
		2	0,60	0,62	0,65	0,70
		3	0,62	0,64	0,67	0,72
	II ₃	1	0,63	0,65	0,68	0,73
		2	0,66	0,68	0,71	0,76
		3	0,68	0,70	0,73	0,78
	II ₄	1	0,60	0,62	0,65	0,70
		2	0,63	0,65	0,68	0,73
		3	0,65	0,67	0,70	0,75
	II ₅	1	0,65	0,67	0,70	0,75
		2	0,68	0,70	0,73	0,78
		3	0,70	0,72	0,75	0,80
	II ₆	1	0,62	0,64	0,67	0,72
		2	0,65	0,67	0,70	0,75
		3	0,67	0,69	0,72	0,77
III	III ₁	1	0,55	0,57	0,60	0,63
		2-3	0,59	0,61	0,63	0,67
	III ₂	1	0,58	0,60	0,63	0,66
		2-3	0,62	0,64	0,66	0,70
	III ₃	1	0,55	0,57	0,60	0,63
		2-3	0,59	0,61	0,63	0,67
IV	1		0,53	0,55	0,57	0,60
	2-3		0,57	0,58	0,60	0,64
V	1		0,52	0,53	0,54	0,57
	2-3		0,55	0,56	0,57	0,60

Поправку на особенности рельефа территории Δ_1 находят по табл. 6.4.

Таблица 6.4 (ОДН 218.046-01, табл. П.2.2) – Значения поправки Δ_1

№ п/п	Тип местности по рельефу	Поправка Δ_1
1	Равнинные районы	0,00
2	Предгорные районы (до 1000 м выше уровня моря)	0,03
3	Горные районы (более 1000 м выше уровня моря)	0,05

Поправку на конструктивные особенности проезжей части и обочин Δ_2 устанавливают по табл. 6.5.

Таблица 6.5 (ОДН 218.046-01, табл. П.2.3) – Значения поправки Δ_2

№ п/п	Конструктивная особенность	Поправка Δ_2 в дорожно-климатических зонах			
		II	III	IV	V
1	Наличие основания дорожной одежды, включая слои на границе раздела с земляным полотном, из укрепленных материалов и грунтов: - крупнообломочного грунта и песка - супеси - пылеватых песков и супесей, суглинка, зологрунта				
		0,04	0,04	0,03	0,03
		0,05	0,05	0,05	0,04
		0,08	0,08	0,06	0,05
2	Укрепление обочин (не менее 2/3 их ширины): - асфальтобетоном - щебнем (гравием)	0,05	0,04	0,03	0,02
		0,02	0,02	0,02	0,02
3	Дренаж с продольными трубчатыми дренами	0,05	0,03	-	-
4	Устройство гидроизолирующих прослоек из полимерных материалов	0,05	0,05	0,03	0,03
5	Устройство теплоизолирующего слоя, предотвращающего промерзание	Снижение расчётной влажности до величины полной влагоемкости при требуемом $K_{упл}$ грунта			
	Грунт в активной зоне земляного полотна в «обойме»	Снижение расчётной влажности до оптимальной			
	Грунт, уплотненный до $K_{упл} = 1,03-1,05$ в слое 0,3-0,5 м от низа дорожной одежды, расположенном ниже границы промерзания	-	0,03-0,05	0,03-0,05	0,03-0,05

Примечание. Поправки Δ_2 при мероприятиях по п.п. 1 и 2 следует принимать только при 1-й схеме увлажнения рабочего слоя, а по п. 5 – при 2-й и 3-й схемах.

Поправку на влияние суммарной толщины стабильных слоёв дорожной одежды Δ_3 устанавливают по графику, приведённому на рис. 6.2.

Коэффициент нормированного отклонения t , принимают в зависимости от требуемого уровня надежности по табл. 6.6.

Таблица 6.6 (ОДН 218.046-01, табл. П.4.2) – Значения нормированного отклонения

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

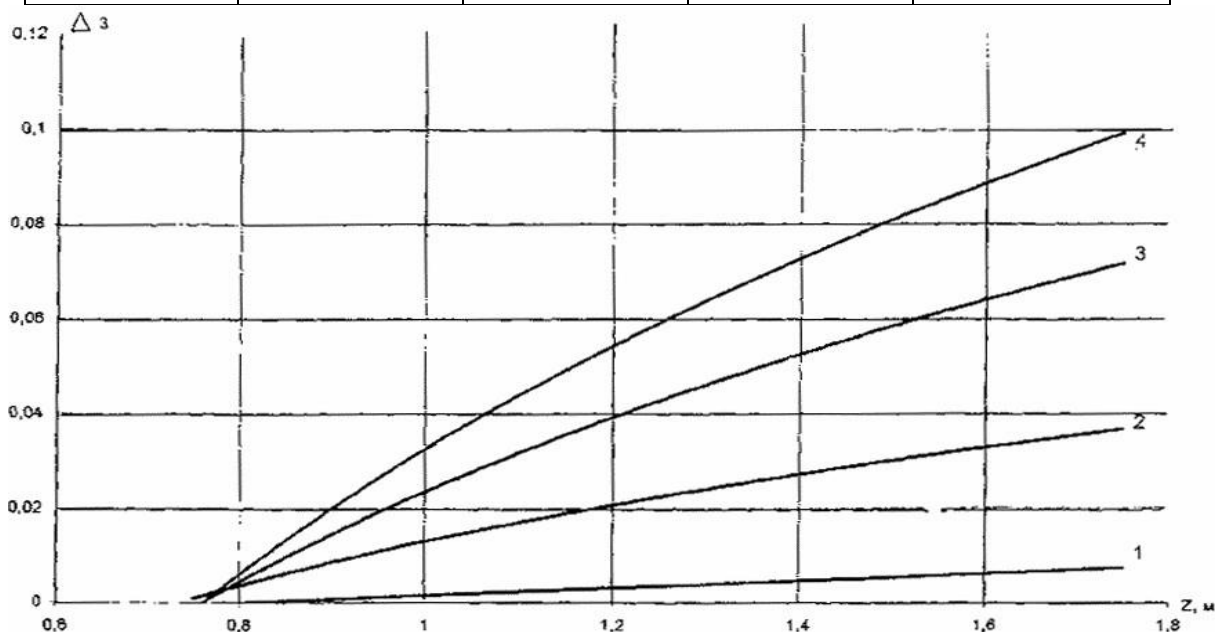


Рисунок 6.2 (ОДН 218.046-01, рис. П.2.1) – Графики для определения поправки на влияние суммарной толщины стабильных слоев одежды: 1 – для исходной* относительной влажности $0,75W_m$; 2 – то же, для $0,80W_m$; 3 – то же, для $0,85W_m$; 4 – то же, для $0,90W_m$. *Исходная влажность определяется первым слагаемым в выражении (6.1).

Нормативные значения сдвиговых характеристик подстилающего грунта

Нормативные значения сдвиговых характеристик глинистых грунтов в зависимости от расчётного числа приложений расчётной нагрузки и относительной влажности приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7 (ОДН 218.046-01, табл. П.2.4) – Нормативные значения сдвиговых характеристик глинистых грунтов

Расчётная относительная влажность	Сцепление, МПа при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)					Угол внутреннего трения, °, при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)				
	1	10^3	10^4	10^5	10^6	1	10^3	10^4	10^5	10^6
Суглинки и глины										
0,60	0,030	0,030	0,016	0,014	0,012	24	20	14,5	11	9

0,65	0,024	0,019	0,013	0,011	0,009	21	15	11	8	7
0,70	0,019	0,013	0,009	0,007	0,006	18	11,5	8,5	6,5	5,5
0,75	0,015	0,009	0,006	0,005	0,004	15	10	7,5	5	4
0,80	0,011	0,007	0,005	0,003	0,002	13	8	5	3	2,5
0,90	0,008	0,004	0,004	0,002	0,001	11,5	6,5	3,5	2,2	2
Супеси										
0,6	0,014	0,012	0,008	0,006	0,005	36	24	18	14	12
0,65	0,013	0,010	0,008	0,006	0,004	36	23,5	17	14	12
Расчётная относитель- ная вл-ть	Сцепление, МПа при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)					Угол внутреннего трения, °, при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)				
	1	10^3	10^4	10^5	10^6	1	10^3	10^4	10^5	10^6
0,70	0,012	0,009	0,006	0,005	0,004	35	23,5	17	14	12
0,75	0,011	0,008	0,005	0,004	0,003	35	23	17	14	12
0,80	0,010	0,007	0,005	0,004	0,003	34	23	17	14	12
0,85	0,009	0,007	0,004	0,003	0,003	34	22	15	12	10
0,90	0,008	0,004	0,003	0,003	0,003	33	21	12,5	10	8

Примечание. При $\Sigma N_p > 10$ расчётные значения ϕ и c следует принимать по столбцу « 10^6 ».

Расчётные значения ϕ и c песчаных грунтов и песков конструктивных слоёв в зависимости от расчётного числа приложения расчётной нагрузки (ΣN_p) принимают по табл. 6.8.

Таблица 6.8 (ОДН 218.046-01, табл. П.2.6) – Сдвиговые характеристики для песчаных грунтов, используемых в конструктивных слоях дорожной одежды

№ п/п	Тип грунта		Сцепление, МПа и угол внутреннего трения, град при суммарном числе приложений нагрузки (ΣN_p)				
			1	10^3	10^4	10^5	10^6
1	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции:	0 %	<u>35</u> 0,004	<u>33</u> 0,003	<u>32</u> 0,003	<u>31</u> 0,003	<u>29</u> 0,003
		5 %	<u>34</u> 0,005	<u>31</u> 0,004	<u>36</u> 0,004	<u>29</u> 0,003	<u>28</u> 0,003
2	Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции:	0 %	<u>32</u> 0,004	<u>30</u> 0,004	<u>30</u> 0,003	<u>28</u> 0,003	<u>22</u> 0,002
		5 %	<u>33</u> 0,005	<u>30</u> 0,004	<u>29</u> 0,003	<u>28</u> 0,003	<u>26</u> 0,002
3	Песок мелкий с содержанием пылевато-глинистой фракции:	0 %	<u>11</u> 0,003	<u>28</u> 0,003	<u>22</u> 0,002	<u>26</u> 0,002	<u>25</u> 0,002
		5 %	<u>31</u> 0,005	<u>22</u> 0,004	<u>26</u> 0,004	<u>21</u> 0,004	<u>24</u> 0,003

		8 %	$\frac{11}{0,006}$	$\frac{22}{0,005}$	$\frac{26}{0,004}$	$\frac{25}{0,003}$	$\frac{23}{0,002}$
--	--	-----	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

- Примечания:** 1. Значения характеристик даны для условий полного заполнения пор водой.
2. В числителе – угол внутреннего трения в градусах, в знаменателе – сцепление в МПа.
3. При $\Sigma N_p > 4 \cdot 10^6$ расчётные значения φ и c следует принимать по столбцу « 10^6 ».

Модули упругости для слоёв из щебня

Модули упругости для слоёв основания из щебня приведены в табл. 6.9.

Таблица 6.9 (СП 34.13330.2012, табл. 8.13) – Модули упругости щебня

Материал	Марка по прочности на сжатие не менее, МПа, для дорог	
	I-III категорий	IV–V категорий
Щебень из изверженных и метаморфических пород	800	800
Щебень из осадочных пород	600	400
Щебень из шлаков черной и цветной металлургии, фосфорных	600	400
Щебень из гравия	600	400

Конструктивные слои из чёрного щебня

Модули упругости для слоёв основания из щебня приведены в табл. 6.10.

Таблица 6.10 (ОДН 218.046-01, табл. П.3.5) – Модули упругости для чёрного щебня

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

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

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

Модули упругости для конструктивных слоёв из смесей щебеночно-гравийно-песчаных и грунтов, обработанных неорганическими вяжущими материалами приведены в табл. 6.11.

Таблица 6.11 (ОДН 218.046-01, табл. П.3.6) – Модули упругости для слоёв из смесей щебеночно-гравийно-песчаных и грунтов, обработанных неорганическими

вяжущими материалами

№ п.п.	Материал	Нормативные значения модуля упругости, Е, МПа
1	Щебеночно-гравийно-песчаные смеси, крупнообломочные грунты (оптимальные/неоптимальные), обработанные цементом: - соответствующие марке: 20 40 60	 500/400 600/550 800/700

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

Примечание. В числителе – для слоя из легкоуплотняемой смеси, в знаменателе – из трудноуплотняемой смеси.

Модули упругости асфальтобетонных слоев

При проверке прочности дорожных одежд на упругий прогиб значения модулей упругости принимают при температуре $t = +10^{\circ}\text{C}$. При проверке на сдвигоустойчивость их задают соответствующими максимально возможным температурам в ранний весенний период. Эти температуры назначают по табл. 6.12 в

зависимости от дорожно-климатической зоны.

Таблица 6.12 (ОДН 218.046-01, табл. 3.5) – Расчётные значения температуры

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

Нормативные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов различных составов для расчётов конструкции по допускаемому упругому прогибу и по сдвигоустойчивости приведены в табл. 6.13. При этом необходимо выполнить требования примечания 1.

Таблица 6.13 (ОДН 218.046-01, табл. П.3.2) – Нормативные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов различных составов (при расчете конструкции по допускаемому упругому прогибу и по условию сдвигоустойчивости)

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

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

2. При расчёте на упругий прогиб принимать при $t^{\circ} = +10^{\circ}$.

Характеристики асфальтобетонов при расчёте на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками приведены в табл. 6.14.

Таблица 6.14 (ОДН 218.046-01, табл. П.3.1) – Характеристики асфальтобетонов при расчёте на растяжение при изгибе под кратковременными нагрузками

Асфальтобетон	Расчётные значения модуля упругости E , МПа	m	α	Нормативные значения сопротивления растяжению при изгибе R_0 , МПа
Высокоплотный на БНД марки:				
40/60	8600	6,0	5,0/5,6*	10,00
60/90	6000	5,5	5,2/5,9	9,80
90/130	4600	5,0	5,4/6,3	9,50
130/200	3500	4,5	5,8/6,8	9,30
200/300	2500	4,3	5,9/7,1	9,00
Плотный на БНД марки:				
40/60	6000	6,0	5,0/5,6	10,00
60/90	4500	5,5	5,2/5,9	9,80
90/130	3600	5,0	5,4/6,3	9,50
130/200	2600	4,5	5,8/6,8	9,30
200/300	2000	4,3	5,9/7,1	9,00
Пористый на БНД марки:				
40/60	3600	4,5	5,8/6,8	8,30
60/90	2800	4,3	5,9/7,1	8,00
90/130	2200	4,0	6,3/7,6	7,80
130/200	1800	3,75	6,6/8,2	7,60
200/300	1400	3,7	6,7/8,2	7,10
Высокопористый на БНД марки:				
40/60	3000	4,3	5,9/7,1	5,50/6,50**
60/90	2100	4,0	6,3/7,6	5,65/6,20
90/130	1700	3,8	6,5/7,9	5,50/-
Холодные асфальтобетоны:				
Бх	2600	3,0	8,0/10,3	4,90
Вх	2200	2,5	9,8/13,4	4,60
Гх	1800	2,0	13,2/19,5	4,20
Дх	1500	2,0	13,2/19,5	3,90

Примечание.

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

**для песчаного асфальтобетона.

Теплофизические характеристики материалов конструктивных слоёв

Теплофизические характеристики материалов конструктивных слоёв, необходимые для расчёта дорожных одежд на сдвиг в слабосвязных слоях, приведены в табл. 6.15. Более полный список приведён в ОДН 218.046, табл. П.5.1.

Таблица 6.15 – Теплофизические характеристики дорожно-строительных материалов

№ п/п	Материал, грунт	Плотность ρ , кг/м ³	Удельный вес, γ , кг/см ³
1	Асфальтобетон горячий плотный	2400	0,0024
2	То же, пористый	2300	0,0023
3	То же, высокопористый, в том числе битумопесчаная смесь (ТУ 218 РСФСР)	2200-1900	0,0022-0,0019
4	Гравий (щебень) с лёгкими заполнителями, обработанные вязким битумом	2000	0,002
5	Супесь, укрепленная 10 %-ной эмульсией	1700-1900	0,0017-0,0019
7	Песок разномерный, укрепленный 10 % 6-10 % цемента	2100	0,0021
8	Песок мелкий, одномерный, укрепленный 10 % цемента	2100	0,0021
9	Суглинок, укрепленный 6-12 % цемента	1750-1900	0,00175-0,0019
10	Супесь, укрепленная 8-10 % цемента	1700-1900	0,0017-0,0019
11	Щебень из гранита	1800	0,0018
12	Щебень из известняка	1600	0,0016
13	Гравий	1800	0,0018
14	Песок крупный	2000	0,002
15	Песок средней крупности	1950	0,00195
16	Песок мелкий	1850	0,00185
17	Песок пылеватый	1750	0,00175
18	Супесь	2100	0,0021
19	Суглинок и глина	2000	0,002
20	Лёссы	1500	0,0015
21	Гравийно-песчаная смесь	2000	0,002
22	Гравийно-песчаная смесь, укрепленная 10 % цемента	2000	0,002

Пример 6.1. Характеристики материалов для капитальной дорожной одежды

Требуется запроектировать дорожную одежду капитального типа при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края, относящейся к равнинным районам;
- категория автомобильной дороги – I;
- Коэффициент надёжности – 0,95;
- число приложений нормативной нагрузки $\Sigma N_p = 12256700$ груз. ед;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая относится к сильнопучинистым грунтам;
- коэффициент уплотнения – 1,01;
- обочины укреплены щебнем на 2/3 своей ширины;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – 1;
- грунтовые воды залегают глубоко (более 4 м).

Предварительная конструкция дорожной одежды приведена в табл. 6.1.

Определим характеристики подстилающего слоя – верхнего слоя земляного полотна.

Предварительная толщина конструкции дорожной одежды составляет 1,13 м, поэтому расчётную влажность грунта земляного полотна принимаем по формуле (6.1).

Среднее многолетнее значение относительной влажности $\overline{W}_{\text{таб}}$, определяем по табл. 6.3. Для II-й климатической зоны, 1-й подзоны и 1-й схемы увлажнения супесь пылеватая имеет влажность $\overline{W}_{\text{таб}} = 0,7$.

Так как район проектирования относится к равнинным, то согласно табл. 6.4 поправка на особенности рельефа территории $\Delta_1 = 0,0$. С учётом того, что обочины на 2/3 укреплены щебнем, для II дорожно-климатической зоны и 1-й схемы увлажнения $\Delta_2 = 0,02$ (табл. 6.5).

Поправка $\Delta_3 = 0$, так как исходная относительная влажность 0,7 (рис. 6.2). Коэффициент нормированного отклонения $t = 1,71$ при $K_n = 0,95$ (табл. 6.6).

Тогда

$$W_p = (\overline{W}_{\text{таб}} + \Delta_1 - \Delta_2)(1 + 0,1t) - \Delta_3 = (0,7 + 0 - 0,02)(1 + 0,1 \cdot 1,71) - 0 = 0,8.$$

При таком значении влажности согласно табл. 6.2 модуль упругости $E_H = 32$ МПа. Для $W_p = 0,8W_T$ и числе приложений кратковременной нагрузки $\Sigma N_p = 12256700$ груз. ед., угол внутреннего трения $\varphi = 12^\circ$ и сцепление $c_N = 0,003$ МПа (табл. 6.7). При статическом воздействии ($\Sigma N_p = 1$) угол внутреннего трения $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.

Модуль упругости песка крупного принимаем по табл. 6.2. ($E = 130$ МПа). При числе приложений кратковременной нагрузки $\Sigma N_p = 12256700$ груз. ед., угол внутреннего трения $\varphi = 28^\circ$ и сцепление $c_N = 0,003$ МПа (табл. 6.8). При статическом воздействии ($\Sigma N_p = 1$) угол внутреннего трения $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.

Модуль упругости для щебёочно-гравийно-грунтовой смеси принимаем по табл. 6.11. Модули упругости для чёрного щебня принимаем по табл. 6.10. Так как чёрный щебень уложен в основании, то принимаем меньшее число – 600 МПа.

Модули упругости для асфальтобетонных слоёв. При расчёте на упругий прогиб принимаем модуль упругости для битума БНД 90/130 при $t = +10^\circ\text{C}$ по табл. 6.13. Он составит 2400 МПа для плотного асфальтобетона и 1400 для пористого асфальтобетона. При расчёте по условию сдвига в слабосвязных слоях принимаем модуль упругости для битума БНД 90/130 при $t = +20^\circ\text{C}$ по табл. 6.13. Он составит 1200 МПа для плотного асфальтобетона и 800 для пористого асфальтобетона. При расчёте на изгиб монолитных слоёв принимаем данные из табл. 6.14. Данные внесены в табл. 6.1.

Задание для самостоятельной работы

Требуется запроектировать дорожную одежду капитального типа при следующих исходных данных по распределенному варианту:

Вариант 1 (Капитальная, I кат., II зона)

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	E, МПа (прогиб)	E, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (E, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б плотный мелкозернистый, тип А, I, БНД 90/130	7	0.0024	2400	1200	3600 / 9.5 / 5.4 / 5.0

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
2	А/б пористый крупнозернистый, II, БНД 90/130	10	0.0023	1400	800	2200 / 7.8 / 6.3 / 4.0
3	Чёрный щебень фр. 40-70, БНД 90/130	18	0.002	600	600	-
4	ЩГПС, обработанная цементом, марка 40	25	0.002	600	600	-
5	Песок крупный (пылев. фр. 5%)	35	0.002	130	130	-
	Грунт: Супесь пылеватая, W_p=0.8W_T	-	-	32	32	c=0.003 МПа, φ=12° (дин.); φ=34° (ст.)

Вариант 2 (Облегчённая, III кат., III зона)

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б плотный мелкозернистый, тип Б, II, БН 90/130	6	0.0024	1800	900	2600 / 9.3 / 5.8 / 4.5
2	А/б высокопористый, I, БН 90/130	12	0.0022	950	570	1700 / 5.5 / 6.5 / 3.8
3	Щебень фр. 40-70, уложенный по способу заклинки	20	0.002	400	400	-
4	Песок средней крупности	30	0.002	120	120	-
	Грунт: Суглинок лёгкий, W_p=0.75W_T	-	-	34	34	c=0.005 МПа, φ=5° (дин.); φ=25° (ст.)

Вариант 3 (Капитальная, II кат., IV зона)

№	Материал слоя	h, см	γ, кг/см³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б высокоплотный, I, БНД 60/90	5	0.0024	3200	1600	6000 / 9.8 / 5.2 / 5.5
2	А/б плотный крупнозернистый, тип А, I, БНД 60/90	8	0.0024	2400	1200	3600 / 9.5 / 5.4 / 5.6
3	Щебень, обработанный битумом пропиткой	15	0.002	500	500	-
4	Гравийно-песчаная смесь С4	40	0.002	180	180	-
	Грунт: Песок пылеватый, Wp=0.7Wт	-	-	72	72	c=0.003 МПа, φ=28° (дин.); φ=35° (ст.)

Вариант 4 (Облегчённая, IV кат., II зона)

№	Материал слоя	h, см	γ, кг/см³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б холодный, тип Бх, I	8	0.0023	1100	-	2200 / 4.6 / 9.8 / 2.5
2	Щебень фр. 20-40	15	0.002	300	300	-
3	Супесь лёгкая, укрепленная цементом, марка 20	25	0.0021	250	250	-
	Грунт: Супесь лёгкая, Wp=0.65Wт	-	-	53	53	c=0.006 МПа, φ=14° (дин.); φ=30° (ст.)

Вариант 5 (Капитальная, I кат., V зона)

№	Материал слоя	h, см	γ, кг/см³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б плотный мелкозернистый, тип А, I, БНД 40/60	6	0.0024	3200	1280	4500 / 9.8 / 5.2 / 5.5

№	Материал слоя	h, см	γ, кг/см³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
2	А/б пористый, II, БНД 40/60	12	0.0023	2000	800	2800 / 8.0 / 5.9 / 4.3
3	Чёрный щебень фр. 40-70, БНД 40/60	20	0.002	700	700	-
4	ЩГПС, обработанная цементом, марка 60	30	0.002	800	800	-
5	Песок крупный	40	0.002	130	130	-
	Грунт: Суглинок тяжёлый, Wp=0.85W_T	-	-	25	25	c=0.003 МПа, φ=3° (дин.); φ=15° (ст.)

Вариант 6 (Облегчённая, IV кат., III зона)

№	Материал слоя	h, см	γ, кг/см³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б плотный песчаный, тип Г, III, БН 90/130	5	0.0024	1800	720	2600 / 9.3 / 5.8 / 4.5
2	Щебень фр. 40-70, обработанный по способу пропитки	15	0.002	450	450	-
3	Песок средней крупности	35	0.002	120	120	-
	Грунт: Песок мелкий, Wp=0.6W_T	-	-	100	100	c=0.003 МПа, φ=30° (дин.); φ=35° (ст.)

Вариант 7 (Капитальная, III кат., II зона)

№	Материал слоя	h, см	γ, кг/см³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б плотный мелкозернистый, тип Б, II, БНД 90/130	6	0.0024	2400	960	3600 / 9.5 / 5.4 / 5

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
2	А/б пористый, II, БНД 90/130	10	0.0023	1400	560	2200 / 7.8 / 6.3 / 4
3	Щебень из изверженных пород, фр. 20-40	20	0.002	350	350	-
4	Супесь, укрепленная цементом, марка 30	30	0.0021	300	300	-
	Грунт: Супесь пылеватая, $W_p=0.78W_T$	-	-	30	30	$c=0.004$ МПа, $\varphi=1$ (дин.); $\varphi=32^\circ$ (ст.

Вариант 8 (Облегчённая, V кат., I зона)

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б холодный, тип Гх, II	6	0.0023	900	-	1800 / 4.2 / 13.2 / 2.0
2	Гравийно-песчаная смесь С5	20	0.002	150	150	-
	Грунт: Суглинок лёгкий пылеватый, $W_p=0.7W_T$	-	-	46	46	$c=0.009$ МПа, $\varphi=8.5$ (дин.); $\varphi=20^\circ$ (ст.

Вариант 9 (Капитальная, II кат., III зона)

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б плотный мелкозернистый, тип А, I, БНД 90/130	7	0.0024	2400	1440	3600 / 9.5 / 5.4 / 5.0
2	А/б пористый крупнозернистый, I, БНД 90/130	12	0.0023	1400	840	2200 / 7.8 / 6.3 / 4.0

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
3	Щебень из гравия, фр. 40-70	18	0.002	300	300	-
4	Песок крупный (пылев. фр. 5%)	30	0.002	130	130	-
	Грунт: Песок пылеватый, $W_p=0.65W_T$	-	-	78	78	$c=0.006$ МПа, $\varphi=17^\circ$ (дин.); $\varphi=35^\circ$ (ст.)

Вариант 10 (Облегчённая, III кат., IV зона)

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	Е, МПа (прогиб)	Е, МПа (сдвиг)	Расчёт на изгиб (Е, МПа / R, МПа / α / m)
1	А/б плотный, тип В, II, БН 90/130	5	0.0024	1800	1080	2600 / 9.3 / 5.8 / 4.5
2	А/б высокопористый щебёночный, I	8	0.0022	950	570	1700 / 5.5 / 6.5 / 3.8
3	Щебень, обработанный битумной эмульсией	15	0.002	400	400	-
4	Песок средней крупности	25	0.002	120	120	-
	Грунт: Супесь лёгкая, $W_p=0.72W_T$	-	-	45	45	$c=0.008$ МПа, $\varphi=11^\circ$ (дин.); $\varphi=28^\circ$ (ст.)

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные прочностные характеристики, которые необходимо назначить для материалов слоёв дорожной одежды и грунта земляного полотна для проведения расчётов по критериям прочности.
2. Что такое «расчётная влажность грунта» (W_p)? От каких ключевых факторов зависит её величина?
3. Объясните, в чём разница между назначением модуля упругости грунта по таблице 6.2 для случая, когда суммарная толщина дорожной одежды $Z_1 < 0.75$ м и когда $Z_1 \geq 0.75$ м.
4. Что понимается под «расчётным днём» ($T_{рлг}$) и как это понятие связано с определением расчётной влажности грунта и сдвиговых характеристик?

5. Как изменяются сдвиговые характеристики грунта (угол внутреннего трения φ и сцепление c) с ростом числа приложений нагрузки (ΣN_p) и увеличением относительной влажности? Сформулируйте общую тенденцию.

6. Используя таблицу 6.2, определите модуль упругости (E_{gr}) для суглинка лёгкого пылеватого при относительной влажности $W/W_T = 0.75$.

7. По карте дорожно-климатических зон (Рис. 6.1) и таблице 6.3 определите среднее многолетнее значение влажности ($W_{таб}$) для супеси пылевой для II дорожно-климатической зоны, подзоны П2, при 3-й схеме увлажнения.

8. Используя таблицу 6.7, определите нормативные значения угла внутреннего трения (φ) и сцепления (c) для супеси при расчётной относительной влажности 0.8 и суммарном числе приложений нагрузки $\Sigma N_p = 10^5$.

9. По таблице 6.13 определите модуль упругости плотного асфальтобетона на битуме БН 90/130 для расчёта:

10. а) на упругий прогиб ($t = +10^\circ\text{C}$);

11. б) по условию сдвигоустойчивости в III дорожно-климатической зоне ($t = +30^\circ\text{C}$).

12. Используя таблицу 6.14, определите расчётные значения модуля упругости (E), сопротивления растяжению при изгибе (R) и коэффициентов (α , m) для плотного асфальтобетона на битуме БНД 90/130 для II дорожно-климатической зоны.

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.

2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.

3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов.

Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ПО ДОПУСТИМОМУ УПРУГОМУ ПРОГИБУ

Конструкция дорожной одежды в целом будет удовлетворять требованиям прочности и надёжности по величине упругого прогиба при условии:

$$\frac{E_{\text{общ}}}{E_{\text{тр, min}}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \quad (7.1)$$

где $E_{\text{общ}}$ – общий расчётный модуль упругости конструкции, МПа; $E_{\text{тр, min}}$ – 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 уровня надёжности (по табл. 5.1).

Величину минимального требуемого общего модуля упругости конструкции назначают по правилу, МПа:

$$E_{\text{тр, min}} = \max(E_{\text{табл}}; E_{\text{min}}), \quad (7.2)$$

где E_{min} вычисляют по эмпирической формуле, а $E_{\text{табл}}$ назначают по табл. 7.1.

При расчётах дорожных одежд капитального типа, для которых $p = 0,8$ МПа, в соответствии с письмом (см. Приложение) следует использовать эмпирическую формулу:

$$E_{\text{min}} = \sqrt{\frac{p}{600}} \cdot 98,65 \cdot (\lg(\sum N_p) - c) = \sqrt{\frac{800}{600}} \cdot 98,65 \cdot (\lg(\sum N_p) - c). \quad (7.3)$$

Тогда

$$E_{\text{min}} = 113,94 (\lg(\sum N_p) - c),$$

где c – эмпирический параметр, принимаемый по табл. 7.2. Для остальных дорожных одежд, рассчитываемых на удельную нагрузку $p = 0,6$ МПа, в соответствии ОДН 218.046-01 следует пользоваться формулой:

$$E_{\text{min}} = 98,65 (\lg(\sum N_p) - c) \quad (7.4)$$

В том случае, когда суммарное расчётное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды $\Sigma N_p < 4 \cdot 10^4$, минимальный требуемый модуль упругости следует принимать по табл. 7.1.

Независимо от результата, полученного по формулам (7.3) и (7.4), требуемый модуль упругости должен быть не менее $E_{\text{табл}}$, указанного в табл. 7.1.

Общий расчётный модуль упругости конструкции определяют с помощью номограммы, построенной по решению теории упругости для модели многослойной среды (рис. 7.1). Приведение многослойной конструкции к эквивалентной однослойной ведут послойно, начиная с подстилающего грунта.

Таблица 7.1 (ОДН 218.046-01, табл. 3.4) – Минимальный требуемый модуль упругости

Категория дороги	Суммарное минимальное расчётное число приложений расчётной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости одежды, $E_{\text{табл}}$, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	750000	230	-	-
II	500000	220	210	-
III	375000	200	200	-
IV	110000	-	150	100
V	40000	-	100	50

Таблица 7.2 – Значения эмпирического параметра c

Нормативная нагрузка на ось, кН	c	Источник
100	3,55	ОДН 218.046-01, п. 3.25
110	3,25	ОДН 218.046-01, п. 3.25
115	3,15	По интерполяции квадратическим полиномом Лагранжа
130	3,05	ОДН 218.046-01, п. 3.25

Расчёт по допустимому упругому прогибу (по требуемому модулю деформации) приведён ниже. Его ведут в следующей последовательности:

1. Определяют минимальный общий модуль конструкции E_{min} по формуле (7.3) или (7.4).

2. Назначают требуемый минимальный общий модуль конструкции $E_{тр, min}$ по условию (7.2).

3. Составляют таблицу с исходными данными для расчёта, пример которой приведён в табл. 7.3.

4. Назначают модули и предварительно толщины слоёв конструкции.

5. Определяют требуемые модули упругости на поверхности каждого конструктивного слоя дорожной одежды, ведя расчёт конструкции сверху вниз, последовательно применяя номограмму, приведённую на рис. 7.1. В итоге, должен быть определён требуемый модуль упругости на поверхности дополнительного слоя основания.

Пример 7.1. Расчёт капитальных дорожных одежд по упругому прогибу

Требуется запроектировать на дороге I категории с заданной надёжностью $K_n = 0,95$ дорожную одежду капитального типа при суммарном количестве приложений расчётной нагрузки за срок службы, $\sum N_p = 1225700$ груз.ед.

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчёта по допускаемому упругому прогибу, согласно табл. 5.1, составляет $K_{np}^{тр} = 1,3$.

1. Предварительно назначаем конструкцию и расчётные значения расчётных параметров (см. гл. 6). Они приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3 – Исходные данные для материалов слоёв дорожной одежды

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвигу, E, МПа	Расчёт на растяжение при изгибе			
						E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1.	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2.	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3.	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-

4.	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5.	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8W_T$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

2. Так как мы проектируем дорожные одежды капитального типа, то минимальный требуемый модуль упругости на поверхности покрытия определим по формуле (7.3):

$$E_{\min} = 113,94(\lg(\Sigma N_p) - 3,15) = 113,94(\lg 1225700 - 3,15) = 335 \text{ МПа.}$$

Это значение больше табличного (см. табл. 7.1), следовательно, в соответствии с условием (7.2) $E_{тр, \min} = 335$ МПа.

3. Расчёт по допускаемому упругому прогибу ведем послойно, начиная с подстилающего грунта по номограмме (рис. 7.1).

$$3.1 \quad \frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E^{\text{тр}}}{E^{\text{песок}}} = \frac{32}{130} = 0,25.$$

Диаметр следа колеса $D = 39$ см. Тогда:

$$\frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{h^{\text{песок}}}{D} = \frac{50}{39} = 1,28 \text{ .}$$

По номограмме:

$$\frac{E_{\text{общ}}^{\text{песок}}}{E_{\text{н}}^{\text{песок}}} = 0,61 \text{ .}$$

Тогда

$$E_{\text{общ}}^{\text{песок}} = 0,61 \cdot 130 = 79,3 \text{ МПа.}$$

3.2 $\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{песок}}}{E^{\text{шгпс}}} = \frac{79,3}{400} = 0,20 \text{ . Отношение } \frac{h^{\text{шгпс}}}{D} = \frac{28}{39} = 0,72 \text{ .}$

По номограмме:

$$\frac{E_{\text{общ}}^{\text{шгпс}}}{E_{\text{н}}^{\text{шгпс}}} = 0,44 \text{ .}$$

Тогда

$$E_{\text{общ}}^{\text{шгпс}} = 0,44 \cdot 400 = 176 \text{ МПа.}$$

3.3 $\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{н}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{шгпс}}}{E^{\text{чш}}} = \frac{176}{600} = 0,29 \text{ . Отношение } \frac{h^{\text{чш}}}{D} = \frac{18}{39} = 0,46 \text{ .}$

По номограмме:

$$\frac{E_{\text{общ}}^{\text{чш}}}{E_{\text{н}}^{\text{чш}}} = 0,46 \text{ . Тогда } E_{\text{общ}}^{\text{чш}} = 0,46 \cdot 600 = 276 \text{ МПа.}$$

3.4 $\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{\text{чш}}}{E^{a/6_2}} = \frac{276}{1400} = 0,20 \text{ . Отношение } \frac{h^{a/6_2}}{D} = \frac{10}{39} = 0,26 \text{ .}$

По номограмме:

$$\frac{E_{\text{общ}}^{a/6_2}}{E_{\text{н}}^{a/6_2}} = 0,26 \text{ . Тогда } E_{\text{общ}}^{a/6_2} = 0,26 \cdot 1400 = 364 \text{ МПа.}$$

3.5 $\frac{E_{\text{н}}}{E_{\text{в}}} = \frac{E_{\text{общ}}^{a/6_2}}{E^{a/6_1}} = \frac{364}{2400} = 0,15 \text{ . Отношение } \frac{h^{a/6_1}}{D} = \frac{7}{39} = 0,18 \text{ .}$

По номограмме:

$$\frac{E_{\text{общ}}^{a/\delta_1}}{E_{\text{н}}^{a/\delta_1}} = 0,19. \text{ Тогда } E_{\text{общ}}^{a/\delta_1} = 0,19 \cdot 2400 = 456 \text{ МПа}.$$

3.6. Определяем коэффициент прочности по упругому прогибу.

$$\frac{E_{\text{общ}}^{a/\delta_1}}{E_{\text{тр min}}^{a/\delta_1}} = \frac{456}{335} = 1,36. \text{ Полученное значение превышает } 1,3.$$

Таким образом, рассматриваемая конструкция дорожной одежды удовлетворяет условию прочности по критерию упругого прогиба.

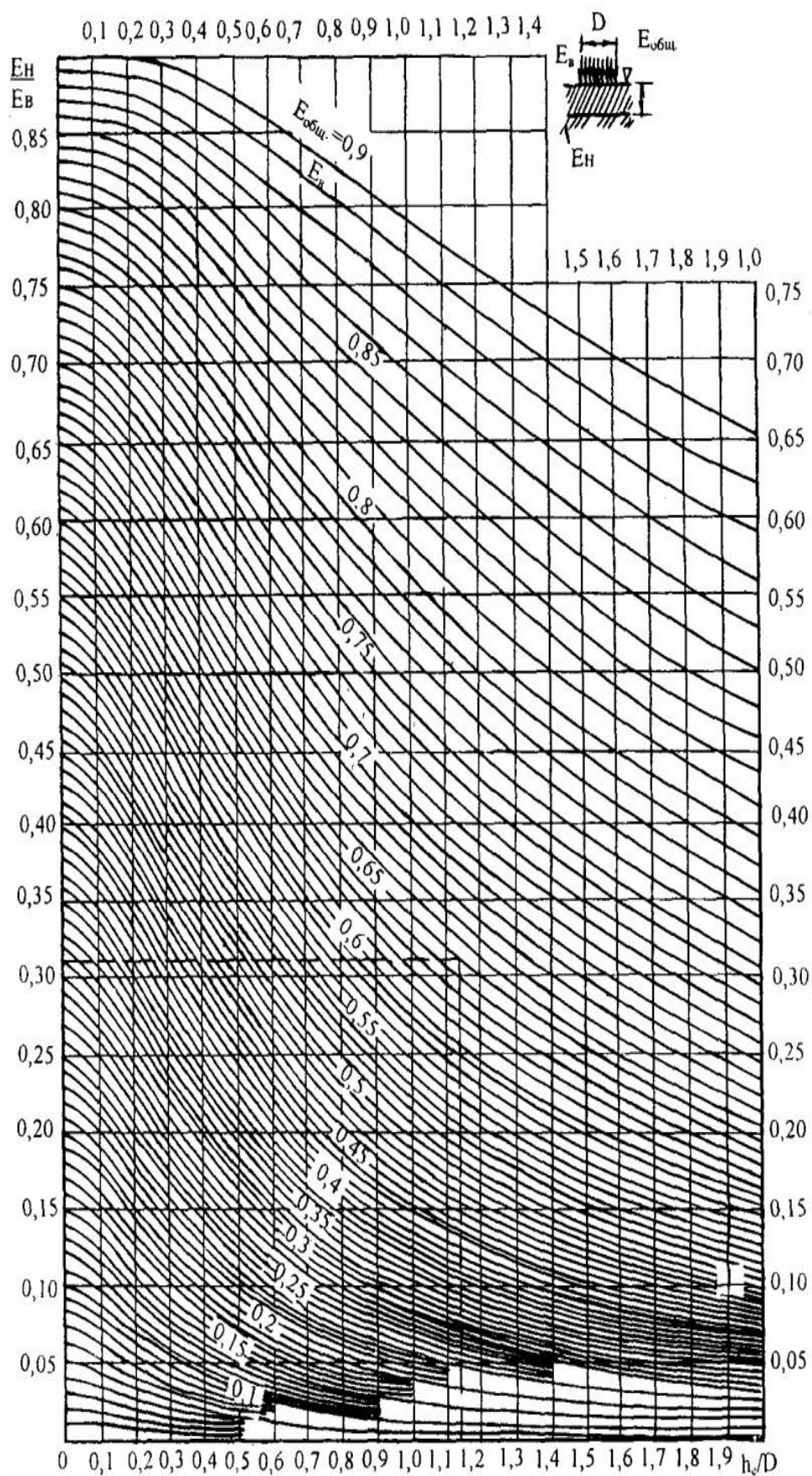


Рисунок 7.1 (ОДН 218.046-01, рис. 3.1) – Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы $E_{\text{общ}}$

Задание для самостоятельной работы

Выполнить расчёт капитальных дорожных одежд по упругому прогибу по аналогии примера 7.1 по индивидуальным данным, распределенным в практическом занятии №6

Контрольные вопросы

1. Что является основным условием прочности и надежности дорожной одежды по критерию упругого прогиба (формула 7.1)?
2. Как определяется минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции $E_{tr,min}$ (формула 7.2)?
3. В чем разница между применением эмпирических формул (7.3) и (7.4) для расчета E_{min} ?
4. Почему при суммарном числе приложений нагрузки $\sum N_p < 4 \cdot 10^4$ минимальный требуемый модуль упругости принимается непосредственно по Таблице 7.1?
5. Какой инструмент используется для определения общего расчетного модуля упругости многослойной конструкции и в каком порядке проводится расчет?
6. Согласно Таблице 7.1, как зависит требуемый модуль упругости $E_{табл}$ от категории дороги и типа одежды?
7. По Таблице 7.2, как определяется значение эмпирического параметра s для нормативной нагрузки на ось 115 кН и почему?
8. Какие механические характеристики материалов слоев (помимо модуля упругости) учитываются при проектировании согласно Таблице 7.3?

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.
2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.
3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. –

139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения М.:ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (АО ЦНИИС)
ул. Кольская, д. 1, Москва, Россия, 129329

Руководителю Федерального
дорожного агентства
Р.В. Старовойту

Филиал АО ЦНИИС
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОСТЫ»
телефон: 8 (499) 180-42-95, телефакс: 8 (499) 180-52-30
e-mail: most@vniis.com http://www.vniis.com
ОГРН 01200074 ОГРН 1027000100112 ИНН 7716067011 НПД 771602002

18.10.2016 № 531425/708
на Ваш № _____

Уважаемый Роман Владимирович !

В связи с введением ГОСТ 32960-2014, в котором устанавливается давление (p) от колеса на покрытие равное 800 кПа, просим Вас разослать в подведомственные организации Федерального дорожного агентства разъяснения по применению данной нормы совместно с ОДН 218.046-01.

При расчете дорожной одежды по ОДН 218.046-01, требуемый модуль упругости при давлении отличном от 600 кПа, может быть определен по формуле:

$$E_{\text{кр}} = \sqrt{p/600} \cdot 98,65(\lg N - c),$$

где p - принимаемое в расчете давление от колеса на покрытие.
Так, при p = 800, $E_{\text{кр}} = 1,155 \times 98,65 (\lg N - c)$

С уважением,
Директор филиала

И.В. Илюшин

РОСАВТОДОР
ex. № 56650
от 19.10.2016



ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

РАСЧЁТ ПО УСЛОВИЮ СДВИГОУСТОЙЧИВОСТИ СЛОЁВ С ПОНИЖЕННОЙ СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬЮ СДВИГУ

К слоям дорожной конструкции с пониженной сопротивляемостью сдвигу относятся малосвязные (песчаные, гравийные) слои дорожной одежды и подстилающий грунт земляного полотна. Необходимо, чтобы под действием нагрузок в этих слоях за весь срок службы не накапливались недопустимые остаточные деформации формоизменения. Недопустимые деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в малосвязных слоях будет обеспечено условие (5.2):

$$K_{\text{пр}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}},$$

где коэффициент прочности $K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{доп}}}{T}$,

T – расчётное (максимальное) активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, непогашенная внутренним трением) в расчётной (наиболее опасной) точке конструкции от действующей временной нагрузки; $T_{\text{доп}}$ – допустимая (предельная) величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг. Тогда

$$\frac{T_{\text{доп}}}{T} > K_{\text{пр}}^{\text{тр}}. \quad (8.1)$$

Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ назначают по табл. 5.1 (ОДН 218.046-01, табл. 3.1), в зависимости от типа дорожной одежды, категории дороги, заданной надёжности и вида расчёта (по критерию сдвига и растяжения при изгибе).

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

Действующие в слое активные напряжения сдвига T вычисляют по формуле:

$$T = \tau_{\text{н}} \cdot \rho \quad (8.2)$$

где τ_n – активное напряжение сдвига от единичной временной нагрузки, определяемое с помощью номограммы, представленной на рис. 8.1 или 8.2; p – расчётное давление от колеса на покрытие (0,8 МПа для капитальных дорожных одежд и 0,6 МПа для всех остальных типов).

Предельное (допускаемое) активное напряжение сдвига $T_{\text{доп}}$ в грунте рабочего слоя (или в песчаном материале промежуточного слоя) определяют по формуле:

$$T_{\text{доп}} = c_N \cdot k_d + 0,1 \gamma_{\text{ср}} \cdot z_{\text{оп}} \cdot \text{tg } \varphi_{\text{ст}},$$

где c_N – сцепление в грунте проверяемого слоя при числе приложении кратковременной нагрузки ΣN_p , МПа; k_d – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания; $z_{\text{оп}}$ – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвигоустойчивость, от верха конструкции, см; $\gamma_{\text{ср}}$ – средневзвешенный удельный вес конструктивных слоёв, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см³; $\varphi_{\text{ст}}$ – расчётная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки; 0,1 – коэффициент для перевода в МПа.

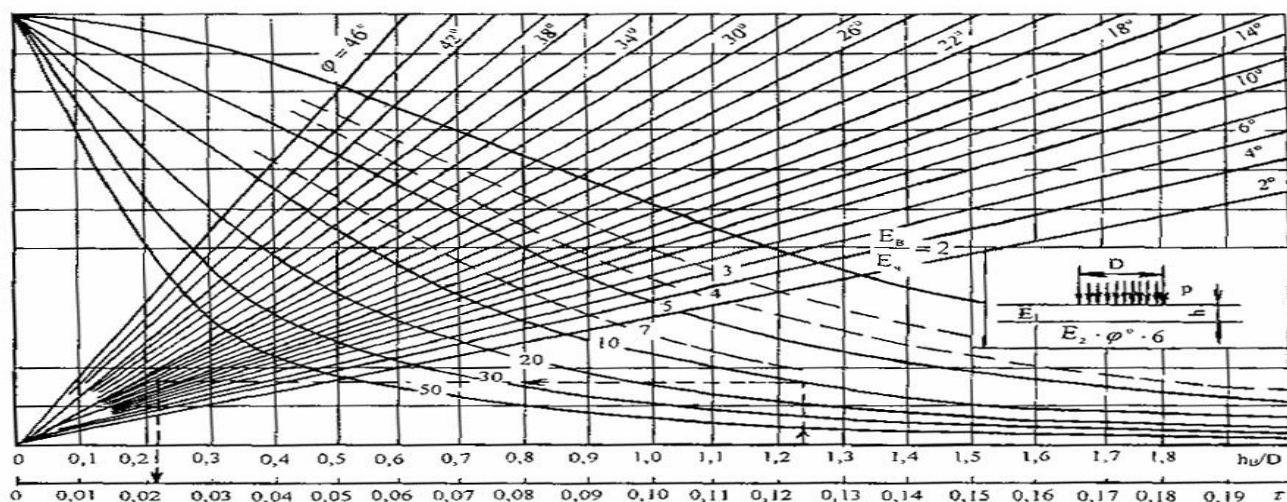


Рисунок 8.1 – Номограмма для определения

τ_n (ОДН 218.046-01, рис. 3.2)

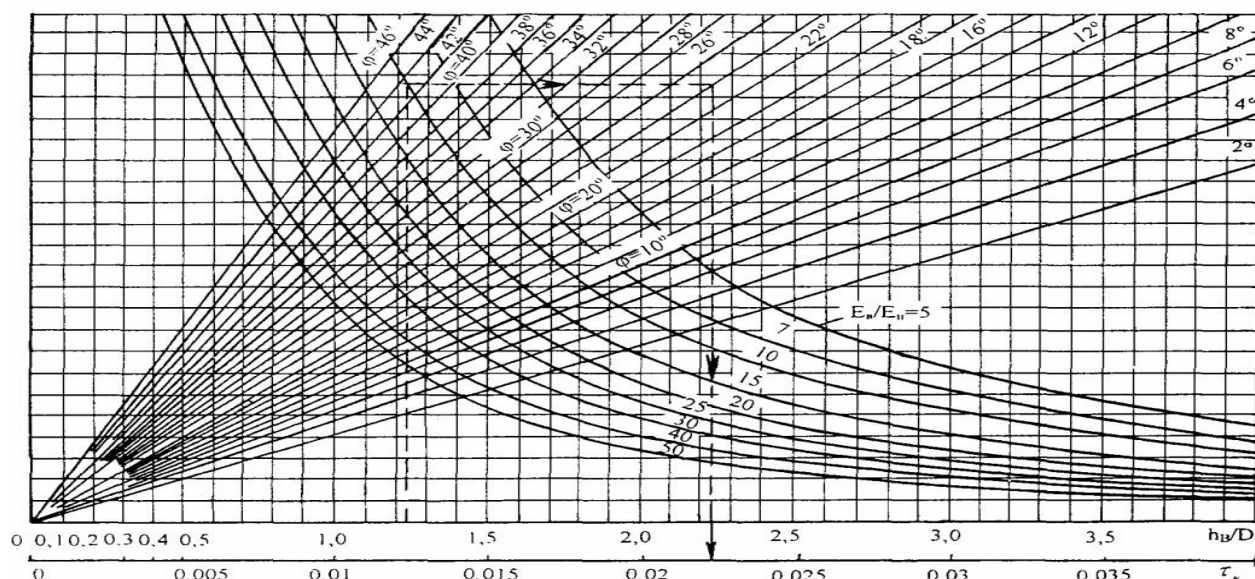


Рисунок 8.2 – Номограмма на большем диапазоне (ОДН 218.046-01, рис. 3.3)

Если дополнительный слой основания устраивается песчаным, а нижний слой несущего основания из укрепленных материалов или между основанием и песчаным слоем укладывают геотекстильную прослойку, то коэффициент k_d , должен принимать значения в соответствии с табл. 8.1.

Таблица 8.1 – Значения коэффициента k_d (ОДН 218.046-01, п.3.35)

k_d	Особенности грунта дополнительного слоя основания
4,5	при использовании в песчаном слое крупного песка
4,0	при использовании в песчаном слое песка средней крупности
3,0	при использовании в песчаном слое мелкого песка
1,0	во всех остальных случаях

Для того, чтобы воспользоваться номограммой (рис. 8.1 или 8.2), необходимо предварительно назначенную дорожную конструкцию привести к двухслойной расчётной модели. В ней, при расчёте на сдвиг в подстилающем слое, 1-й слой – это вся конструкция дорожной одежды, 2-й слой – подстилающий грунт. Тогда толщину верхнего слоя h_v принимают равной сумме толщин всех слоёв одежды:

$$h_v = \sum_{i=1}^n h_i, \quad (8.4)$$

где n – число слоёв дорожной одежды; h_i – толщина i -го слоя. Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют, как средневзвешенный, по формуле одежды. Средневзвешенный удельный вес конструктивных слоёв, расположенных выше

проверяемого слоя, оценивается по формуле:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (8.5)$$

где E_i – модуль упругости i -го слоя дорожной одежды. Средневзвешенный удельный вес конструктивных слоёв, расположенных выше проверяемого слоя, оценивается по формуле:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_{\text{ср}} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (8.6)$$

где γ_i – удельный вес i -го слоя конструкции.

При расчёте по условию сдвигу устойчивости в *дополнительном слое* основания нижнему слою двухслойной модели условно присваивают обычные характеристики материала дополнительного слоя основания, а модуль упругости принимают равным общему модулю на поверхности дополнительного слоя, определяемому как в расчётах по упругому прогибу по номограмме (рис. 7.1). Толщину верхнего слоя модели принимают равной общей толщине слоёв, лежащих над дополнительным

$$h_{\text{в}} = \sum_{i=1}^{n-1} h_i, \quad (8.7)$$

Модуль упругости $E_{\text{с}}$ вычисляют как средневзвешенное значение для этих слоев

$$E_{\text{с}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i}, \quad (8.8)$$

Удельный вес конструктивных слоев, расположенных выше проверяемого слоя:

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \gamma_{\text{ср}} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i} . \quad (8.9)$$

Расчёт дорожной одежды по сопротивлению сдвигу в грунте земляного полотна, а также в слабосвязных материалах промежуточных слоев дорожных одежд, ведут в следующей последовательности:

1. Приводят многослойную конструкцию к двухслойной модели.
- 2.- По номограмме (рис. 8.1) или (рис. 8.2) определяют активные напряжения сдвига τ_n от единичной временной нагрузки.
3. По формуле (8.2) вычисляют расчётное напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в песчаном слое одежды.
4. По формуле (8.3) вычисляют предельное напряжение сдвига.
5. По критерию (8.1) проверяют выполнение условия прочности (по заданному коэффициенту надёжности).
6. При невыполнении критерия изменяют толщины конструктивных слоёв, подбирают конструкцию, удовлетворяющую условию.

Пример 8.1 Расчёт капитальных дорожных одежд по условию сдвига в подстилающем слое

Необходимо рассчитать конструкцию дорожной одежды, представленную в табл. 8.2 (табл. 6.1) на прочность по условию сдвига в подстилающем слое. В примере 7.1 она была рассчитана на прочность по критерию упругого прогиба. Коэффициент надёжности $K_n=0,95$. Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчёта по условию сдвига, согласно табл. 5.1, составляет $K^{\text{тр}}_{\text{пр}} = 1,0$.

Приводим нашу конструкцию к двухслойной модели. Толщина верхнего слоя:

$$h_{\text{в}} = \sum_{i=1}^5 h_i = 0,07 + 0,10 + 0,18 + 0,28 + 0,50 = 1,13 \text{ м}.$$

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (8.5),

$$E_{\text{в}} = \frac{1200 \cdot 7 + 800 \cdot 10 + 600 \cdot 18 + 400 \cdot 28 + 130 \cdot 50}{113} = 397 \text{ МПа.}$$

Таблица 8.2 (табл. 6.1) – Исходные данные для слоёв дорожной одежды

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвигу-уст., E, МПа	Расчёт на растяжение при изгибе			
						E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-
	Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8W_t$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-

По отношениям

$$\frac{E_{\text{в}}}{E_{\text{г}}} = \frac{397}{32} = 12,4; \quad \frac{h_{\text{в}}}{D} = \frac{113}{39} = 2,9$$

и при $\varphi = 12^\circ$ с помощью номограммы (рис. 8.2) находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки: $\tau_n = 0,008$ МПа.

Таким образом, $T = 0,008 \cdot 0,8 = 0,0064$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{пр}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (8.3), где $c_N = 0,003$ МПа, $k_d = 1,0$; $z_{оп} = 7 + 10 + 18 + 28 + 50 = 113$ см; $\varphi_{ст} = 34^\circ$;

$$\gamma_{ср} = \frac{0,0024 \cdot 7 + 0,0023 \cdot 9 + 0,002 \cdot 18 + 0,002 \cdot 28 + 0,002 \cdot 50}{113} = 0,002 \text{ кг/см}^3.$$

$$T_{доп} = 0,003 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 113 \cdot \operatorname{tg} 34^\circ = 0,018 \text{ МПа.}$$

$$K_{пр} = \frac{T_{доп}}{T} = \frac{0,018}{0,0064} = 2,81, \text{ что больше } K_{пр}^{тр} = 1,00.$$

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в подстилающем слое.

Пример 8.2 Расчёт капитальных дорожных одежд по условию сдвига в дополнительном песчаном слое

Рассчитаем эту же конструкцию дорожной одежды (табл. 8.2) на прочность по условию сдвига в песчаном слое. Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по условию сдвига, остаётся тем же, то есть $K_{пр}^{тр} = 1,0$.

Приводим нашу конструкцию к двухслойной модели. Толщина верхнего слоя

$$h_{в} = \sum_{i=1}^4 h_i = 0,07 + 0,10 + 0,18 + 0,28 = 0,63 \text{ м.}$$

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляем по формуле (8.8),

$$E_{в} = \frac{1200 \cdot 7 + 800 \cdot 10 + 600 \cdot 18 + 400 \cdot 28}{63} = 610 \text{ МПа.}$$

Нижним слоем двухслойной модели является совокупность песчаного слоя и грунта земляного полотна. На границе между модельными верхним и нижним слоями (на поверхности песчаного слоя) требуемый модуль упругости $E_{песок}^{общ.} = 79,3$ МПа. Тогда

$$\frac{E_{в}}{E_{п}} = \frac{610}{79} = 7,72; \quad \frac{h_{в}}{D} = \frac{63}{39} = 1,61$$

и при $\varphi = 28^\circ$ с помощью рис. 8.2 находим удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки: $\tau_n = 0,015$ МПа.

Таким образом: $T = 0,015 \cdot 0,8 = 0,012$ МПа.

Предельное активное напряжение сдвига $T_{\text{пр}}$ в грунте рабочего слоя определяем по формуле (8.3). В ней где $c_N = 0,003$ МПа; $k_d = 4,5$ (см. табл. 8.1);

$$z_{\text{оп}} = 7 + 10 + 18 + 28 = 63 \text{ см; } \varphi_{\text{ст}} = 34^\circ.$$

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{0,0024 \cdot 7 + 0,0023 \cdot 10 + 0,002 \cdot 18 + 0,002 \cdot 28}{63} = 0,002 \text{ кг/см}^3.$$

$$T_{\text{доп}} = 0,003 \cdot 4,5 + 0,1 \cdot 0,002 \cdot 63 \cdot \text{tg } 34^\circ = 0,022 \text{ МПа.}$$

$$K_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{доп}}}{T} = \frac{0,022}{0,012} = 1,83, \text{ что больше } K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = 1,00.$$

Следовательно, конструкция удовлетворяет условию прочности по сдвигу в песчаном слое.

Задание для самостоятельной работы

В соответствии с примерами 8.1 и 8.2 требуется расчёт капитальных дорожных одежд по условию сдвига в дополнительном песчаном и в подстилающем слоях по исходным данным таблиц практического занятия №6.

Контрольные вопросы

1. Какие слои дорожной конструкции относятся к слоям с пониженной сопротивляемостью сдвигу?
2. Сформулируйте основное условие прочности по сдвигоустойчивости (неравенство 8.1). Что такое T и $T_{\text{доп}}$?
3. По какой формуле рассчитывается действующее активное напряжение сдвига T в слое? Что представляет собой коэффициент тн ?
4. Что учитывает коэффициент k_d в формуле (8.3) для предельного напряжения сдвига и от чего зависит его значение?
5. Какова цель приведения многослойной дорожной конструкции к двухслойной модели перед использованием номограмм?
6. Объясните, почему в формуле (8.3) для $T_{\text{доп}}$ используется угол внутреннего трения при статическом действии нагрузки ($\phi_{\text{ст}}$), а в номограммах для нахождения тн — угол при динамическом воздействии?

7. Сравните процедуру приведения к двухслойной модели для расчета сдвига в грунте земляного полотна и для расчета сдвига в дополнительном песчаном слое. Чем отличаются параметры верхнего и нижнего слоев модели в этих двух случаях?

8. В примере 8.2 для песчаного слоя был применен коэффициент $k_d=4,5$. Обоснуйте этот выбор, исходя из данных таблицы 8.1 и состава песчаного слоя из таблицы 8.2.

9. Проанализируйте последовательность расчета по условию сдвигоустойчивости. Что следует делать, если на шаге 5 проверки условие прочности не выполняется?

10. Как рассчитывается средневзвешенный удельный вес $\gamma_{ср\text{ср}}$ конструктивных слоев, лежащих выше проверяемого слоя, и какова его роль в формуле (8.3)?

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.

2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.

3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования.

Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения/ М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

РАСЧЁТ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ В МОНОЛИТНЫХ СЛОЯХ

Асфальтобетонные слои конструкции проверяют на прочность при изгибе по критерию

$$K_{\text{пр}} \geq K_{\text{пр}}^{\text{тр}}, \quad (9.1)$$

где коэффициент прочности

$$K_{\text{пр}} = \frac{R_{\text{н}}}{\sigma_r}, \quad (9.2)$$

$R_{\text{н}}$ – предельно допустимое растягивающее напряжение для материала монолитного слоя (показатель прочности материала слоя на растяжение при изгибе с учётом усталостных явлений), σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в монолитном слое, устанавливаемое расчётом. Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{пр}}^{\text{тр}}$ назначают по табл. 5.1. Он такой же, как и при расчётах на сдвиг в слабосвязных грунтах.

Данный критерий применяется для расчета дорожных одежд, содержащих монолитные слои. К ним относятся слои из асфальтобетона, дёгтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими.

При расчётах на изгиб в монолитных слоях систему, включающую в себя дорожные одежды и подстилающий слой, приводят к двухслойной модели. К верхнему слою модели относят все асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый. Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная ниже пакета асфальтобетонных слоев. Она включает в себя и грунт рабочего слоя земляного полотна.

Задают толщину верхнего слоя модели $h_{\text{в}}$, равную сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев:

$$h_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n h_i, \quad (9.3)$$

где n – количество асфальтобетонных слоев, h_i – толщина i -го

асфальтобетонного слоя, см.

Вычисляют значение модуля упругости верхнего слоя модели, как средневзвешенное для всего пакета асфальтобетонных слоев, по формуле:

$$E_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{h_{\text{в}}}, \quad (9.4)$$

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

Модуль упругости нижнего слоя модели определяют путём приведения слоистой системы к эквивалентной по жёсткости с помощью номограммы на рис. 7.1. Здесь требуется определить $E_{\text{общ}}$ на нижней границе асфальтобетонного пакета. Расчет ведут послойно, начиная с подстилающего грунта.

Далее, вычисляют расчётное растягивающее напряжение по формуле

$$\sigma_r = \overline{\sigma}_r \cdot p \cdot k_{\text{в}}, \quad (9.5)$$

где $\overline{\sigma}_r$ – растягивающее напряжение от единичной нагрузки; p – расчётное давление; $k_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий особенности напряжённого состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном.

Растягивающее напряжение от единичной нагрузки $\overline{\sigma}_r$ определяют по номограмме на рис. 9.1, для соответствующих значений отношения:

$$\frac{h_{\text{в}}}{D}$$

где D – диаметр следа колеса, и $E_{\text{с}}/E_{\text{н}}$. Порядок использования показан на номограмме стрелками.

Расчётное давление p принимают равным 0,8 МПа для капитальных дорожных одежд и 0,6 МПа – для облегченных.

Коэффициент $k_{\text{с}} = 0,85$ (при расчёте на однобаллонное колесо $k_{\text{в}} = 1,00$).

Находят прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе по формуле:

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - v_R \cdot t), \quad (9.6)$$

где R_0 – нормативное значение предельного сопротивления растяжению

(прочность) при изгибе при расчётной низкой весенней температуре при однократном приложении нагрузки; k_1 – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки; k_2 – коэффициент, учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодных-климатических факторов; v_R – коэффициент вариации прочности на растяжение; t – коэффициент нормативного отклонения.

В пакете асфальтобетонных слоёв за предельное растягивающее напряжение R_N принимают значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета.

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

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}, \quad (9.7)$$

где $\sum N_p$ – расчётное суммарное число приложений расчётной нагрузки за срок службы монолитного покрытия; m – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя; α – коэффициент, учитывающий различие в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузкой, а также вероятность совпадения во времени расчётной (низкой) температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности.

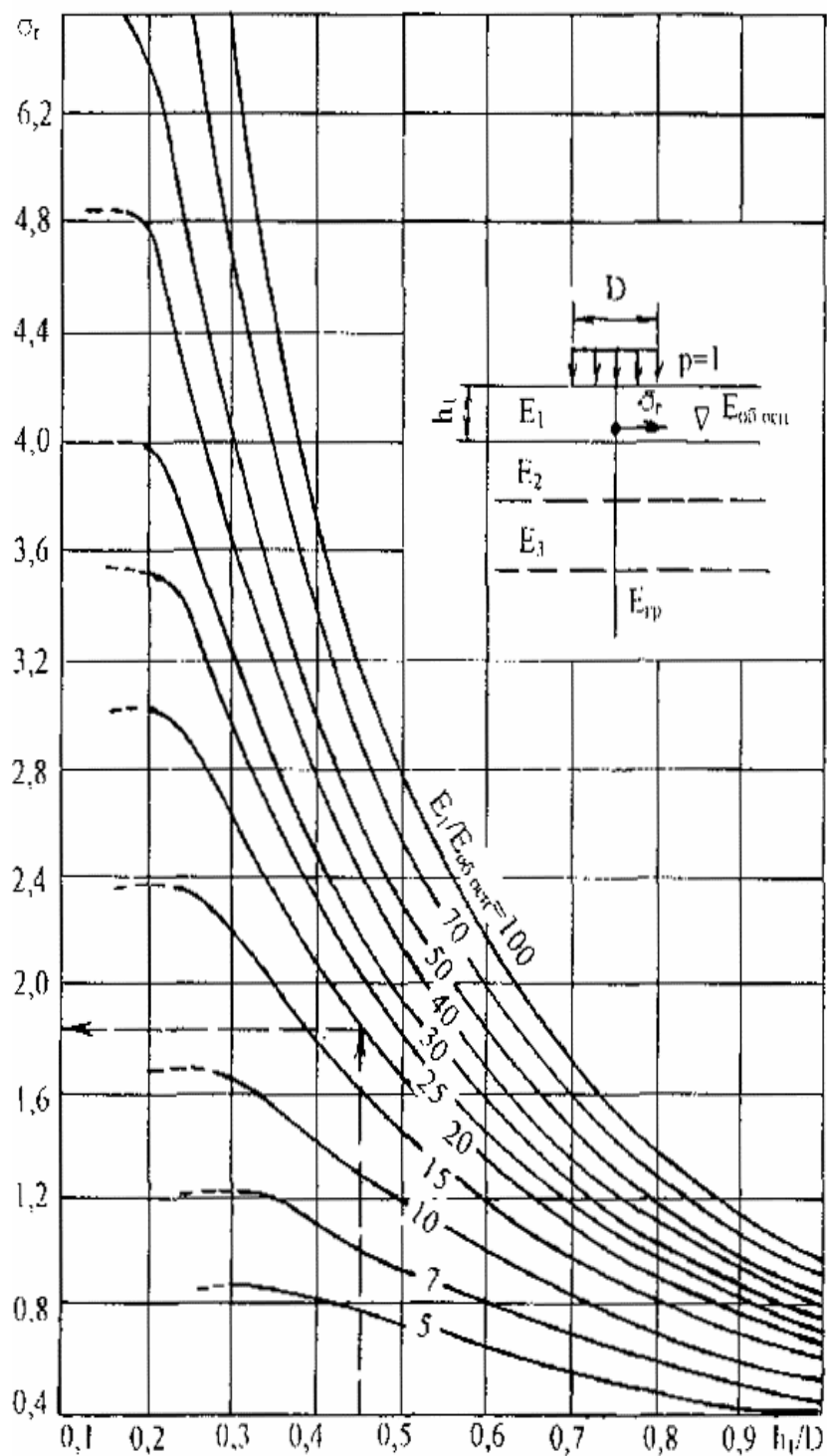


Рисунок 9.1 – Номограмма для определения растягивающих напряжений при изгибе в верхнем монолитном слое двухслойной системы (ОДН 218.046-01, рис. 3.4)

Коэффициент k_2 принимают по табл. 9.1.

Таблица 9.1 – Значения коэффициента k_2 (ОДН 218.046-01, табл. 3.6)

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

Коэффициент вариации прочности на растяжение согласно ОДН 218.046- 01, табл. П.4.1 $v_R = 0,1$.

Для уровня надежности 0,95 коэффициент нормативного отклонения $t=1,71$ (табл. 6.6).

Вычисляют коэффициент прочности по формуле (9.2) и проверяют критерий надёжности (9.1).

Пример 9.1. Рассмотрим алгоритм расчёта на нашем примере (табл. 9.1).

Дорога I-й категории; капитальные дорожные одежды; заданная надежность $K_H = 0,95$.

1. По табл. 5.1 для заданной надёжности принимаем требуемый коэффициент прочности $K_{пр}^{тр} = 1$.

2. Вычисляем по формуле (9.3) толщину пакета асфальтобетонных слоёв – верхнего слоя системы

$$h_b = \sum_{i=1}^2 h_i = 7 + 10 = 17 \text{ см.}$$

3. Находим средневзвешенный модуль упругости верхнего слоя системы

$$E_b = \frac{\sum_{i=1}^2 E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^2 h_i} = \frac{3600 \cdot 7 + 2200 \cdot 10}{17} = 2776 \text{ МПа.}$$

4. Модуль упругости нижнего слоя модели определяем путём приведения слоистой системы к эквивалентной по жёсткости с помощью номограммы на рис. 7.1.

Нам нужно определить $E_{\text{общ}}$ на поверхности слоя из чёрного щебня. Согласно расчётам, выполненным в примере 7.1, $E^{\text{чщ}}_{\text{общ}} = 276$ МПа.

Таким образом, $E_n = E^{\text{чщ}}_{\text{общ}} = 276$ МПа.

Таблица 9.1 – Исходные данные к расчёту дорожных одежд капитального типа

№	Материал слоя	h , см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E , МПа	По усл. сдвиго-уст., E , МПа	Расчёт на растяжение при изгибе			
						E , МПа	R_0 , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-

Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8W_T$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-
---	---	--	----	----	----	---	---	---

5. Определяем растягивающее напряжение от единичной нагрузки $\overline{\sigma}_r$, для чего сначала находим отношения:

$$\frac{h_\epsilon}{D} = \frac{17}{39} = 0,43 \text{ и } \frac{E_b}{E_n} = \frac{2776}{276} = 10,05$$

Затем, по номограмме рис. 9.1 определяем $\overline{\sigma}_r = 1,35$.

6. Расчётное давление принимаем равным $p = 0,8$ МПа; коэффициент $k_b = 0,85$. Тогда расчётное растягивающее напряжение:

$$\sigma_r = 1,35 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 0,92 \text{ МПа.}$$

7. Находим коэффициент для нижнего слоя асфальтобетона

$$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}} = \frac{6,3}{\sqrt[4]{1225700}} = \frac{6,3}{33,27} = 0,19.$$

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе

$$R_N = R_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot (1 - v_R \cdot t) = 7,8 \cdot 0,19 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,1 \cdot 1,71) = 0,98.$$

Вычисляем

$$\frac{R_N}{\sigma_r} = \frac{0,98}{0,92} = 1,06$$

что больше, чем $K_{тр_{пр}} = 1,0$.

Таким образом, выбранная конструкция удовлетворяет условию прочности на изгиб в монолитных слоях.

Задание для самостоятельной работы

На примере алгоритма расчёта по табл. 9.1. Выполнить расчет по индивидуальным данным.

Контрольные вопросы

1. Какой основной критерий прочности используется при расчёте монолитных слоёв на растяжение при изгибе? (Формула 9.1)
2. Что такое коэффициент прочности $K_{пр}$ и как он определяется? (Формула 9.2)
3. Какие слои дорожной одежды относятся к «монолитным» и подлежат расчёту на изгиб?
4. Как определяется толщина верхнего слоя h_v в двухслойной модели при расчёте на изгиб? (Формула 9.3)
5. Что представляет собой расчётное растягивающее напряжение σ_r и по какой формуле оно вычисляется? (Формула 9.5)
6. Какие значения расчётного давления p принимаются для капитальных и облегчённых дорожных одежд?
7. Чему равен коэффициент k_B , учитывающий спаренную нагрузку?
8. Как определяется модуль упругости нижнего слоя E_n в двухслойной модели для расчёта на изгиб? Какой инструмент для этого используется?
9. Объясните, как с помощью номограммы на рис. 9.1 определяется напряжение от единичной нагрузки σ_r . Какие безразмерные параметры для этого нужны?
10. Что такое прочность материала при многократном растяжении R_N и какие факторы учитываются при её расчёте? (Формула 9.6)

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.
2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие

[Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.

3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.

4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10

РАСЧЁТ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ

Расчёт дорожной одежды на морозоустойчивость (зимнее пучение) проводят для неблагоприятных грунтово-гидрологических условий. К ним относятся второй и третий типы местности по увлажнению в I–III дорожно-климатических зонах при наличии пылеватых грунтов в верхней части земляного полотна.



Рисунок 10.1 – Разрыв дорожной одежды в результате пучения грунта
земляного полотна

Пучением называют процесс, который происходит при замерзании грунта. Его характеристикой является *степень морозной пучинистости*.

$$E = \frac{H - h}{h}, \quad (10.1)$$

где H – высота мёрзлого (вспучившегося) грунта, h – высота грунта до замерзания. Степень пучинистости показывает, на какую величину изменяется объём грунта при промерзании.

Пучинистыми называют грунты, у которых степень пучинистости больше 0,01, то есть это такой грунт, который при промерзании на глубину 1 м увеличивается в объёме более чем на 1 см. Классификация грунтов по степени пучинистости приведена в табл. 10.1 (СП 34.13330.2012, табл. В.6; ОДН 219.046-01, табл. П.2.6). В данной классификации выделяют пять групп грунтов.

Непучинистые грунты – грунты, которые не изменяют свой объём и свойства при промерзании-оттаивании, т.е. грунты у которых степень пучинистости $E < 0,01$.

К ним относятся: крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем, галька, гравий, щебень, пески (гравелистые, крупные и средней крупности, крупно- и среднезернистые пески), песчаные смеси, не содержащие глинистых фракций, при любом уровне безнапорных подземных вод. Практически непучинистыми грунтами могут быть мелкие и пылеватые пески и глинистые грунты твёрдой консистенции при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

К *слабопучинистым* грунтам относятся грунты с $0,01 < E < 0,035$. К ним относятся – мелкие и пылеватые пески или пески средней зернистости с небольшими глинистыми включениями при глубоком залегании уровня грунтовых вод.

Расчёт выполняют путём определения величины ожидаемого пучения грунта рабочего слоя земляного полотна и сравнения её с допускаемой для данной конструкции величиной.

Таблица 10.1 – Классификация грунтов по степени пучинистости при замерзании

Группы грунтов	Степень пучинистости	Относительное морозное пучение, %	Грунт
I	Непучинистый	1 и менее	Песок гравелистый с содержанием частиц мельче 0,05 до 2%
			Песок крупный с содержанием частиц мельче 0,05 до 2 %
			Песок средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 до 2 %
II	Слабопучинистый	Свыше 1 до 4	Песок гравелистый с содержанием частиц мельче 0,05 до 15%
			Песок крупный с содержанием частиц мельче 0,05 до 15%
			Песок средней крупности с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %
			Песок мелкий с содержанием частиц мельче 0,05 до 15 %
			Супесь лёгкая крупная
III	Пучинистый	Свыше 4 до 7	Супесь лёгкая
			Суглинок лёгкий
			Суглинок тяжёлый
			Глины

IV	Сильнопучинистый	Свыше 7 до 10	Песок пылеватый
			Супесь пылеватая
			Суглинок тяжёлый пылеватый
V	Чрезмернопучинистый	Свыше 10	Супесь тяжёлая пылеватая
			Суглинок лёгкий пылеватый

Конструкцию считают морозоустойчивой, если соблюдено условие

$$l_{\text{пуч}} \leq l_{\text{доп}}, \quad (10.2)$$

где $l_{\text{пуч}}$ – расчётное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна; $l_{\text{доп}}$ – допускаемое для данной конструкции пучение грунта. Допустимое пучение $l_{\text{доп}}$ принимают по табл. 10.2.

Таблица 10.2 (ОДН 218.046-01, табл. 4.3) – Допустимые значения морозного пучения

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

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

Величину возможного морозного пучения следует определять по формуле:

$$l_{\text{пуч}} = l_{\text{пуч ср}} \cdot K_{\text{УГВ}} \cdot K_{\text{пл}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{нагр}} \cdot K_{\text{вл}}, \quad (10.3)$$

где $l_{\text{пуч ср}}$ – величина морозного пучения при осредненных условиях; $K_{\text{УГВ}}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод (H_y); $K_{\text{пл}}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя; $K_{\text{гр}}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки; $K_{\text{нагр}}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое; $K_{\text{вл}}$ – коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта.

Расчёт ведут в следующей последовательности.

1. Находят глубину промерзания $z_{\text{пр}}$ по формуле

$$Z_{\text{пр}} = Z_{\text{пр(ср)}} \cdot 1,38, \quad (10.4)$$

где $Z_{\text{пр(ср)}}$ – средняя глубина промерзания для данного района, устанавливается при помощи карт изолиний (рис. 10.2).

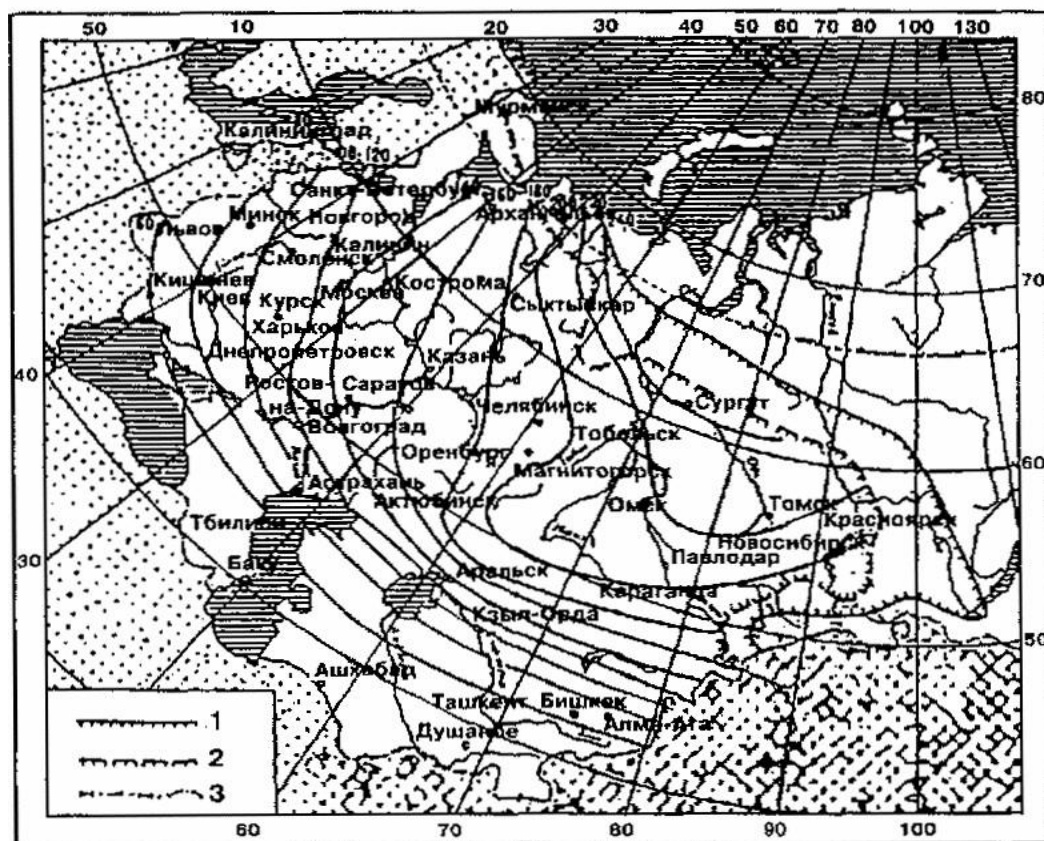


Рисунок 10.2. (ОДН 218.046-01, рис. 4.4) – Карта изолиний глубины промерзания $Z_{\text{пр(ср)}}$ грунтов на территории СНГ: 1 – граница сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов; 2 – то же, островного; 3 – границы стран СНГ

Глубина промерзания грунта в Красноярске приведена в табл. 10.3 [9].

Таблица 10.3 – Средняя глубина промерзания грунта в Красноярске

Грунт	Средняя глубина промерзания, м
Суглинки и глины	1,9
Супеси, пески мелкие и пылеватые	2,31
Пески гравелистые, крупные и средней крупности	2,47
Крупнообломочные грунты	2,8

2. Вычисляют $l_{\text{пуч ср}}$. При глубине промерзания дорожной конструкции $z_{\text{пр}}$ до 2 м $l_{\text{пуч ср}}$ устанавливают по графикам рис. 10.3. При $z_{\text{пр}}$ от 2,0 до 3,0 м $l_{\text{пуч ср}}$ вычисляют

по формуле:

$$l_{\text{пуч ср}} = l_{\text{пуч ср } 2,0} \cdot [a + b (z_{\text{пр}} - c)], \quad (10.5)$$

где $l_{\text{пуч ср } 2,0}$ – величина морозного пучения при $z_{\text{пр}} = 2,0$ м;

$$a = 1,0; \quad b = 0,16; \quad c = 2,0 \text{ при } 2,0 < z_{\text{пр}} < 2,5;$$

$$a = 1,08; \quad b = 0,08; \quad c = 2,5 \text{ при } 2,5 < z_{\text{пр}} < 3,0.$$

3. Устанавливают $K_{\text{УГВ}}$ – коэффициент, учитывающий влияние расчётной глубины залегания уровня грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод (H_y), пользуясь графиком на рис. 10.4. При отсутствии влияния грунтовых или длительно стоящих поверхностных вод следует принимать: для супеси тяжелой и пылеватой и суглинка $K_{\text{УГВ}} = 0,53$; для песка и супеси легкой и крупной $K_{\text{УГВ}} = 0,43$.

4. Находят $K_{\text{пл}}$ – коэффициент, зависящий от степени уплотнения грунта рабочего слоя. В табл. 10.4 приведены минимальные значения коэффициентов уплотнения, допускаемые для рабочего слоя земляного полотна [1, табл. 7.3]. Значения $K_{\text{пл}}$ принимают по табл. 10.5.

Таблица 10.4 – Наименьшие коэффициенты уплотнения для рабочего слоя

Элементы земляного полотна	Глубина расположени я слоя от поверхности покрытия, м	Наименьший коэффициент уплотнения грунта при типе дорожных одежд					
		капитальном			облегченном и переходном		
		в дорожно-климатических зонах					
		I	II, III	IV,V	I	II, III	IV,V
Рабочий слой	До 1,5	0,98-0,96	1,0-0,98	0,98-0,95	0,95-0,93	0,98-0,95	0,95
В рабочем слое выемки ниже глубины сезонного промерзания	До 1,2	-	0,95	-	-	0,95-0,92	-
	До 0,8	-	-	0,95-0,92	-	-	0,9

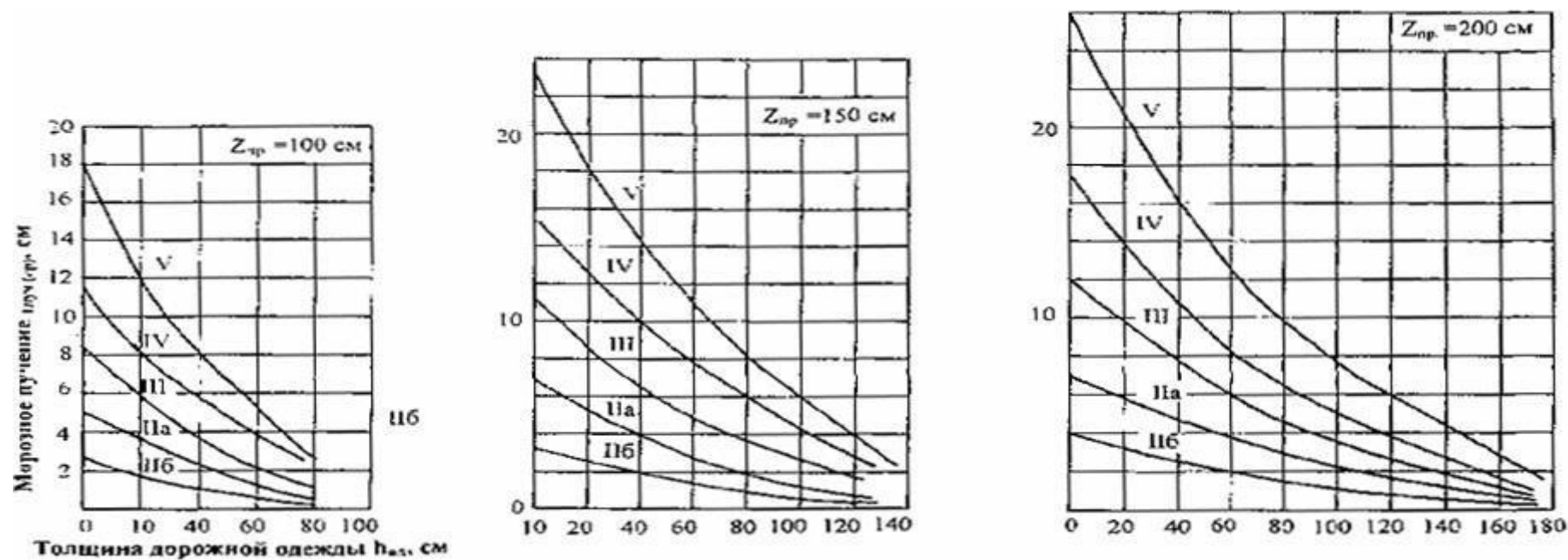


Рисунок 10.3 (ОДН 218.046-01, рис. 4.3). – Графики для определения осредненной величины морозного пучения $I_{пуч.ср}$.

- Примечания:** 1. Кривую (II – V) выбирают по степени пучинистости в соответствии с табл. 10.1.
2. Кривую IIa выбирают при 2-й и 3-й схеме увлажнения рабочего слоя, кривую IIб – при 1-й схеме увлажнения.

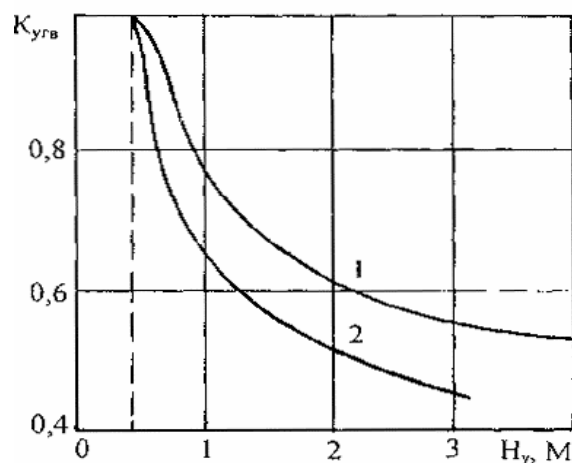


Рисунок 10.4. (ОДН 218.046-01, рис. 4.1) – Зависимость коэффициента $K_{УГВ}$ от расстояния между низом дорожной одежды и расчётным УГВ или УПВ: 1 – супесь тяжёлая и тяжёлая пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь лёгкая и лёгкая крупная

Таблица 10.5 (ОДН 218.046-01, табл. 4.4) – Значения коэффициента $K_{пл}$

Коэффициент уплотнения $K_{упл}$	$K_{пл}$	
	песок пылеватый, супесь лёгкая и пылеватая, суглинки, глины	пески кроме пылеватых, супесь лёгкая крупная
1,03 - 1,00	0,8	1,0
1,01 - 0,98	1,0	1,0
0,97 - 0,95	1,2	1,1
0,94 - 0,90	1,3	1,2
менее 0,90	1,5	1,3

5. Определяют $K_{гр}$ – коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки по табл. 10.6.

Таблица 10.6 – Значения коэффициента $K_{гр}$ (ОДН 218.046-01, табл. 4.5)

Грунт	$K_{гр}$
Пески	1,0
Супеси	1,1
Суглинки	1,3
Глины	1,5

6. Находят $K_{нагр}$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки от собственного веса вышележащей конструкции на грунт в промерзающем слое, по рис. 10.5.

7. Назначают $K_{вл}$ – коэффициент, зависящий от расчётной влажности грунта по табл. 10.7.

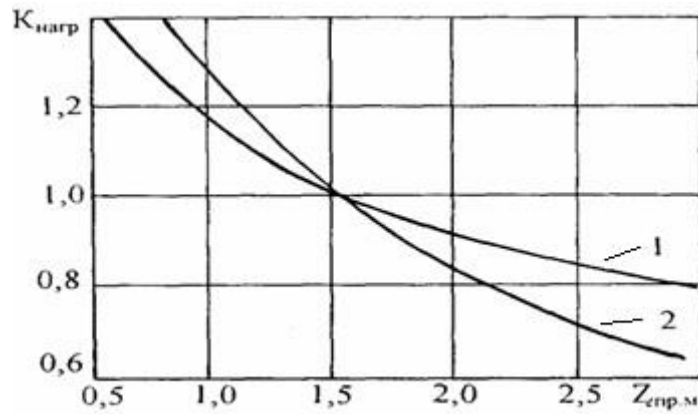


Рисунок 10.5. (ОДН 218.046-01, рис. 4.2) - Зависимость коэффициента $K_{\text{нагр}}$ от глубины промерзания $z_{\text{пр}}$, отмеряемой от поверхности покрытия: 1 – супесь тяжелая и пылеватая, суглинок; 2 – песок, супесь легкая крупная

Таблица 10.7 – Значения коэффициента $K_{\text{вл}}$ (ОДН 218.046-01, табл. 4.6)

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

Если при расчётном сроке службы до 10 лет полученная величина возможного пучения будет превышать требуемую (табл. 10.2), а при сроке службы более 10 лет – 80 % от требуемой, то необходимо рассмотреть вариант устройства морозозащитного слоя. В этом случае предварительно определяют ориентировочно требуемую толщину морозоустойчивой конструкции дорожной одежды, используя графики рис. 10.4. Для этого, зная допустимую величину морозного пучения $l_{\text{доп}}$, рассчитывают среднюю величину морозного пучения $l_{\text{пуч.ср}}$ по формуле:

$$l_{\text{пуч.ср}} = l_{\text{доп}} / K_{\text{УГВ}} K_{\text{пл}} K_{\text{гр}} K_{\text{нагр}} K_{\text{вл}}. \quad (10.6)$$

Затем по графику на рис. 10.4 в соответствии с группой грунта по степени пучинистости определяют $h_{\text{до}}$.

Пример 10.1. Рассчитать на морзоустойчивость дорожные одежды, конструкция которых приведена в табл. 6.1 (табл. 10.8). Дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края. Грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая, коэффициент уплотнения 1,01. В соответствии с табл. 10.1 он относится к IV группе, т.е. сильнопучинистым грунтам.

1. По карте изолиний глубины промерзания (рис. 10.2) или строительному

справочнику [9] определяем среднюю глубину промерзания $z_{\text{пр(ср)}} = 2,31$ м. Тогда по формуле (10.4) $z_{\text{пр}} = 2,31 \cdot 1,38 = 3,19$ м.

2. По графикам на рис. 10.3 устанавливаем величину морозного пучения при $z_{\text{пр}} = 2,0$ м. Тогда $l_{\text{пуч ср } 2,0} = 4,5$ см. Так как глубина промерзания дорожной конструкции $z_{\text{пр}}$ более 2 м, то по формуле (10.5) при $z_{\text{пр}}$ более 2,5 м:

$$l_{\text{пуч ср}} = l_{\text{пуч ср } 2,0} \cdot [a + b (z_{\text{пр}} - c)] = 4,5 \cdot [1,08 + 0,08 \cdot (3,19 - 2,5)] = 5,1 \text{ см.}$$

3. Так как в примере расчёта грунтовые воды залегают глубоко и не влияют на влажность грунта земляного полотна, то для супеси пылеватой принимаем $K_{\text{УГВ}} = 0,53$.

Таблица 10.8 – Конструкция дорожных одежд капитального типа

№	Материал слоя	h, см	γ , кг/см ³	По упруг. прогибу, E, МПа	По усл. сдвигу, E, МПа	Расчет на растяжение при изгибе			
						E, МПа	R ₀ , МПа	α	m
1	Асфальтобетон плотный мелкозернистый, тип А марка I, БНД 90/130	7	0,0024	2400	1200	3600	9,5	5,4	5,0
2	Асфальтобетон пористый марка II, БНД 90/130	10	0,0023	1400	800	2200	7,8	6,3	4,0
3	Чёрный щебень в заклинку фр. 40-70, БНД 90/130	18	0,002	600	600	600	-	-	-
4	Щебёночно-гравийно-песчаная смесь, обработанная цементом марки 20	28	0,002	400	400	400	-	-	-
5	Песок крупный с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%. При динамическом воздействии: $c_N = 0,003$ МПа; $\varphi = 28^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{\text{ст}} = 34^\circ$.	50	0,002	130	130	130	-	-	-

Подстилающий грунт земляного полотна - супесь пылеватая Расчётная влажность: $W_p = 0,8W_t$; При динамическом воздействии: $c_N = 0,003 \text{ МПа}$; $\varphi = 12^\circ$. При статическом воздействии: $\varphi_{ст} = 34^\circ$.	-		32	32	32	-	-	-
--	---	--	----	----	----	---	---	---

4. По заданному коэффициенту уплотнения грунта рабочего слоя 1,01 по табл. 10.5 назначаем $K_{пл} = 1$.

5. По табл. 10.6 коэффициент, учитывающий влияние гранулометрического состава грунта основания насыпи или выемки для супесей $K_{гр} = 1,1$.

6. По графику на рис. 10.5 для супеси пылевой (линия 2) при $z_{пр} = 3,19$ м $K_{нагр} = 0,8$.

7. Из табл. 10.7 для относительной влажности 0,8 $K_{вл} = 1,2$.

8. Находим по формуле (10.3) величину

$$l_{пуч} = l_{пуч\ ср} \cdot K_{УГВ} \cdot K_{пл} \cdot K_{гр} \cdot K_{нагр} \cdot K_{вл} = 5,1 \cdot 0,53 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 3,6 \text{ см.}$$

9. Допускаемое значения пучения в соответствии с табл. 10.2 для капитальных дорожных одежд $l_{доп} = 4$ см. Так как $3,6 < 4$, то условие (10.2) выполняется.

Таким образом, рассматриваемая конструкция дорожной одежды удовлетворяет условию морозоустойчивости.

С целью обеспечения морозоустойчивости дорожных одежд применяют различные специальные мероприятия.

1. Использование непучинистых или слабопучинистых грунтов (табл. 10.1) для сооружения верхней части земляного полотна, находящегося в зоне промерзания.

2. Осушение рабочего слоя земляного полотна (см. ОДН 218.046-01, гл. 5):

- устройство дренажа для увеличения расстояния от низа дорожной одежды до уровня подземных вод.

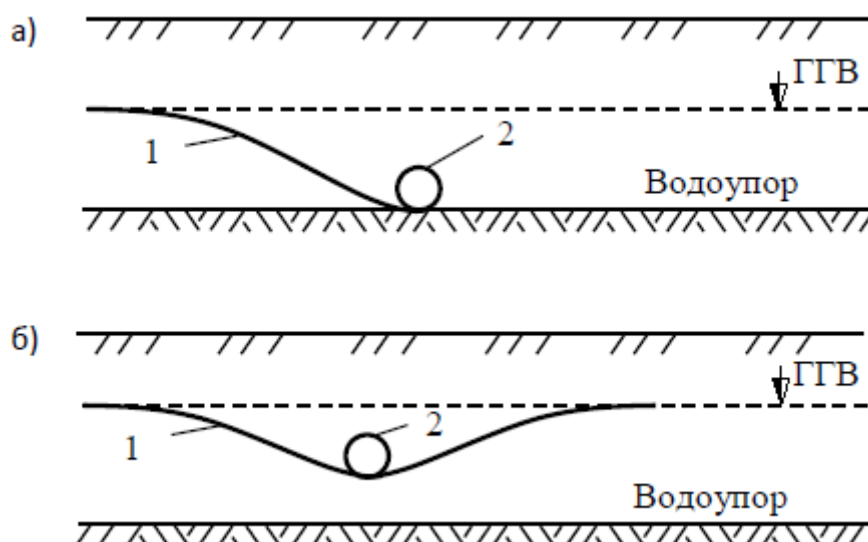


Рисунок 10.6 – Виды дренажа; а – совершенный дренаж; б – несовершенный дренаж; 1 – кривая депрессии; 2 – дренажная труба

- устройство гидроизолирующих или капилляропрерывающих прослоек для перехода от 2-ой или 3-й схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна к 1-й схеме

Прослойки, прерывающие все виды перемещений устраивают из синтетических нетканых материалов (геотекстиля), обработанных органическим вяжущим на пучинистых и сильно пучинистых грунтах земляного полотна (рис. 6.5).



Рисунок 10.7 – Конструкция влагоизолирующей прослойки

Прослойки, прерывающие только капиллярное поднятие, устраивают из крупнозернистых хорошо фильтрующих материалов (гравия, щебня или гравелистого песка). Толщина этих прослоек обычно не менее 15-20 см и должна превышать высоту капиллярного поднятия (рис. 6.6).

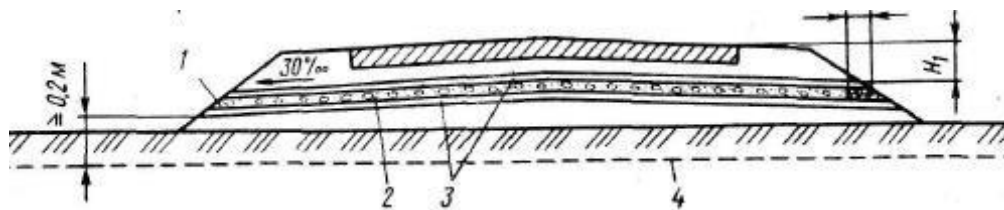


Рисунок 10.8 – Конструкция прослойки, прерывающей капиллярное поднятие; 1 – щебень; 2– крупнозернистая прослойка; 3 – противозаибливающие прослойки; 4 – уровень грунтовых вод

Водонепроницаемые прослойки наиболее целесообразны в IV и V дорожно-климатических зонах, где грунтовые воды расположены глубоко и увлажнение земляного полотна происходит в результате парообразного перемещения. Капиллярно-прерывающие прослойки устраивают преимущественно во II и III дорожно-климатических зонах.

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

4. Устройство теплоизолирующих слоев, снижающих глубину или полностью исключающих промерзание грунта под дорожной одеждой (пенополистирольные плиты).

5. Устройство основания дорожной одежды из монолитных материалов (типа тощего бетона (содержит малое количество цемента) или других зернистых материалов, обработанных минеральным или органическим вяжущим).

Задание для самостоятельной работы

Рассчитать на морозоустойчивость дорожные одежды, конструкция которых приведена в табл. 6.1 (табл. 10.8). Дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края. Грунт рабочего слоя земляного полотна – супесь пылеватая, коэффициент уплотнения 1,01. В соответствии с табл. 10.1 он относится к IV группе, т.е. сильнопучинистым грунтам.

Контрольные вопросы

1. Что такое морозное пучение грунта и как определяется его степень? (Формула 10.1)
2. Какие грунты считаются непучинистыми, а какие сильнопучинистыми? Приведите примеры из Таблицы 10.1.
3. Каково основное условие морозоустойчивости дорожной одежды? (Формула 10.2)
4. Какие допустимые величины морозного пучения $I_{доп}$ установлены для капитальных, облегченных и переходных типов дорожных одежд? (Таблица 10.2)
5. Что такое морозозащитный слой и какова его основная функция?
6. Перечислите основные мероприятия по обеспечению морозоустойчивости дорожных одежд.
7. По какой общей формуле рассчитывается величина ожидаемого морозного пучения $I_{пуч}$? (Формула 10.3) Перечислите все коэффициенты, входящие в неё, и кратко объясните, что каждый из них учитывает.
8. Как определяется расчётная глубина промерзания $z_{пр}$? (Формула 10.4). Что такое $z_{пр(ср)}$ и как её найти?
9. Как определяется величина осредненного морозного пучения $I_{пуч.ср}$? В каких случаях используется формула (10.5) и почему?
10. Объясните, как коэффициент $K_{утв}$ учитывает влияние уровня грунтовых вод. Как его определить с помощью Рисунка 10.4?

Источники информации

1. ОДН 218.046-01 Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М, 2001. – 99 с.
2. Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Жуков, С.В. Копылов; под ред. В.И. Жукова. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 80 с.
3. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуал. редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
4. ГОСТ 9128-2013 Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные,

асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М., ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 54 с.

5. ГОСТ 25607-2009 Смеси щебёночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия.

6. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

8. ГОСТ Р 27.002-2009 Надёжность в технике. Термины и определения.

9. Строительный справочник [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://spravkidoc.ru/strojka/normativnaya-glubina-promerzaniya-grunta-dlya-gorodov-rossii.html>



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ИНСТИТУТ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ИНЖЕНЕРИИ
ДЕПАРТАМЕНТ «СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И ПРОТОТИПИРОВАНИЯ»**

Методические указания по выполнению самостоятельных работ

Для студентов направления
08.04.01 «Строительство»
Направленность профиль «Проектирование, строительство и эксплуатация
автомобильных дорог»

В современный период востребованы высокий уровень знаний, академическая и социальная мобильность, профессионализм специалистов, готовность к самообразованию и самосовершенствованию. В связи с этим должны измениться подходы к планированию, организации учебно-воспитательной работы, в том числе и самостоятельной работы аспирантов. Прежде всего, это касается изменения характера и содержания учебного процесса, переноса акцента на самостоятельный вид деятельности, который является не просто самоцелью, а средством достижения глубоких и прочных знаний, инструментом формирования у аспирантов активности и самостоятельности.

Целью методических рекомендаций является повышение эффективности учебного процесса, в том числе благодаря самостоятельной работе, в которой студент становится активным субъектом обучения, что означает:

- способность занимать в обучении активную позицию;
- готовность мобилизовать интеллектуальные и волевые усилия для достижения учебных целей;
- умение проектировать, планировать и прогнозировать учебную деятельность;
- привычку инициировать свою познавательную деятельность на основе внутренней положительной мотивации;
- осознание своих потенциальных учебных возможностей и психологическую готовность составить программу действий по саморазвитию.

Виды самостоятельной работы студентов

Репродуктивная самостоятельная работа

Самостоятельное прочтение, просмотр, конспектирование учебной литературы, прослушивание лекций, магнитофонных записей, заучивание, пересказ, запоминание, Интернет-ресурсы, повторение учебного материала и др.

Познавательно-поисковая самостоятельная работа

Подготовка сообщений, докладов, выступлений на семинарских и практических занятиях, подбор литературы по дисциплинарным проблемам, написание рефератов, контрольных, курсовых работ и др.

Творческая самостоятельная работа

Написание рефератов, научных статей, участие в научно-исследовательской работе, подготовка дипломной работы (проекта). Выполнение специальных заданий и др., участие в научной конференции.

Организация и контроль самостоятельной работы

Для успешного выполнения самостоятельной работы студентов необходимо планирование и контроль со стороны преподавателей. Аудиторная самостоятельная работа выполняется студентами на лекциях, семинарских занятиях, и, следовательно, преподаватель должен заранее выстроить систему самостоятельной работы, учитывая все ее формы, цели, отбирая учебную и научную информацию и средства (методических) коммуникаций, продумывая роль студента в этом процессе и свое участие в нем.

Вопросы для самостоятельной работы студентов, указанные в рабочей программе дисциплины, предлагаются преподавателями в начале изучения дисциплины. Студенты имеют право выбирать дополнительно интересующие их темы для самостоятельной работы.

Не умаляя значения аудиторной самостоятельной работы, в данных методических рекомендациях акцентируется внимание на проблемах, связанных с внеаудиторной самостоятельной работой и ее организацией. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов (далее самостоятельная работа) – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская деятельность студентов, осуществляемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Она включает в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим, семинарским, лабораторным работам и др.) и выполнение соответствующих заданий;
 - самостоятельную работу над отдельными темами учебных дисциплин в соответствии с учебно-тематическими планами;
 - написание рефератов, докладов, эссе;
 - подготовку ко всем видам практики и выполнение предусмотренных ими заданий;
 - выполнение письменных расчетно-графических работ;
 - подготовку ко всем видам контрольных испытаний, в том числе к комплексным экзаменам и зачетам;
 - подготовку к итоговой государственной аттестации, в том числе выполнение выпускной квалификационной (дипломной) работы (проекта);
 - работу в студенческих научных обществах, кружках, семинарах и др.;
 - участие в работе факультативов, спецсеминаров и т.п.;
 - участие в научной и научно-методической работе кафедры/департамента;
 - участие в научных и научно-практических конференциях, семинарах, конгрессах и т.п.;
 - другие виды деятельности, организуемой и осуществляемой вузом, или кафедрой.
- Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение студентами следующих этапов:
- определение цели самостоятельной работы;
 - конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи;
 - самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи;
 - выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения);
 - планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи;
 - реализация программы выполнения самостоятельной работы.

Методические советы и рекомендации к заданиям

Все типы заданий, выполняемых студентами, в том числе в процессе самостоятельной работы, так или иначе содержат установку на приобретение и закрепление определенного Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования объема знаний и уровня компетенций, а также на формирование в рамках этих знаний некоторых навыков мыслительных операций - умения оценивать, анализировать, сравнивать, комментировать и т.д. Некоторые задания требуют пояснения:

1. Прокомментировать высказывание - объяснить, какая идея заключена в отрывке, о какой позиции ее автора она свидетельствует.
2. Сравнить – выявить сходство и различие позиций по определенным признакам.
3. Обосновать один из нескольких предложенных вариантов ответа – привести аргументы в пользу правильности выбранного варианта ответа и указать, в чем ошибочность других вариантов.
4. Аргументировать (обосновать, доказать, объяснить) ответ – значит: а) оправдать (опровергнуть) некоторую точку зрения; б) обосновать свою точку зрения, опираясь на теоретические или практические обобщения, данные и т.д.
5. Провести анализ – разложить изучаемые явления на составные части, сопоставить их с целью выявления в них существенного, необходимого и определяющего.
6. Тезисно изложить идею, концепцию, теорию – используя материал учебных пособий и другой литературы, кратко, но не в ущерб содержанию сформулировать основные положения учения.

7. Дать характеристику, охарактеризовать явления – значит назвать существенные, необходимые признаки какого-либо явления (положения какой-либо теории) и выявить особенности.

8. Изобразить схематически – значит раскрыть содержание ответа в виде таблицы, рисунка, диаграммы и других графических форм.

Работа с литературой

Важной составляющей самостоятельной внеаудиторной подготовки является работа с литературой ко всем видам занятий: семинарским, практическим, при подготовке к зачетам, экзаменам, тестированию, участию в научных конференциях.

Умение работать с литературой означает научиться осмысленно пользоваться источниками. Прежде чем приступить к освоению научной литературы, рекомендуется чтение учебников и учебных пособий.

Существует несколько методов работы с литературой.

Один из них – самый известный – метод повторения: прочитанный текст можно заучить наизусть. Простое повторение воздействует на память механически и поверхностно. Полученные таким путем сведения легко забываются.

Наиболее эффективный метод – метод кодирования: прочитанный текст нужно подвергнуть большей, чем простое заучивание, обработке. Чтобы основательно обработать информацию и закодировать ее для хранения, важно произвести целый ряд мыслительных операций: прокомментировать новые данные; оценить их значение; поставить вопросы; сопоставить полученные сведения с ранее известными.

Для улучшения обработки информации очень важно устанавливать осмысленные связи, структурировать новые сведения.

Изучение научной, учебной и иной литературы требует ведения рабочих записей.

Форма записей может быть весьма разнообразной: простой или развернутый план, тезисы, цитаты, конспект.

План – первооснова, каркас какой-либо письменной работы, определяющие последовательность изложения материала.

План является наиболее краткой и потому самой доступной и распространенной формой записей содержания исходного источника информации. По существу, это перечень основных вопросов, рассматриваемых в источнике. План может быть простым и развернутым. Их отличие состоит в степени детализации содержания и, соответственно, в объеме.

Преимущество плана состоит в следующем.

Во-первых, план позволяет наилучшим образом уяснить логику мысли автора, упрощает понимание главных моментов произведения.

Во-вторых, план позволяет быстро и глубоко проникнуть в сущность построения произведения и, следовательно, гораздо легче ориентироваться в его содержании.

В-третьих, план позволяет – при последующем возвращении к нему – быстрее обычного вспомнить прочитанное.

В-четвертых, с помощью плана гораздо удобнее отыскивать в источнике нужные места, факты, цитаты и т. д.

Выписки – небольшие фрагменты текста (неполные и полные предложения, отдельные абзацы, а также дословные и близкие к дословным записи об излагаемых в нем фактах), содержащие в себе квинтэссенцию содержания прочитанного.

Выписки представляют собой более сложную форму записей содержания исходного источника информации. По сути, выписки – не что иное, как цитаты, заимствованные из текста. Выписки позволяют в концентрированной форме и с максимальной точностью воспроизвести в произвольном (чаще последовательном) порядке наиболее важные мысли автора, статистические и даталогические сведения. В отдельных случаях — когда это оправданно с точки зрения продолжения работы над текстом – вполне допустимо заменять цитирование изложением, близким к дословному.

Тезисы – сжатое изложение содержания изученного материала в утвердительной (реже опровергающей) форме. Отличие тезисов от обычных выписок состоит в следующем. Во-первых, тезисам присуща значительно более высокая степень концентрации материала. Во-вторых, в тезисах отмечается преобладание выводов над общими рассуждениями. В-третьих, чаще всего тезисы записываются близко к оригинальному тексту, т. е. без использования прямого цитирования. Исходя из сказанного, нетрудно выявить основное преимущество тезисов: они незаменимы для подготовки глубокой и всесторонней аргументации письменной работы любой сложности, а также для подготовки выступлений на защите, докладов и пр. Аннотация – краткое изложение основного содержания исходного источника информации, дающее о нем обобщенное представление. К написанию аннотаций прибегают в тех случаях, когда подлинная ценность и пригодность исходного источника информации исполнителю письменной работы окончательно неясна, но в то же время о нем необходимо оставить краткую запись с обобщающей характеристикой. Для указанной цели и используется аннотация. Характерной особенностью аннотации наряду с краткостью и обобщенностью ее содержания является и то, что пишется аннотация всегда после того, как (хотя бы в предварительном порядке) завершено ознакомление с содержанием исходного источника информации. Кроме того, пишется аннотация почти исключительно своими словами и лишь в крайне редких случаях содержит в себе небольшие выдержки оригинального текста. Резюме – краткая оценка изученного содержания исходного источника информации, полученная, прежде всего, на основе содержащихся в нем выводов. Резюме весьма сходно по своей сути с аннотацией. Однако, в отличие от последней, текст резюме концентрирует в себе данные не из основного содержания исходного источника информации, а из его заключительной части, прежде всего выводов. Но, как и в случае с аннотацией, резюме излагается своими словами – выдержки из оригинального текста в нем практически не встречаются. Конспект – сложная запись содержания исходного текста, включающая в себя заимствования (цитаты) наиболее примечательных мест в сочетании с планом источника, а также сжатый анализ записанного материала и выводы по нему. Для работы над конспектом следует: определить структуру конспектируемого материала, чему в значительной мере способствует письменное ведение плана по ходу изучения оригинального текста; в соответствии со структурой конспекта произвести отбор и последующую запись наиболее существенного содержания оригинального текста — в форме цитат или в изложении, близком к оригиналу; выполнить анализ записей и на его основе – дополнение записей собственными замечаниями, соображениями, "фактурой", заимствованной из других источников и т. п. (располагать все это следует на полях тетради для записей или на отдельных листах-вкладках); завершить формулирование и запись выводов по каждой из частей оригинального текста, а также общих выводов.

Систематизация изученных источников позволяет повысить эффективность их анализа и обобщения. Итогом этой работы должна стать логически выстроенная система сведений по существу исследуемого вопроса.

Необходимо из всего материала выделить существующие точки зрения на проблему, проанализировать их, сравнить, дать им оценку.

Кстати, этой процедуре должны подвергаться и материалы из Интернета во избежание механического скачивания готовых текстов. В записях и конспектах студенту очень важно указывать названия источников, авторов, год издания. Это организует его, а главное, пригодится в последующем обучении. Безусловно, студент должен взять за правило активно работать с литературой в библиотеке не только СКФУ, но и в других, библиотеках, используя, в том числе, их компьютерные возможности (электронная библиотека в сети Интернет).

Методические рекомендации по подготовке к семинарским занятиям, зачетам, экзаменам.

Приступая к изучению новой учебной дисциплины, студенты должны ознакомиться с учебной программой, учебной, научной и методической литературой, имеющейся в библиотеке СКФУ, получить в библиотеке рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, завести новую тетрадь для конспектирования лекций и работы с первоисточниками.

Помимо учебной, научной литературы студентами должны активно использоваться хрестоматии – сборники текстов, иллюстрирующих содержание учебника, а также словари, справочники. В хрестоматиях собраны материалы, которые позволяют расширить кругозор. При подготовке к семинарским занятиям, зачетам, экзаменам следует в полной мере использовать академический курс учебника, рекомендованного преподавателем. Они дают более углубленное представление о проблемах, получивших систематическое изложение в учебнике. Работа с хрестоматией позволит студенту самостоятельно изучить документы, фрагменты источников, другие произведения, разъясняющие сущность изучаемого вопроса.

Основными функциями экзамена, зачета являются: обучающая, оценочная и воспитательная. Экзамены и зачеты позволяют выработать ответственность, трудолюбие, принципиальность. При подготовке к экзамену студент повторяет, как правило, ранее изученный материал. В этот период сыграют большую роль правильно подготовленные заранее записи и конспекты.

Выполнение расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа является важным элементом учебного процесса, предусмотрена учебным планом.

Цель расчетно-графической работы – систематизация и закрепление теоретических знаний, и развитие практических навыков по решению задач в области теплогазоснабжения и вентиляции, выработка навыков анализа данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами расчетно-графической работы являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и методической литературой;
- проведение расчетов показателей по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

Выполнение расчетно-графической работы проводится студентом по конкретному варианту задания, который необходимо уточнить у преподавателя.

Содержанием расчетно-графической работы является краткое изложение теоретического материала к каждой задаче, решение задачи по индивидуальному варианту, включающее в себя расчет основных показателей, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

Расчетно-графическая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Условие задачи.
3. Теоретическая часть по каждой задаче (1-3 страницы).
4. Практическая часть и выводы по каждой задаче.
5. Библиографический список (не менее 5 источников).

Условие задачи оформляется по центру заголовком «Задача №».

Текст условия задачи должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии.

Далее излагается теоретический материал, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение задачи. При необходимости результаты оформляются в виде сводной таблицы.

К каждой задаче необходимо сформулировать выводы, проанализировав полученные результаты.

Расчетно-графическая работа должна выполняться в соответствии с установленным графиком. В процессе выполнения расчетно-графической работы допускаются консультации у преподавателя на практических занятиях.

Выполнение основных этапов контролируется преподавателем и учитывается при проведении текущего контроля по дисциплине и при оценке расчетно-графической работы.

Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты оцениваются отметкой: «зачтено», «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

По курсовым работам (проектам) в обязательном порядке выставляется зачет с оценкой.

Экзамены оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Основные критерии оценивания компетенций:

Отметка «зачтено» ставится студентам, успешно обучающимся по данной дисциплине в семестре и не имеющим задолженностей по результатам текущего контроля успеваемости.

Отметка «не зачтено» ставится студенту, имеющему задолженности по результатам текущего контроля успеваемости по данной дисциплине.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине устанавливает кафедра и отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Ответственность за единообразие требований, предъявляемых на экзаменах, несет заведующий кафедрой. По дисциплинам, изучаемым в течение двух и более семестров, итоговой оценкой является оценка, полученная на последнем экзамене.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.