

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Факультет транспортных коммуникаций  
Кафедра «Автомобильные дороги»

ЭЛЕКТРОННЫЙ  
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

по учебной дисциплине

**«Изыскания и проектирование автомобильных дорог» 2 часть**

Для специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги»

Составитель: **Гатальский Р.К., Зленко Л.В., Адашкевич В.И.**

Минск БНТУ 2021

## **Перечень материалов**

Конспект лекций, материалы для выполнения практических занятий, список экзаменационных вопросов и задач, список литературных источников и технических правовых нормативных актов, методические указания по выполнению курсового проекта, рабочая учебная программа.

## **Пояснительная записка**

### **Цели ЭУМК:**

- повышение эффективности образовательного процесса специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» 2 часть;
- внедрение перспективных технологий хранения и передачи информации в электронном виде.
- обеспечение открытости и доступности образовательных ресурсов путем размещения ЭУМК в локальной сети университета.

Электронный учебно-методический комплекс содержит:

1. Теоретический раздел
  - 1.1 Конспект лекций «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» 2 часть.
2. Практический раздел
  - 2.1 Материалы для практических занятий по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» 2 часть.
3. Раздел контроля знаний
  - 3.1 Вопросы и задачи к экзамену
4. Вспомогательный раздел
  - 4.1 Список технических нормативных правовых актов и литературных источников
5. Раздел по выполнению курсового проекта
  - 5.1 Методические указания по выполнению курсового проекта

### **Рекомендации по организации работы с ЭУМК:**

Необходим IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации.

Для дополнительного лучшего освоения автоматизированного расчёта дорожных конструкций при проведении практических занятий необходим программный комплекс КРЕДО RADON от компании СП «Кредо-Диалог».

## Содержание ЭУМК

1. **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ» 2 ЧАСТЬ. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ..... 3**
2. **ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ «ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ» 2 ЧАСТЬ, ДЛЯ СТУДЕНТОВ ДНЕВНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1-70 03 01..... 93**
3. **ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЭКЗАМЕН ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ» 2 ЧАСТЬ, ДЛЯ СТУДЕНТОВ ДНЕВНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1-70 03 01..... 122**
4. **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЕ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ ДЛЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ» 2 ЧАСТЬ, ДЛЯ СТУДЕНТОВ ДНЕВНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1-70 03 01..... 124**
5. **ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ (ЛИТЕРАТУРА И НОРМАТИВЫ) ДЛЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ИЗЫСКАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ» 2 ЧАСТЬ, ДЛЯ СТУДЕНТОВ ДНЕВНОЙ И ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1-70 03 01..... 125**

**Конспект лекционного материала по дисциплине «Изыскания и проектирование автомобильных дорог» 2 часть.  
Конструирование и расчёт дорожных одежд**

**Содержание:**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИЗЫСКАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ» 2 ЧАСТЬ. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД.....	3
РАЗДЕЛ 1 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД.....	5
Тема 1. Дорожные одежды. Назначение, характеристика и классификация. ....	5
Тема 2. Материалы для устройства конструктивных слоев дорожных одежд. Виды свойства и характеристики. ....	8
2.1 Виды материалов для устройства конструктивных слоев дорожных одежд.....	8
2.2 Физико-механические свойства материалов дорожных одежд. ....	8
2.3 Расчетные характеристики материалов и методы их определения. ....	14
Тема 3. Факторы, влияющие на работу дорожных одежд.....	21
3.1 Влияние погодно-климатических факторов на работу дорожной.....	21
3.2 Транспортные нагрузки.....	23
3.3 Деформация и разрушение дорожных одежд. Причины их появления ..	32
3.4 Учет надежности при конструировании и расчете дорожных одежд.....	35
Тема 4. Основные принципы конструирования нежестких дорожных одежд .....	39
4.1 Понятие об эквивалентных слоях. ....	39
4.2 Методика выбора материалов для устройства конструктивных слоев...40	
4.3 Основные принципы конструирования нежестких дорожных одежд.....	42
Тема 5. Расчет нежестких дорожных одежд.....	44
5.1 Основные положения и критерии расчета нежестких дорожных одежд44	
5.2 Расчет дорожной одежды по критериям упругого прогиба.....	45
5.3 Методика оптимизации конструкции дорожной одежды.....	47
5.4 Расчет грунта земляного полотна и несвязных слоев оснований на сдвигоустойчивость.....	48
5.5 Расчет монолитных слоев на устойчивость усталостным деформациям от транспортных нагрузок. ....	51
5.6 Расчет сдвигоустойчивости слоев покрытия.....	53
5.7 Проверка устойчивости монолитных слоев к усталостным деформациям от действия транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов.....	56
5.8 Расчет дренажного слоя(осушения д.о.).....	59
5.9 Морозоустойчивость д.о. Расчет толщины морозозащитного слоя.....	61
5.10 Конструирование проезжей части и составления карточки д.о .....	62

Тема 6. Конструирование и расчет д.о. при реконструкции и капитальном ремонте.....	63
6.1 Способы реконструкции з/п и проезжей части.....	63
6.2 Диагностика материала дорожного покрытия и дорожной одежды.....	64
6.3 Определение общего эквивалентного модуля упругости дорожной одежды.....	66
6.4 Мероприятия по борьбе с отраженными дефектами .....	67
Тема 7. Расчёт дорожных одежд при капитальном ремонте и реконструкции ....	77
Тема 8. Конструирование и расчет дорожной одежды при применении метода холодного ресайклинга.....	80
Тема 9. Зарубежные методы расчета жестких дорожных одежд.....	84
Тема 10. Конструирование и расчет жестких дорожных одежд.....	86
10.1 Конструирование жестких д.о. ....	86
10.2 Расчет жестких д.о. на температурные воздействия.....	88
10.3 Расчет жесткой д.о. на действие транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов.....	90
10.4 Особенности реконструкции и капитального ремонта жестких дорожных одежд.....	92

# Раздел 1 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

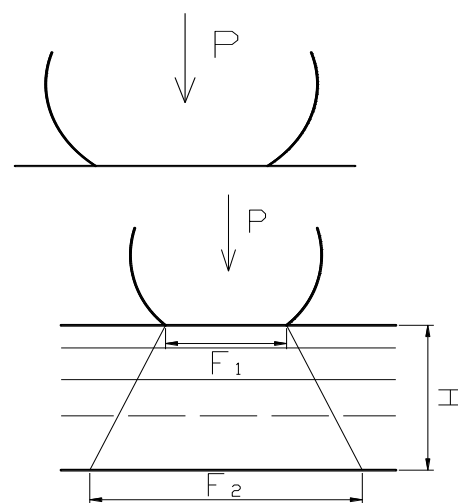
## Тема 1. Дорожные одежды. Назначение, характеристика и классификация.

*Дорожная одежда* – это слоистая система, предназначенная для перераспределения давления от транспортной нагрузки и ее снижения на грунт земляного полотна до допустимых уровней в пределах расчетного срока эксплуатации.

Дорожная одежда вместе с грунтом называется *дорожной конструкцией*, на мостах – *мостовое полотно*.

$$P < [P_{дон}],$$
$$[P_{дон}] = 0,005 \div 0,01 \text{ МПа},$$
$$P \rightarrow 0,5 \div 0,9 \text{ МПа}.$$

$$F_2 \gg F_1$$

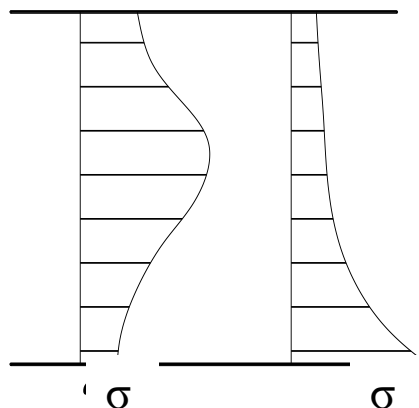
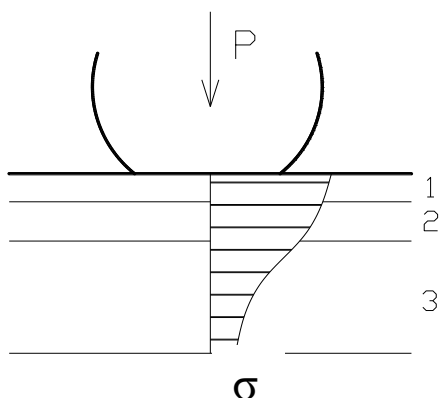


В конструкции дорожной одежды выделяют **3 группы слоев**:

**1. Покрытие.** Предназначено для непосредственного восприятия действия транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов, а также распределения нагрузки и передачу ее на основание.

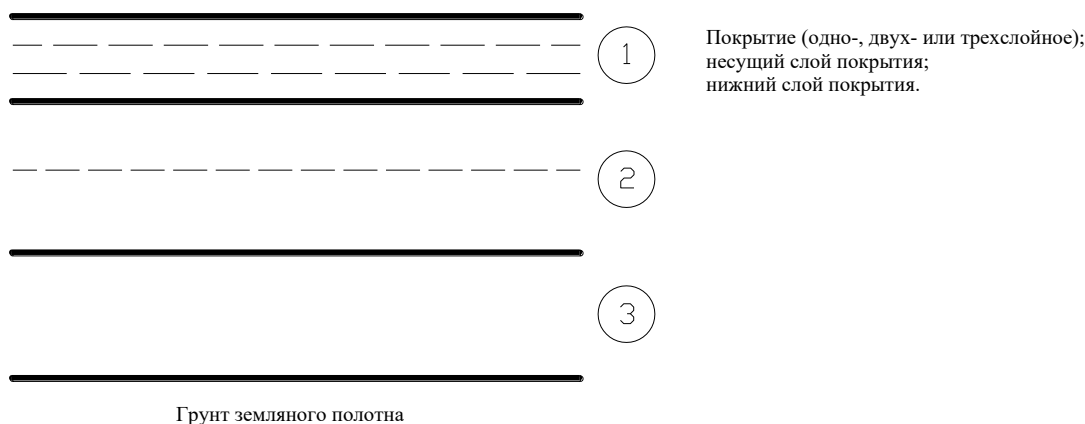
Верхний слой – слой износа, периодически возобновляется.

Для одно- и двухслойных покрытий – традиционная схема, для трехслойного покрытия – другая.



**2. Основание.** Может быть одно- или двухслойным. Верхний слой устраивают из укрепленных материалов, т.е. содержащих вяжущее. Нижний слой может быть неукрепленным.

**3. Дополнительный слой основания (подстилающий слой).**



Основание и подстилающий слой предназначены для дальнейшего перераспределения транспортной нагрузки и доведения давления на грунт до допустимых параметров.

Подстилающий слой выполняет также функцию дренирующего и морозозащитного слоев.

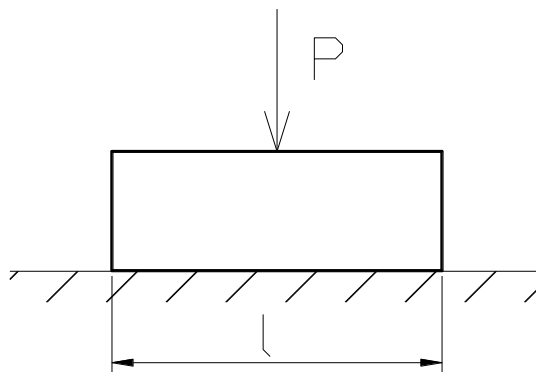
Дренирующий слой отводит воду от верхней части земляного полотна и тем самым повышает его прочность.

Морозозащитный слой способствует предотвращению пучин. Устраивается из песка с коэффициентом фильтрации  $K_f > 1\text{м/сут}$ , поскольку дренирование и защита от пучинообразования требуется не всегда, этот дополнительный слой может отсутствовать в зависимости от вида грунтов земляного полотна.

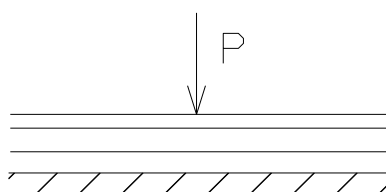
В зависимости от вида материала покрытия и принятой методики расчета дорожные одежды делятся на **жесткие и нежесткие (типы):**

1. Покрытия **жестких** дорожных одежд устраивают из цементобетона и его разновидностей. Покрытие может быть монолитным и сборным.

Рассчитывают жесткие дорожные одежды как плиты конечных размеров на упругом основании.



2. К **нежестким** дорожным одеждам относятся все остальные. Нежесткие дорожные одежды рассчитываются как слоистая система бесконечных размеров на упругом основании.



В зависимости от вида материала покрытия, его качеств и сроков службы выделяют

**4 типа дорожной одежды:**

1. дорожная одежда с усовершенствованным **капитальным** типом покрытия (к ним относятся жесткие дорожные одежды, покрытия из горячего асфальтобетона марки 1 и 2, щебеночно-мастичного и литого асфальтобетона; срок службы 9-15 лет);
2. дорожная одежда с усовершенствованным **облегченным** типом покрытий (из горячего асфальтобетона марки 3, из теплого и холодного асфальтобетона; срок службы 4-10 лет);
3. дорожная одежда **переходного** типа имеет покрытие из щебеночной или песчано-гравийной смесей; срок службы 2-6 лет;
4. дорожная одежда **низшего** типа имеет покрытие из грунтов, укрепленных вяжущим, может иметь добавки щебня или другие структурно-улучшающие добавки.



## **Тема 2. Материалы для устройства конструктивных слоев дорожных одежд. Виды свойства и характеристики.**

**2.1 Виды материалов для устройства конструктивных слоев дорожных одежд.**

**2.2 Физико-механические свойства материалов дорожных одежд.**

**2.3 Расчетные характеристики материалов и методы их определения.**

**2.1 Виды материалов для устройства конструктивных слоев дорожных одежд.**

### **Материалы для устройства покрытия.**

Верхний слой при традиционной схеме покрытия устраивается из плотных горячих асфальтобетонных смесей либо из щебеночно-мастичных и литых асфальтобетонов.

Несущий слой устраивается из многощебенистых пористых смесей.

Нижний слой – из пористых или высокопористых асфальтобетонных смесей.

В случае экстремального характера распределения жесткостей верхний слой устраивается из литых или щебеночно-мастичных мелкозернистых смесей, несущий – из щебеночно-мастичных крупнозернистых смесей или плотных смесей, нижний слой – из плотных песчаных смесей.

Характеристики и свойства асфальтобетонных смесей должны соответствовать СТБ 1033-2016, ТУ «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон для устройства дорожных покрытий на городских улицах».

Цементобетонные покрытия устраиваются из тяжелого дорожного цементобетона с аркой не ниже В20 и морозостойкостью не ниже F400.

Для верхних слоев основания применяются щебеночные и песчано-гравийные смеси, обработанные вяжущим, т.е. битумными эмульсиями, битумом, цементом и т.д.

Нижние слои основания и однослойные основания могут устраиваться из щебеночных и песчано-гравийных смесей, из щебня, укрепленного асфальтогранулятом, либо щебень заклиненный песчано-цементной смесью.

Подстилающий слой устраивается из песков.

Материалы, которые содержат вяжущее, называются **монолитными**, а не имеющие вяжущих, называются **дискретными (дисперсными)**.

### **2.2 Физико-механические свойства материалов дорожных одежд.**

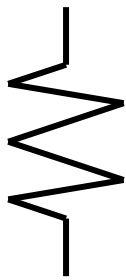
Материалы слоев дорожной одежды практически все обладают **реологическими свойствами**. Особенно это относится к материалам, содержащим битум. Наличие реологических свойств приводит к ситуации, когда прочностные и деформационные показатели непостоянны, а зависят от температуры, времени, действия нагрузок,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

Различают **простые** и **сложные** реологические свойства:

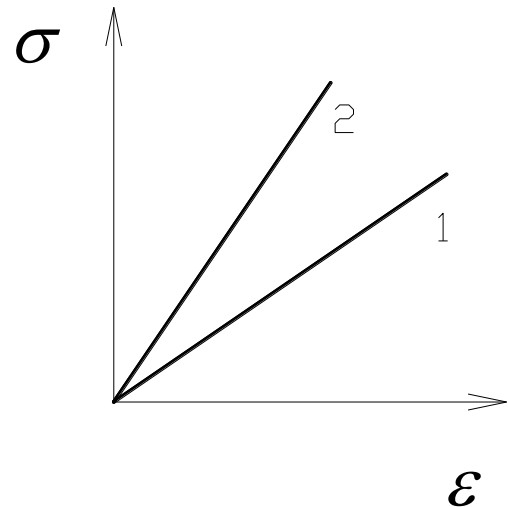
1. **упругость**, т.е. свойство материалов восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после ликвидации действия нагрузок;

$$\sigma = E \cdot \varepsilon,$$

$$E_2 > E_1.$$

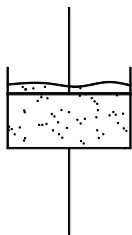


Пружина

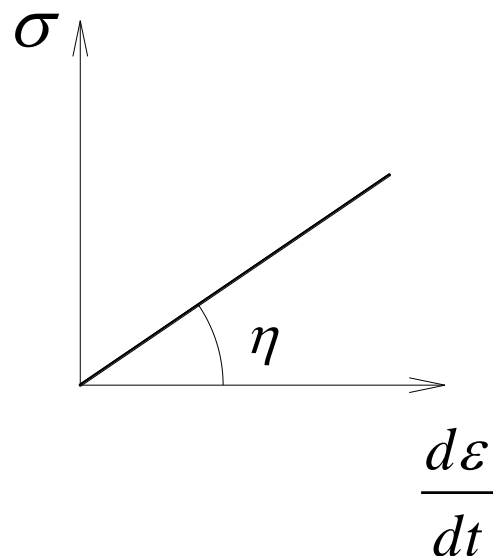


2. **вязкость** – свойство материала оказывать сопротивление перемещению одной его части относительно другой с рассеянием энергии;

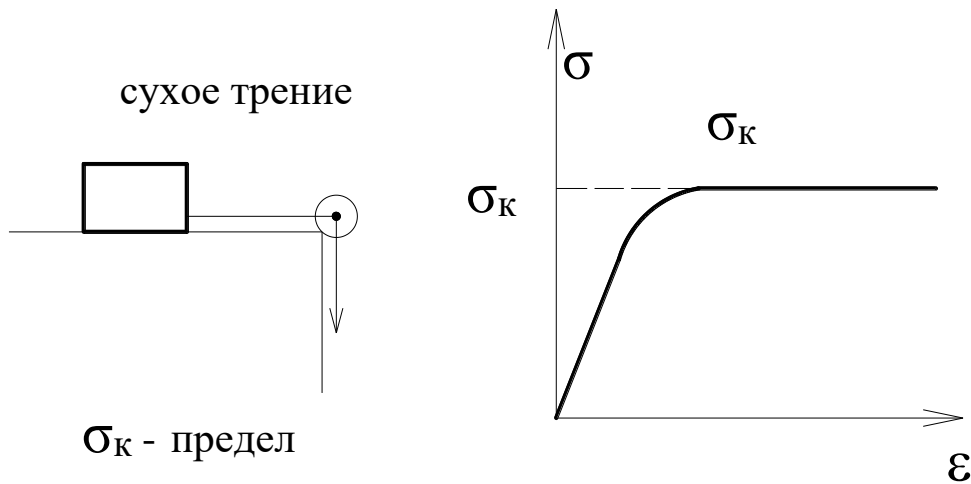
$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt}.$$



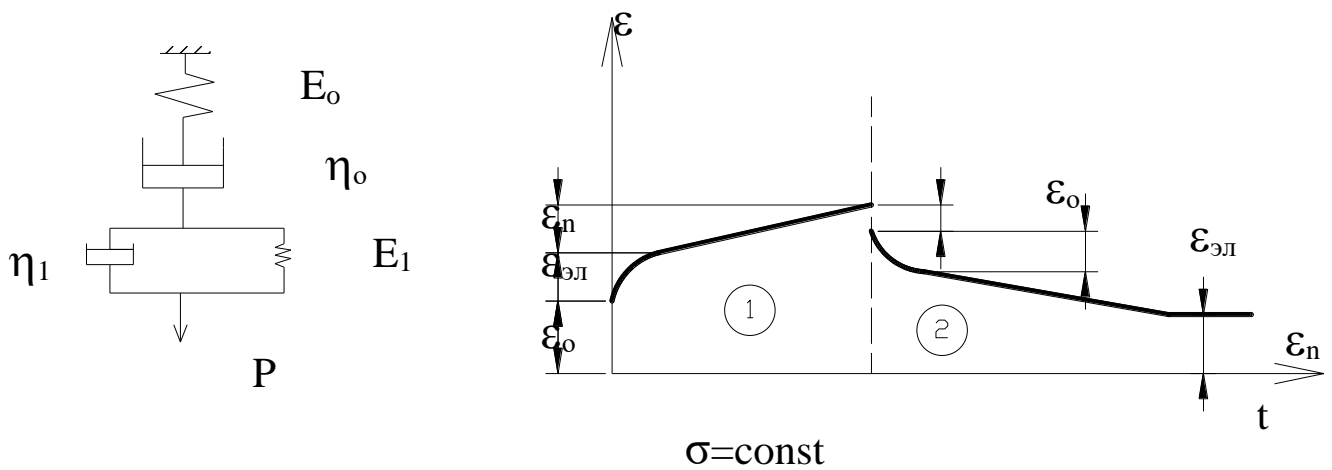
Поршень



3. **пластичность** – это свойство резко увеличивать деформацию после превышения определенного напряжения.



Под действием постоянной нагрузки деформируются следующим образом.



1. Область нагружения;
2. Область разгружения.

$\epsilon_0$ - условно-мгновенная упругая деформация,  $\epsilon_0 = \sigma / E_0$  ;

$\epsilon_{эл}$  - эластическая деформация (упруго-запаздывающая) непостоянная и разрывается во времени,  $\epsilon_{эл}^{\max} = \sigma / E_1$  ,  $\epsilon_{эл} = f(t)$  ;

$\epsilon_n$ - вязко-пластическая деформация, необратима:

$$\epsilon_n = f(\eta_1) = \left(\frac{\sigma}{\eta_1}\right) \cdot t$$

$$\epsilon_y = \epsilon_0 + \epsilon_{эл}$$

$$E = f(t) = \sigma / \varepsilon_y,$$

$$\varepsilon_y = f(t).$$

Модуль упругости дорожно-строительных материалов величина не постоянная, а является функцией  $f(t)$ . Чем больше время действия нагрузки, тем меньше модуль упругости. Чем ниже температура, тем больше модуль упругости, т.е. температура тоже влияет. В целом, температура и время взаимообращающиеся вещи.

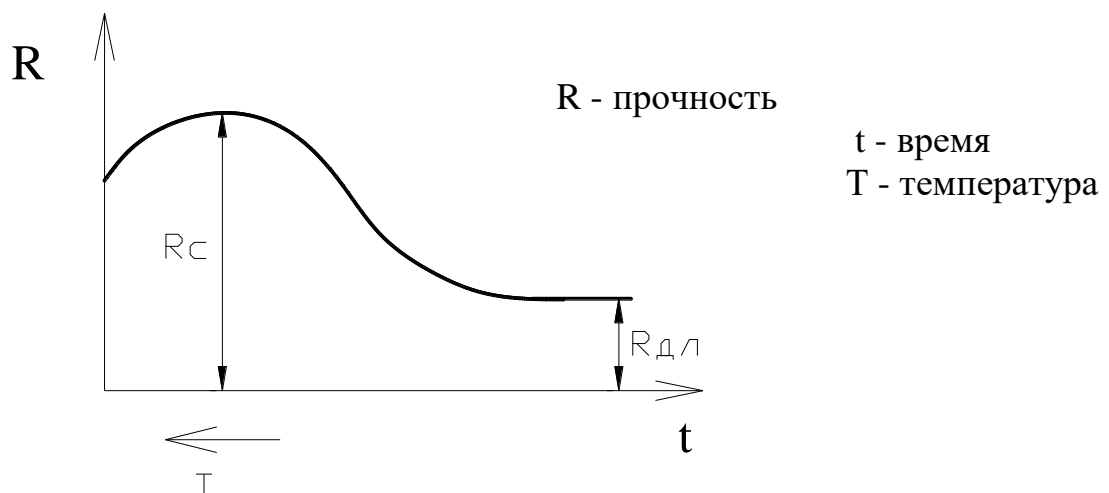
Модуль упругости ( $E$ ) является деформационной характеристикой материала, кроме модуля упругости в качестве деформационной характеристики используется понятие модуля релаксации ( $E_t$ ). Модуль релаксации учитывает кроме упругой части деформации еще и вязкопластичную часть, т.е. всю деформацию материала.

$$E_t = \varepsilon_o + \varepsilon_{эл} + \varepsilon_m = f(t)$$

Кроме деформационных свойств, материал обладает прочностными свойствами, т.е. **прочностью**.

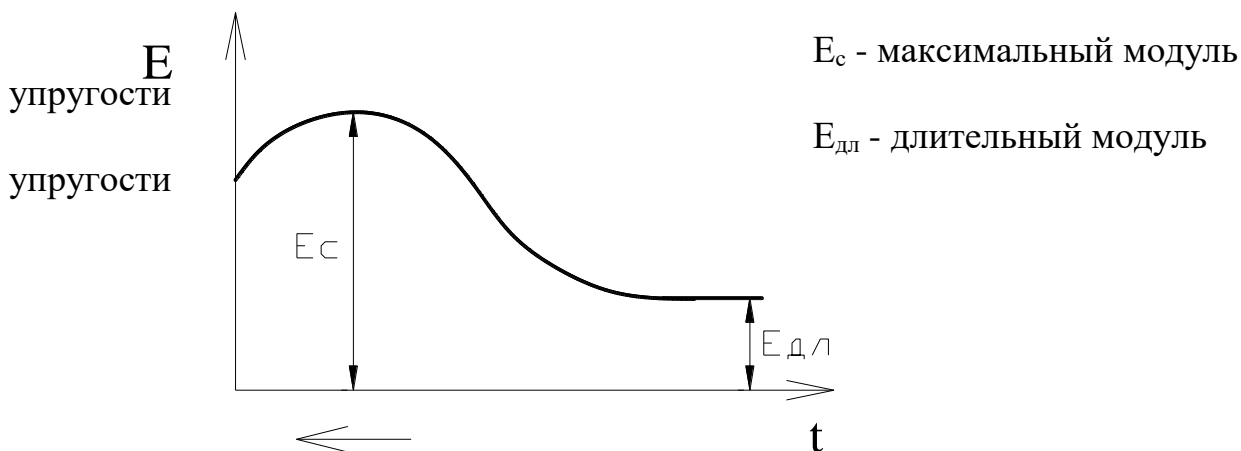
**Прочность** – способность материала выдерживать определенный уровень нагрузки без разрушения (разделения на части).

Наличие реологических свойств приводит к сложной зависимости прочности от температуры и времени нагружения. Эта зависимость имеет следующий вид:

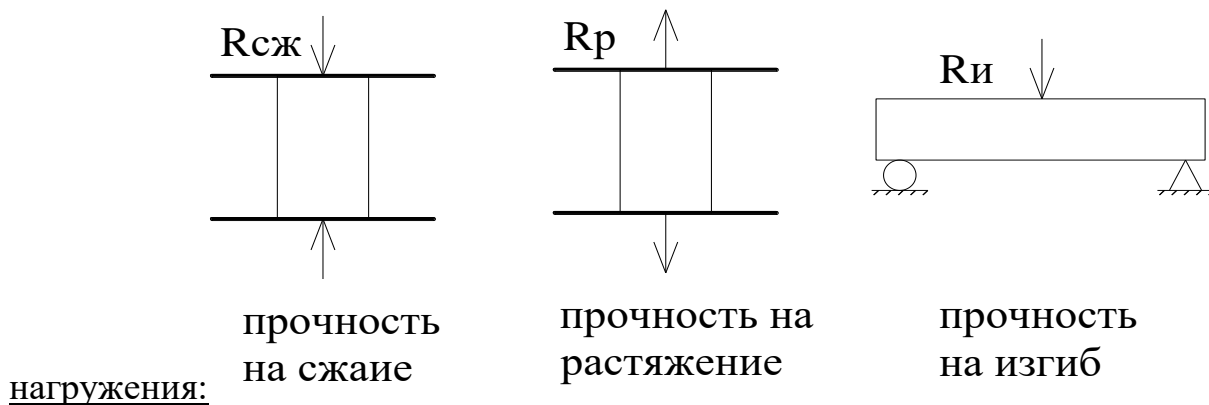


На данной зависимости можно выделить два параметра: максимальную прочность  $R_c$  (максимально возможная предельно-структурная прочность) и минимальную прочность  $R_{дл}$  - длительная.

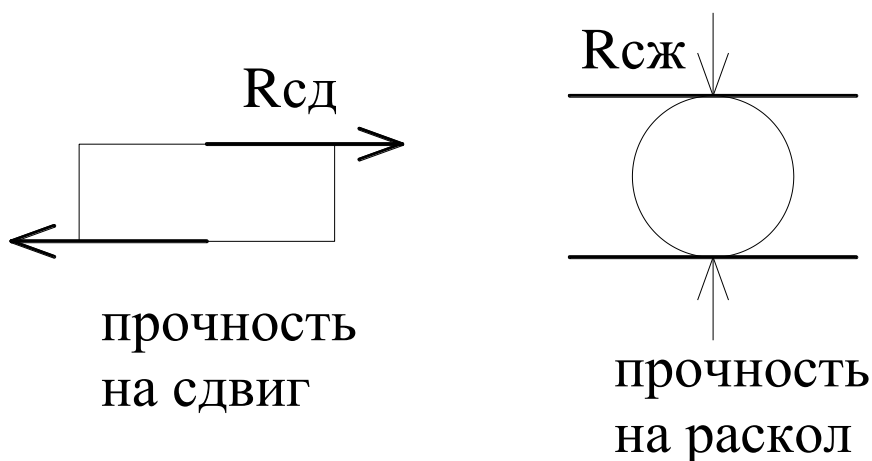
Такая же зависимость наблюдается и для модуля релаксации ( $E_t$ ).



Влияние температуры и времени нагружения сказывается на показателях прочности при различных видах напряженного состояния и режимах



Дополнительно определяется прочность на сдвиг и на раскол:



Данные показатели зависят не только от времени действия нагрузки, но и вида напряженного состояния.

$$R_{сж} \neq R_p \neq R_{и}$$

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

**Дискретные** – щебень, песок, гравий.

**Однородные** - сталь.

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

В общем случае прочность материала можно представить в виде:

$$R = \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi + R_c \left( \frac{E_t + E_{дл}}{E_c} \right),$$

где  $\sigma$  - нормальные напряжения в структуре материала по площадке разрушения;

$\phi$  - угол внутреннего трения материала;

$R_c$  – максимальная структурная прочность;

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

$E_{дл}$  – длительный модуль упругости;

$E_c$  – максимальный модуль упругости.

В формуле первое слагаемое – составляющая прочности, связанная с зернистой компонентой материала, второе слагаемое – составляющая, связанная с вяжущим веществом.

На практике в отдельных случаях второе слагаемое для простоты заменяют показателем силы внутреннего сцепления.

$$R = \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi + C \quad \text{– закон Кулона,}$$

где  $C$  – зависит от температуры  $T$  и времени  $t$  действия нагрузки.

Таким образом, для материалов конструктивных слоев дорожных одежд характерен спектр свойств, характеризующих его прочность и **деформативность**. В целом можно выделить следующие группы **свойств**:

1) **Деформационные**, к ним относятся модуль упругости материала  $E = f(t, T)$ , модуль релаксации  $E_t = f(t, T)$ , коэффициент поперечной деформации (для упругих тел – коэффициент Пуассона);

2) **Прочностные**, к ним относятся прочность материалов на сжатие, растяжение, изгиб, сдвиг, раскол –  $R_{сж}$ ,  $R_p$ ,  $R_{и}$ ,  $R_{сд}$ ,  $R_{ск}$ ; угол внутреннего трения  $\phi$  – он характеризует влияние зернистой составляющей структуры материала;  $C$  – сила внутреннего сцепления, характеризующая влияние вяжущего вещества;  $R_c$  – максимальная

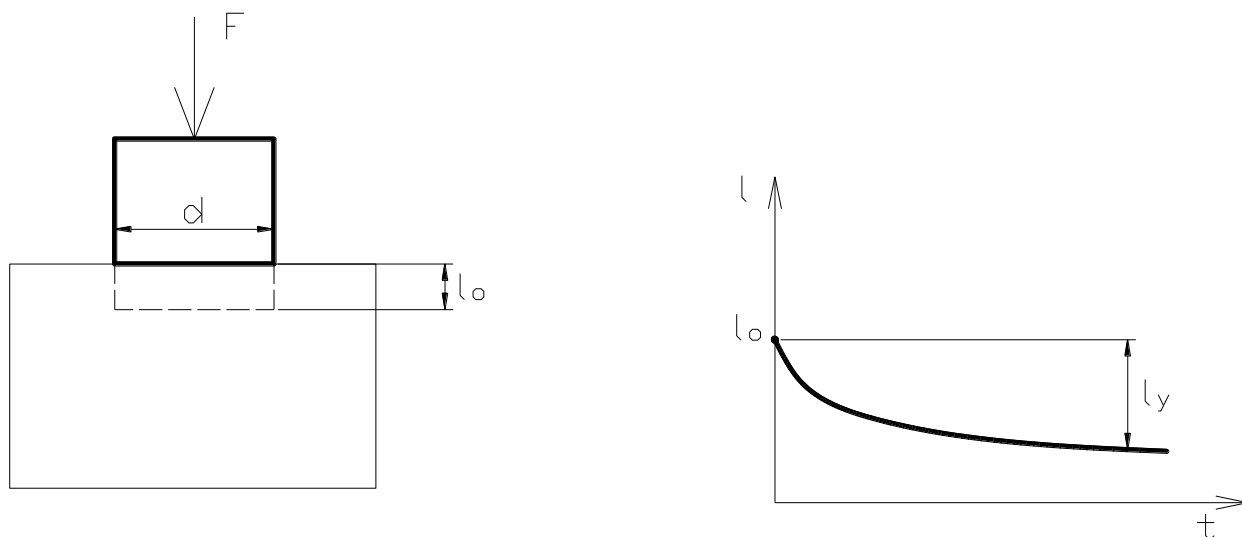
структурная прочность, являющаяся важнейшей константой материала,  $R_c$  также будет различной для различных видов напряженного состояния.

### 2.3 Расчетные характеристики материалов и методы их определения.

Для правильного расчета дорожной одежды необходимо знать комплекс выше указанных прочностных и деформационных характеристик.

Определение прочностных и деформационных свойств конструкционных материалов на практике является сложной задачей, поскольку как было отмечено, эти свойства не постоянны, зависят от температуры, режима нагружения, микро- и макроструктуры материала.

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



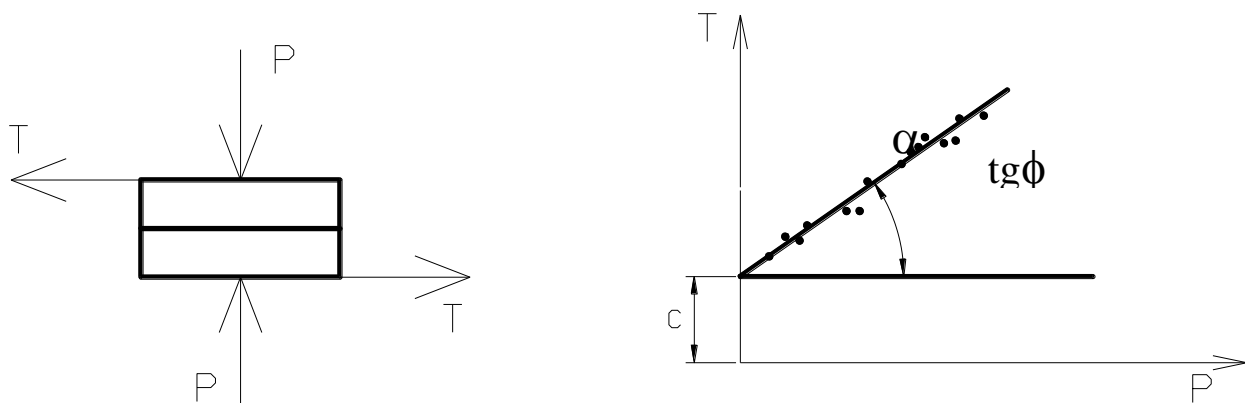
Модуль упругости определяют как:

$$E = \frac{P \cdot d \cdot (1 - \mu^2)}{l_y},$$

где  $P$  – удельное давление на штампе,  $P = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}}$ .

Прочностные характеристики в зернистых материалах ( $\phi$ ,  $C$ ) обычно определяют методом **плоско-параллельного сдвига**. К образцу материала

прикладывают нормальную нагрузку  $P$  и определяют сдвигающую силу  $T$ , строят график зависимости.

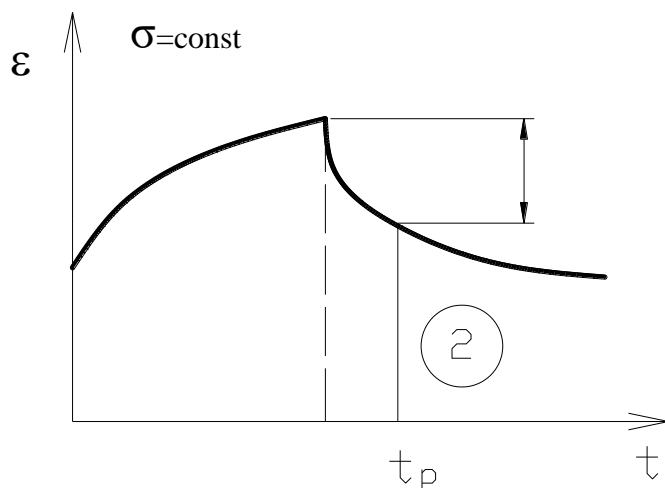


Таким образом получают **деформационные** характеристики  $E$  и **прочностные**  $\phi, c$ .

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

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

Модель упругости монолитных материалов можно определить методами статического и динамического нагружения. При статическом методе строят зависимость деформации от времени при постоянном напряжении (см. выше).



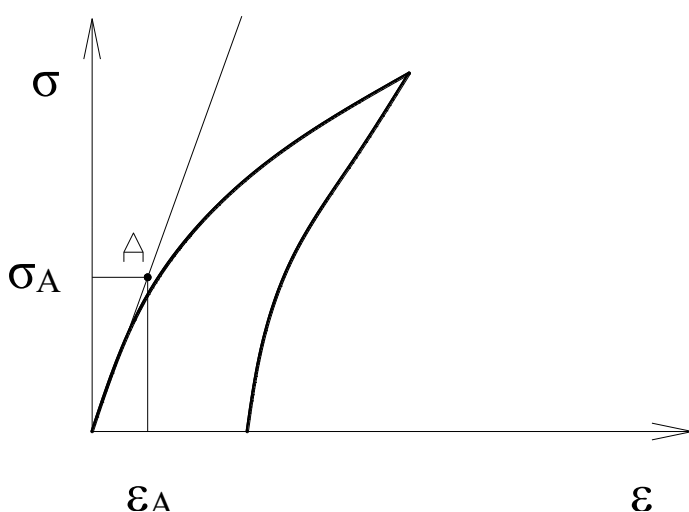
На кривой разгрузки 2 для расчетного времени действия нагрузки  $t_p$  находят упругую часть деформации



$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_y} \cdot K,$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий вид напряженного состояния (сжатие, изгиб и т.д.), а также размеры и форму испытываемых образцов.

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



$$E = \frac{\sigma_A}{\varepsilon_A} \cdot K$$

Для определения прочностных свойств также в основном используют вышеуказанные испытательные машины, строят такую же диаграмму.

Показателю прочности соответствуют максимальный уровень напряжений. Если в дорожной одежде работа материала предусматривается только упругой стадией. То в качестве показателя прочности принимают предел упругости  $\sigma_A$ .

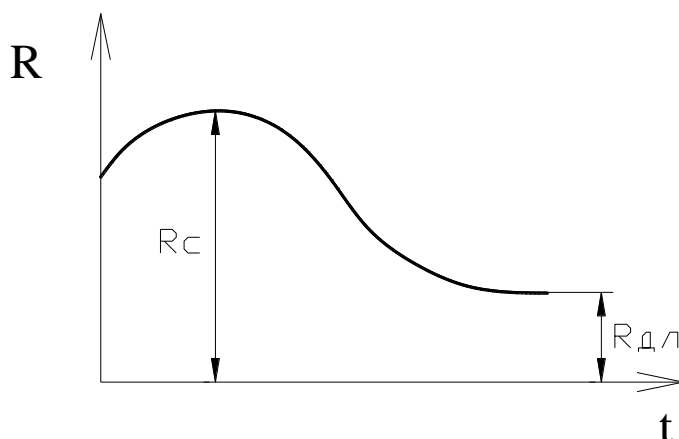
Для определения модуля упругости могут использоваться некоторые методы, основанные на резонансно-акустическом подходе (измерение скорости ультразвука) или измерений сопротивления материала проникновению инденторов (шарики, цилиндры и т.д.).

**Во всех случаях измерения прочностных и деформационных характеристик монолитных материалов производят при расчетной температуре  $T$ , расчетном времени нагружения  $t_p$  (статический метод) либо расчетной скорости деформации  $V_d$  (динамический метод).**

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

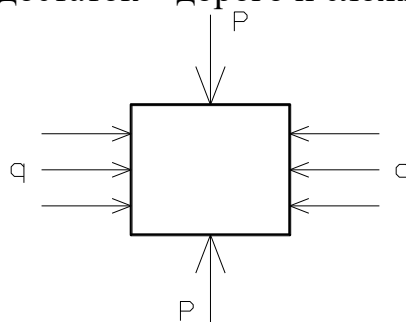
Упрощенная методика отражена в СТБ 1415-2003 «Бетоны на органогидравлических вяжущих. Технические условия» и ТКП 45-3.03-3-2004 «Проектирование дорожной одежды улиц и дорог населенных пунктов».

Испытания проводятся при расчетной температуре  $t=10,0^{\circ}\text{C}$  и скорости деформирования  $V_0=3\text{мм/мин}$ . Также проводятся испытания при  $t=15,0^{\circ}\text{C}$  и двух скоростях нагружения: 3мм/мин и 10мм/мин. Определяется только прочность, расчетом по формулам определяются  $R_c$  и  $E_c$ . Находят расчетом модуль упругости и пределы прочности на изгиб при любой температуре. Кроме выше указанных характеристик для монолитных материалов определяют угол внутреннего трения  $\phi$  и силу внутреннего сцепления  $C$ .

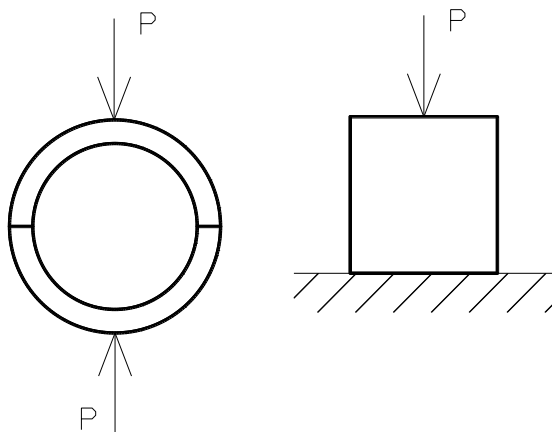


Их можно определить с помощью специальных приборов трехосного сжатия, называемых стабилόμεтрами (ориентировочная стоимость 280 тыс. €).

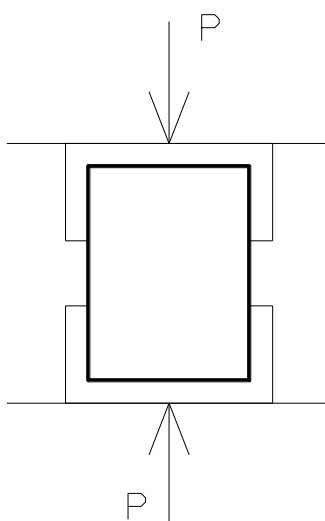
Данные приборы позволяют определить прочность образца  $P$  при боковом сжатии  $q$ . В дальнейшем расчетом получают угол внутреннего трения  $\phi$  и силу внутреннего сцепления  $C$ . Недостаток — дорого и сложно.



В соответствии с СТБ 1115-2004 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний» угол внутреннего трения  $\phi$  и силу внутреннего сцепления  $C$  можно определить путем испытания образцов цилиндров в специальных металлических обоймах, а также при свободном сжатии. Затем расчетом получают  $\phi$  и  $C$ .



Используется метод плоско-косого сдвига при сжатии.



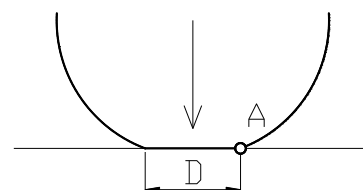
Все эти характеристики определяются при расчетной температуре, влажности и времени действия нагрузки.

Расчетное время действия нагрузки  $t_p$  зависит от вида транспортного средства, конструкции шины автомобиля, нагрузки на ось и скорости движения.

Колесо автомобиля на покрытии образует отпечаток диаметром  $D$ .

$$t_p = D/V,$$

где  $V$  – скорость движения автомобиля.  
 $D=39 - 41$ см,  
 $V=40$ км/ч.



**Расчетная температура T** назначается для наиболее благоприятной работы материала в конструктивном слое на действие транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов.

0, 10, 20, 50°C

Влажность грунтов назначают в зависимости от условий увлажнения (тип местности), типа земляного полотна (насыпь, выемка), вида грунта, характера климатического района.

**Расчетная влажность** принимается по таблицам расчетных документов соответственно.

Полученные в лабораторных условиях прочностные и деформационные характеристики при расчетных температурах и условиях нагружения называются *нормативными*.

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

Скорректированные нормативные характеристики называются *расчетными*.

$$R_p = K_1 \cdot K_2 \dots K_n \cdot R_n,$$

где  $K_1 - K_n$  - корректирующие коэффициенты;

$R_n$  – нормативная характеристика.

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

Могут учитывать структурную неустойчивость материала, отклонение в технологии, влияние повторных воздействий нагрузок, изменение свойств материала во времени и т.д.

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

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

$$K_n = (1 \pm t \cdot K_v),$$

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

$K_v$  – коэффициент вариации:

$$K_v = \frac{\sigma}{R},$$

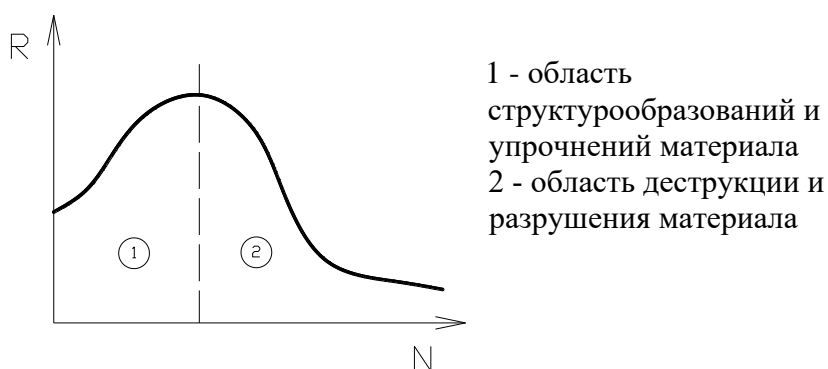
где  $\sigma$  - среднеквадратичное отклонение;

$\bar{R}$  - среднеарифметическое значение.

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

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

Зависимость свойств материала от числа нагружений.



Для упрощения расчетов на практике обычно учитывают только 2-ую зону работы материала.

В этом случае коэффициент усталости вычисляют как:

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

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

$N$  – число нагружений.

$$K_H < 1$$

$$K_y < 1$$

Кроме неоднородности и усталости могут учитываться изменение свойств материала во времени (старение), действие погодных-климатических факторов и т.д. если учитывается старение материала, то вводится коэффициент  $K_s$ , который  $> 1$ .

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

## **Тема 3. Факторы, влияющие на работу дорожных одежд**

### **3.1 Влияние погодно-климатических факторов на работу дорожной одежды.**

#### **3.2 Влияние транспортной нагрузки.**

3.2.1 Транспортные нагрузки. Их классификация и характеристики.

3.2.2 Понятие о расчетном автомобиле. Методика приведения автомобиля к расчетному.

3.2.3 Особенности напряженного состояния дорожной одежды на действие транспортных нагрузок.

#### **3.3 Виды деформаций и разрушений дорожной одежды.**

#### **3.4 Учет надежности при конструировании и расчете дорожных одежд**

### **3.1 Влияние погодно-климатических факторов на работу дорожной одежды.**

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

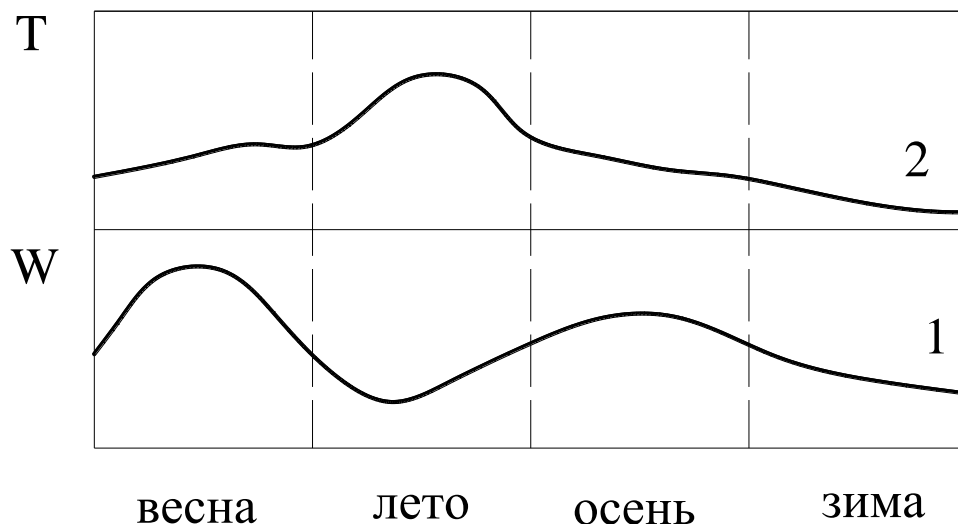
К погодно-климатическим факторам можно отнести:

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

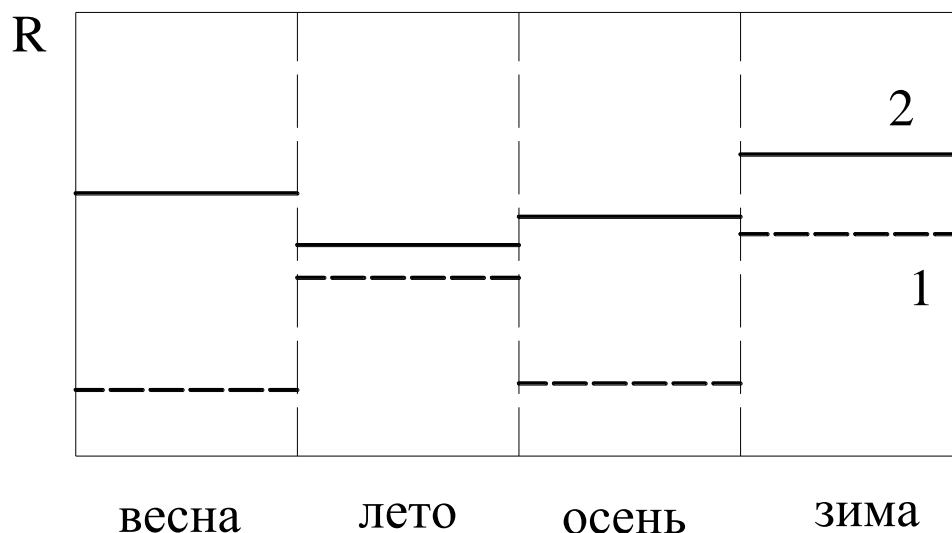
Солнечная радиация обычно усиливает процессы полимеризации и поликонденсации вяжущих материалов. Это приводит к изменению свойств бетонов на их основе (старение). В результате снижается ресурс работы и долговечность материала.

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

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



1 – влажность покрытия;  
 2 – температуры покрытия.



1 – прочность земляного полотна;  
 2 – прочность покрытия.

Как видно из приведенных данных влажность и температура, а также прочность покрытий и грунтов не совпадает в своих экстремумах в течение года, например, наиболее высокая влажность и соответственно низкая прочность грунтов наблюдается весной, соответственно высокая температура покрытия и самая низкая его прочность летом.

Для более полного учета вышеуказанных особенностей оперируют понятием расчетного периода.

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

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

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

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

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

Таким образом, дорожная одежда испытывает комплекс воздействий погодно-климатических факторов, которые необходимо учитывать при конструировании и расчете дорожных одежд.

## **3.2 Транспортные нагрузки**

### 3.2.1 Транспортные нагрузки. Их классификация и характеристики.

По автомобильным дорогам обращаются транспортные средства различной конструкции, конфигурации, назначения и грузоподъемности, которые приводят к появлению напряжений и деформаций в конструктивных слоях, развитие повреждаемости в структуре и в последующем потери их прочности и несущей способности.

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

#### **К основным характеристикам транспортных средств относят:**

1. грузоподъемность;
2. количество осей и колес на оси;
3. нагрузки на ось и колесо;
4. параметры и характеристики шин колеса.

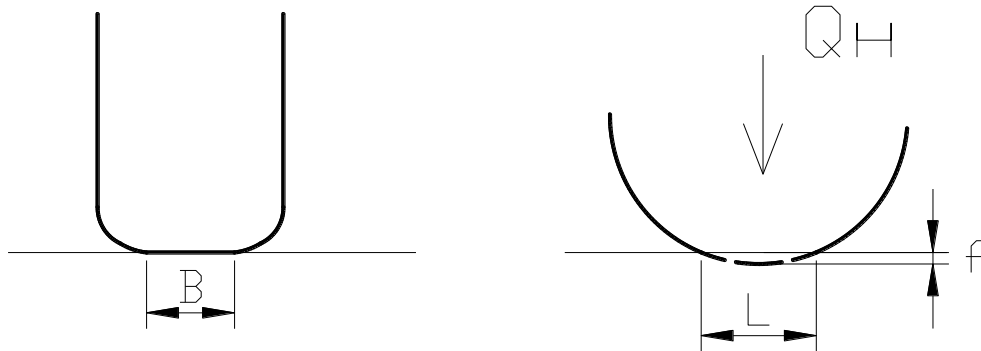
Грузоподъемность автомобиль может достигать 60,0 тонн. Количество осей до 8-ми, нагрузка на ось – 13-15 тонн.

Очень важное значение имеет конструкция и характеристика шины автомобиля. При контакте с покрытием особое значение приобретает ширина и длина беговой дорожки шины.

Ширина беговой дорожки  $B$  мало зависит от грузоподъемности автомобиля и режима движения и определяется в основном конструкцией шины ( $B=20\dots30\text{см}$ ).



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



Эта деформация определяется:

$$f = a \left( \frac{Q_H \cdot K_d}{P_w} \right)^6,$$

где  $a$ ,  $b$  – константы шин, которые принимаются по справочнику в зависимости от конструкции;

$Q_H$  – нормативная нагрузка на колесо:

$$Q_H = \frac{Q_o}{n},$$

$Q_o$  – нагрузка на ось (справочная информация);

$n$  – число колес на оси;

$K_d$  – коэффициент динамичности, равный 1,1 – 1,3, в зависимости от типа и конструкции подвески;

$P_w$  – давление воздуха в шине.

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

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

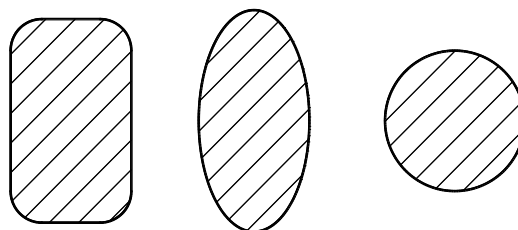
где  $D_{ш}$  – наружный диаметр шины,

$f$  – прогиб.

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

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

Конфигурация отпечатка бывает различной:



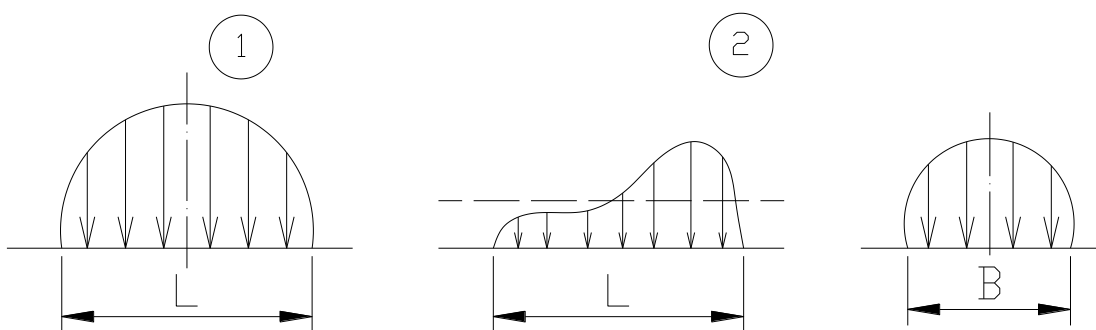
В зависимости от формы отпечатка вычисляется площадь.

Зная форму и площадь можно определить такой важный показатель как удельное давление колеса на покрытие (сила на единицу площади).

Удельное давление  $P$ :

$$P = \frac{Q_H \cdot K_\sigma}{F},$$

В целом, эпюра давления на покрытие имеет сложный характер:

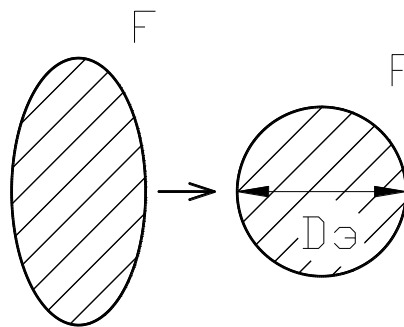


- 1 – статически неподвижное положение;
- 2 – статически подвижное положение.

Вычисленное по формуле давление является средним.

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

Характеризуется данный круг эквивалентным диаметром  $D_э$ .



$$D_э = 1,13\sqrt{F}$$

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

$$D_э = \sqrt{\frac{40 \cdot Q_H \cdot K_д}{\pi \cdot P_w}}$$

В этом случае площадь отпечатка  $F$  получают сразу как круг:

$$F = \frac{\pi \cdot D_э^2}{4}, \quad P = \frac{Q_H \cdot K_д}{F}.$$

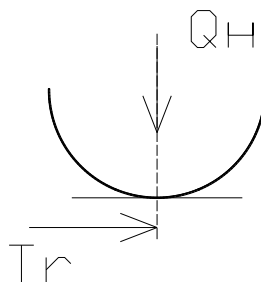
Таким образом, основными параметрами, характеризующими влияние транспортного средства на работу дорожного покрытия и дорожной одежды являются:

- 1) нагрузка на ось колеса расчетного автомобиля  $Q_о$ ,  $Q_H$ ;
- 2) эквивалентный диаметр и площадь круга  $D_э$ ,  $F$  равновеликого отпечатку следа колеса;
- 3) удельное давление колеса на покрытие  $P$ .

На участках разгона и торможения, а также уклонах более 30‰ кроме вертикальной нагрузки  $Q_H$  может учитываться горизонтальная сила  $T_r$ .

$$T_r = (0,5 \div 1,0)Q_H$$

Учет  $T_r$  способствует росту  $D_э$  и  $P$ . В расчетах принимается 0,75.



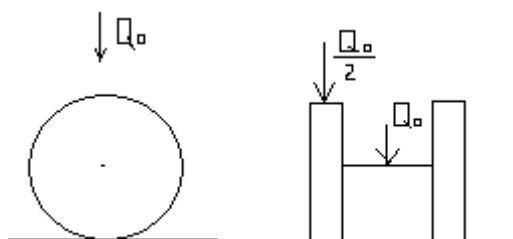
### 3.2.2 Понятие о расчетном автомобиле

В реальных условиях эксплуатации по а/д обращаются различные группы и типы автомобилей (от легковых до многоосных автопоездов). Каждый из этих автомобилей имеет собственные параметры и характеристики и по-разному влияет на работоспособность и ресурс дорожной одежды.

Такая ситуация существенно усложняет учет транспортного потока при назначении конструкции и выполнении расчетов дорожной одежды. Для упрощения практических расчетов введено понятие расчетного автомобиля (расчетной нагрузки).

**Расчетный автомобиль – это виртуальный автомобиль, имеющий одну ось и два колеса на оси.**

Характеризуется расчетный автомобиль нагрузкой на ось  $Q_o$ , нагрузкой на колесо  $Q_n$  и эквивалентным диаметром отпечатка  $D_s$  и удельным давлением.



В разных странах приняты различные параметры и характеристики расчетных автомобилей. В Республике Беларусь, России и большинстве стран Европы приняты три вида расчетных нагрузок  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ . ее параметры представлены в табличной форме:

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля, $Q_o$ , кН	Расчетные параметры нагрузки	
		$p$ , МПа	$D_s$ , см
$A_1$	10,0	0,60	$\frac{33}{37}$
$A_2$	11,5	0,60	$\frac{37}{39}$
$A_3$	13,0	0,60	$\frac{39}{41}$

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

Для городских дорог принята нагрузка  $A_2$ , но  $p=0,8\text{МПа}$ .

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

**Коэффициент приведения  $S_i$**  – отношение степени снижения ресурса и развития повреждаемости дорожной одежды от проезда реального автомобиля ( $\psi_\phi$ ) и расчетного автомобиля ( $\psi_p$ ).

$$S_i = \frac{\psi_\phi}{\psi_p}$$

В большинстве стран пока коэффициент приведения рассчитывается по методике, разработанной специалистами AASHO (Американская ассоциация дорожных специалистов) в 1966г.

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

где  $Q_\phi$  – нагрузка на ось или колесо реального транспортного средства;

$Q_p$  – тоже расчетного автомобиля;

$\beta$  – коэффициент, зависящий от конструкции дорожной одежды:

$\beta=4,4$  – капитальный тип дорожной одежды,

$\beta=5,5$  – облегченный тип дорожной одежды.

Данная методика имеет недостаток, поскольку не учитывает отпечаток колеса, современных конструкций шин, влияние соседних колес и осей друг на друга, поэтому в ряде стран (Франция, Англия) используется более сложный подход.

$$S_i = \exp(c)$$

где  $c$  – эмпирический параметр, равный  $c = 5,64 \left[ \left( \frac{D_i}{D_p} \right)^{0,36} \cdot \left( \frac{Q_i}{Q_p} \right)^{0,54} \cdot K_\epsilon - 1 \right]$

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

$D_p, Q_p$  – тоже расчетного автомобиля;

$K_\epsilon$  – коэффициент, учитывающий влияние соседних колес и осей друг на друга.

При расчетах устойчивости дорожной одежды пластическим деформациям коэффициенты приведения определяют как:

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

где  $\tau_\phi$  и  $l_\phi$  – максимальное значение касательных напряжений и вертикальная деформация при движении реального автомобиля;

$\tau_\phi$  и  $l_\phi$  – тоже расчетного автомобиля;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий тип дорожной одежды.

Поскольку реальные транспортные средства имеют не одну, а несколько осей, то коэффициент приведения определяют для каждой оси, а общий вычисляют путем суммирования.

$$S_i = S_1 + S_2 + S_3$$

В настоящее время имеются методики, позволяющие в качестве расчетного принимать реальный автомобиль транспортного потока.

Для выполнения практических расчетов невысоких категорий можно пользоваться укрупненными значениями коэффициентов приведения, которые приведены в таблице, соответствующие определенным ТНПА.

Вид таблицы:

Тип транспортного средства	Коэффициенты приведения		
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
1) Двухосный грузовой автомобиль с нагрузкой на ось 11,5т	Θ	Θ	Θ
2) Трехосный грузовой автомобиль с нагрузкой на тележку 20т	Θ	Θ	Θ

**При разработке проекта дорожной одежды необходимо:**

1. Выбрать вид расчетной нагрузки.
2. Реальный транспортный поток разделить на группы автомобилей (легковые, грузовые, трехосные, двухосные, автобусы и др.) и для каждой группы определить интенсивность, процент автомобилей в данной группе в общем потоке.
3. Вычисляется или принимается по таблицам коэффициент приведения для каждой группы автомобилей.

4. Вычисляется суммарный коэффициент приведения для всего транспортного потока.

**Задача:** определить интенсивность движения расчетного автомобиля.

**Исходные данные:** состав транспортного потока, категория дороги.

№ п/п	Тип автомобиля	% в потоке
1	Грузовые с грузоподъемностью 5-8т	30
2	Двухосные грузовые автомобили с нагрузкой 11,5т	40
3	Трехосные грузовые автомобили с нагрузкой 20т	30

Используя таблицы назначаем коэффициенты приведения для принятого вида расчетной нагрузки (в зависимости от категории автомобильной дороги и состава транспортного потока назначаются  $A_1, A_2, A_3$ ). Подсчитываем суммарный коэффициент приведения:

$$S_c = \sum_{i=1}^n S_i \cdot K_i = S_1 \cdot 0,3 + S_2 \cdot 0,4 + S_3 \cdot 0,3,$$

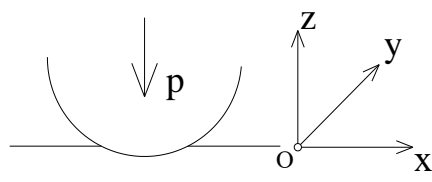
где  $S_1-S_3$  – коэффициенты приведения для определенного вида автомобилей.

$$N_p = S_o \cdot N_\phi,$$

где  $N_p$  – интенсивность движения реального автомобиля в физических единицах.

### 3.2.3 Влияние параметров транспортной нагрузки на состояние дорожной одежды. Напряжённое состояние д.о.

При движении автомобиля в конструктивных слоях дорожной одежды возникают сложные напряженно-деформированные состояния. В каждой точке данное состояние описывается полным тензором напряжений.



$$\begin{pmatrix} -\sigma_x \\ -\sigma_y \\ -\sigma_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} +\sigma_x \\ +\sigma_y \\ +\sigma_z \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{pmatrix}$$

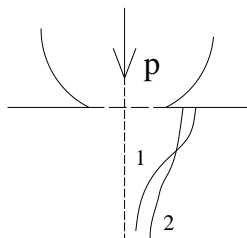
1. где  $-\sigma_x, -\sigma_y, -\sigma_z$  – **сжимающие** напряжения, действующие по осям соответственно  $x, y, z$ ;

2.  $+\sigma_x, +\sigma_y, +\sigma_z$  – **растягивающие** напряжения, действующие по тем же осям;

3.τ – **касательные** напряжения (сдвигающие), действующие в соответствующих плоскостях.

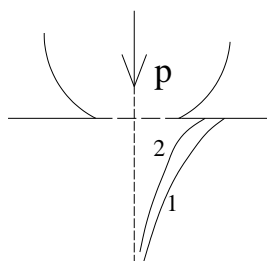
Данные напряжения вызывают появление деформаций в соответствующих направлениях:

1. **Сжимающие** напряжения убывают по толщине дорожной одежды.



Чем больше эквивалентный диаметр отпечатка колеса, тем меньше напряжение в покрытии, но в основании в грунте они возрастают. Скорость затухания при этом меньше.

$$D_{э1} < D_{э2}$$

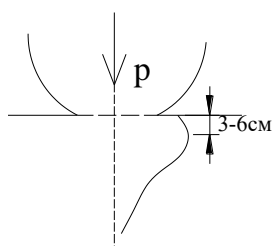


При увеличении удельного давления  $p$  возрастает напряжение в покрытии и в меньшей степени в основании в грунте.

$$p_1 > p_2$$

Таким образом, уменьшение диаметра отпечатков и рост давления  $p$  вызывает повышение нагрузки на материал покрытия и в меньшей степени на грунт земляного полотна и основание.

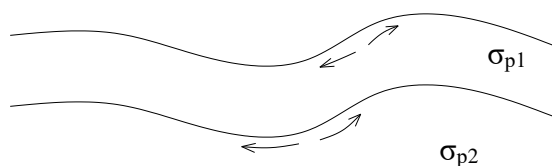
2. **Касательные** напряжения имеют максимум на глубине 3-6см и быстро гаснут в основании.



Чем больше эквивалентный диаметр  $D$  и давление  $p$  меньше, тем меньше напряжение в покрытии и больше в основании.

Растягивающие напряжения возникают в монолитных слоях (несвязные слои не могут воспринимать растягивающие напряжения).

3. **Растягивающие** напряжения возникают либо в верхней, либо в нижней части слоев.

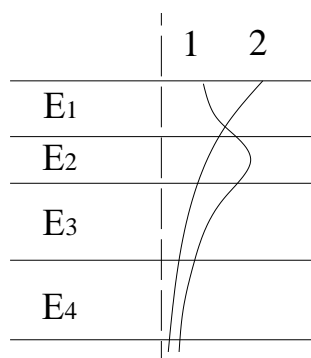


$$\sigma_{p1} < \sigma_{p2}$$



Чем меньше эквивалентный диаметр  $D$  и давление  $p$  больше, тем будут больше растягивающие напряжения.

В конструктивных слоях напряжения распределяются пропорционально жесткости (модуля упругости). Чем больше жесткость слоя, тем выше в нем напряжения.



1: характерно  $E_1 < E_2, E_1 > E_3(E_4)$

2:  $E_1 > E_2 > E_3 > E_4$

Деформации возникают по всем координатным осям, пропорционально уровню напряжения.

Наибольший интерес представляют вертикальные деформации (по оси  $Z$ ).

Вертикальную деформацию называют прогиб и обозначается  $l$ .

Деформация  $l$  складывается из двух частей:

$$l = l_y + l_o,$$

где  $l_y$  – упругая часть деформации, которая полностью восстанавливается после проезда;

$l_o$  – остаточная часть (вязко-пластическая); она накапливается в слоях дорожной одежды с каждым проездом.

Если  $l_o = 0$ , то говорят о работе дорожной одежды и ее слоев только в упругой стадии.

Если  $l_o \neq 0$ , то дорожная одежда работает в упруго-вязко-пластичной стадии.

### 3.3 Деформация и разрушение дорожных одежд. Причины их появления

При несоответствии конструкции дорожной одежды, свойств материалов слоев условиям движения транспортного потока и действия погодноклиматических факторов в процессе эксплуатации могут развиваться различные виды деформаций и разрушений дорожной одежды и потеря ее потребительских свойств.

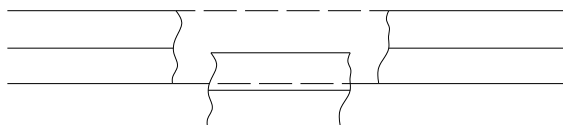
**Основными видами деформаций и разрушений дорожных одежд являются:**

1) **потеря ровности** дорожного покрытия, приводящая к снижению расчетной скорости движения и пропускной способности.

Ровность – это интегральная характеристика, т.е. она отражает в комплексе накопление различных видов деформаций и разрушений в конструктивных слоях дорожных одежд и грунте земляного полотна.

**2) силовые деформации и разрушения.** К данному виду относятся: проломы, просадки, силовые трещины.

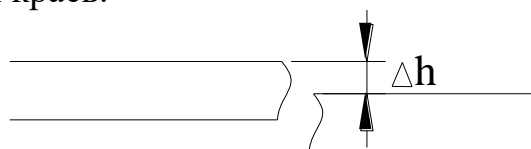
**Проломы** – это крупные вертикальные смещения дорожного покрытия с полным его разрушением.



**Просадки** – крупные вертикальные смещения дорожного покрытия без его разрушения.



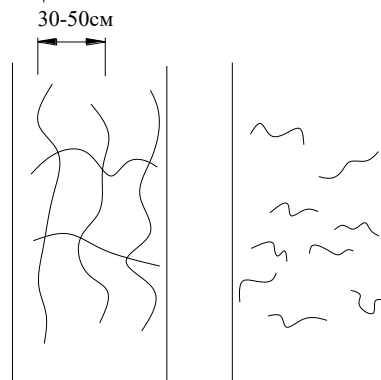
**Силовые трещины** – крупные поперечные либо продольные трещины с вертикальным смещением краев.



Данные деформации и разрушения возникают в период потери прочности грунта земляного полотна при его переувлажнении, оттаивании. Возникают быстро в течение 1-2 суток.

Основная причина – несоответствие конструкции дорожной одежды транспортному потоку.

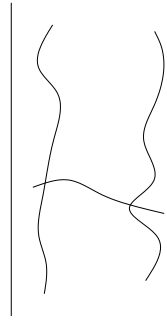
**3) усталостные деформации** монолитных слоев, проявляющиеся в виде сетки трещин либо мелких трещин по полосам наката.



Причина – несоответствие усталостных свойств материала слоя растягивающим напряжениям  $\sigma_{p1}$  или  $\sigma_{p2}$  под транспортной нагрузкой. Развиваются медленно, в течение ряда лет эксплуатации.

**4) температурные трещины** монолитных материалов.

Температурные трещины – это крупные трещины, пересекающие все покрытие с шагом 2 – 50м. при этом сохраняется положение покрытия.



Основная причина – действие погодно-климатических факторов (охлаждение) при недостаточной релаксационной (деформационной) способностью материала слоя.

При охлаждении покрытия в осенне-зимний период в нем возникают температурные деформации:

$$\varepsilon_T = \frac{\alpha \cdot \Delta T}{1 - \mu^2}$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного температурного расширения материала слоя;

$\mu$  – коэффициент поперечной деформации материала в слое;

$\Delta T$  – перепад температур в сторону охлаждения ( $\Delta T = T_1 - T_2$ );

$T_1$  – температура на ..... начала охлаждения;

$T_2$  – расчетная низкая температура.

Поскольку слои дорожной одежды представлены защемленной бесконечной лентой, данная деформация не может быть реализована. Это приводит к появлению температурных расширений.

Температурные напряжения:

$$\sigma_T = \varepsilon_T \cdot E_t$$

где  $E_t$  – модуль релаксации материала слоя.

Если  $\sigma_T > R_p$ , то появиться температурная трещина,  $R_p$  – прочность на растяжение.

**5) пластические деформации** дорожных одежд и ее слоев. Пластические деформации появляются при работе материала в упруго-вязко-пластической стадии, т.е.  $l_o \neq 0$ .

Причиной появления является несоответствие прочности материала (особенно сдвигу), величине напряжений от транспортной нагрузки. Данные деформации наблюдаются в основном в летний период (падает прочность материала, содержащего органическое вяжущее).

Неустойчивость материала покрытия к пластическим деформациям проявляется в виде колеи, гребенки, наплывов и т.д.

При недостаточной устойчивости слоев основания и грунта появляются неровности в продольном и поперечном направлениях. Причина появления – повышение транспортной нагрузки.

**б) коррозионные деформации.** К коррозионным деформациям относятся: шелушение дорожного покрытия, выкрашивание, ямочность, выбоины.

Основная причина появления – воздействие погодно-климатических факторов (в основном воды и попеременного замораживания-оттаивания).

При недостаточной устойчивости материала действию выше указанных факторов (высокая пористость материала, недостаточное сцепление вяжущего с каменным материалом).

**7) деформации, связанные с изменением объема грунта** при его избыточном уплотнении и замораживании-оттаивании.

Это приводит к появлению пучин.

### **3.4 Учет надежности при конструировании и расчете дорожных одежд**

Дорожные одежды как любые другие конструкции рассчитываются на прочность с определенным уровнем надежности.

**Прочность**----способность материала или конструкции выдерживать определенный уровень нагрузки без разрушения (разделения на части).

Условия прочности обычно имеют вид:

$$\sigma \leq R_n \cdot K$$

где  $\sigma$  – напряжение, возникающее в материале от транспортной нагрузки либо погодно-климатических факторов;

$R_n$  – нормативная прочность материала на действие вышеуказанных напряжений, определяемая в лаборатории;

$K$  – коэффициент условия работы (см. выше).

Однако выполнение расчетов на прочность часто оказывается недостаточным для гарантированной работы конструкции в течение расчетного срока службы. Обусловлено это двумя причинами: недостаточной точностью выполняемых расчетов (незнанием) и недостаточный учет влияния всех факторов, которые испытывает конструкция в процессе эксплуатации.

Устранить указанные недостатки и предназначена теория надежности.

**Надежность** – способность материала и конструкции сохранять требуемые эксплуатационные (потребительские) свойства в течение расчетного срока службы.

Количественно надежность оценивается уровнем надежности.

*Уровень надежности* – это вероятность отказа (выхода из строя) материала или конструкции ранее запланированного срока.

Применительно к дорожной одежде – это превышение количества дефектов над нормативным либо неудовлетворительная ровность отдельных участков дороги.

Уровень надежности обозначается  $p$  и его цифровое значение составляет (0...1).

Различают физический и математический уровни надежности. С физической точки зрения уровень надежности равен:

$$p = 1 - \frac{F_p}{F_o},$$

где  $F_p$  – площадь дорожной одежды, имеющая разрушения и недопускаемые деформации на конец срока службы;

$F_o$  – общая площадь дорожной одежды.

С математической точки зрения уровень надежности представляет собой:

$$p = \int_{[P]}^{P_{max}} P_E d_E,$$

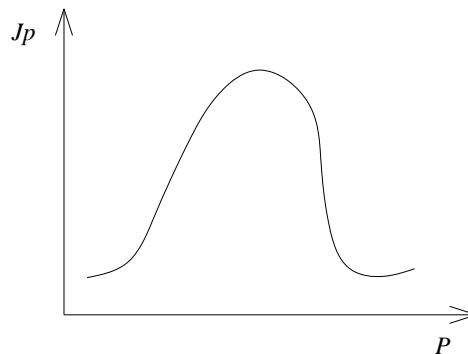
где  $[P]$  – допустимое значение параметра, по которому ведется расчет на прочность (модуль упругости, прочность на растяжение и т.д.);

$P_{max}$  – максимальное значение параметров, встречающихся на практике;

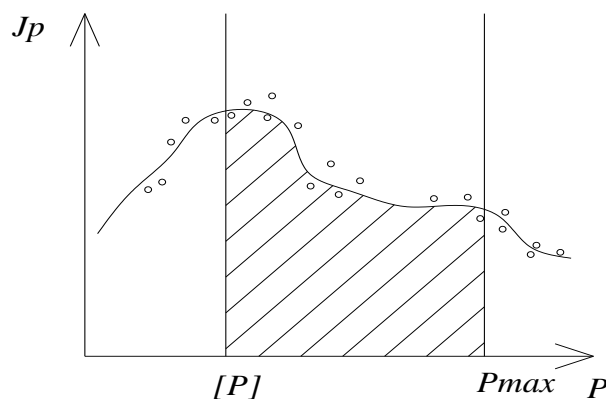
$P_E$  – функция распределения рассматриваемого параметра.

Функция распределения зависит от частоты параметра, от его значения. Функция может быть получена теоретически либо экспериментально.

При теоретическом подходе  $P_E$  назначается в виде кривой вероятности, например Гаусса, Гейгера и т.д.



При экспериментальном подходе кривую строят по экспериментальным точкам. Для этого производят испытания конструкции, например, для дорожной одежды определяют ее модуль упругости, строят статистический ряд  $E_1, E_2, E_3, E_4, \dots, E_n$ . Определяют частоту (т.е. сколько раз повторяется то или иное значение), строят график.



На практике надежность и уровень надежности реализуются через *коэффициенты запаса прочности*. При расчетах на прочность вводимые коэффициенты запаса зависят от уровня надежности.

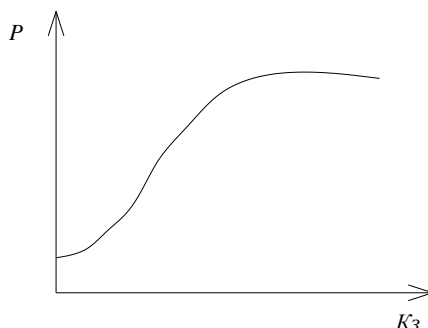
Коэффициент запаса прочности:

$$K_3 = \frac{R_{i\phi}}{R_{imp}}$$

где  $R_{i\phi}$  – фактические свойства материалов или конструкций, ответственные за появление тех или иных деформаций и разрушений;

$R_{imp}$  – требуемые свойства материалов по критерию прочности.

Для того чтобы пользоваться понятием коэффициент запаса прочности необходимо установить их связь с уровнем надежности. данная связь устанавливается теоретическим, экспериментальным и экспериментально-теоретическим способами. Получим зависимость следующего вида:



**На практике учет уровня надежности при проектировании дорожных одежд осуществляется следующим образом:**

1) в зависимости от категории дороги, вида расчетной нагрузки, типа дорожной одежды назначаются уровни надежности, требуемые заказчиком, материала покрытия;

2) используя графики или таблицы для принятых уровней надежности назначают коэффициенты запаса прочности (могут быть назначены по каждому критерию прочности);

3) производят расчет конструкции на прочность, при этом условие прочности примет вид:

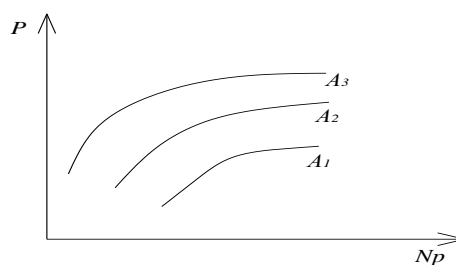
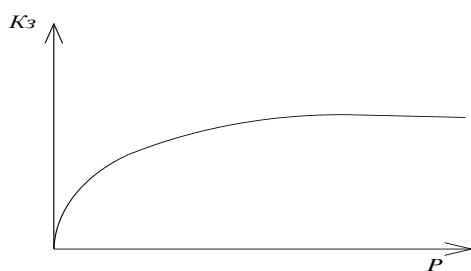
$$\sigma \leq R_n K(K_3).$$

В РБ для загородных дорог назначаются уровни надежности и коэффициенты запаса прочности по таблицам.

Показатель		Категория		
		I		
		A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>
Заданный коэффициент надежности K <sub>н</sub>		*	*	*
Требуемый коэффициент прочности K <sub>пр<sup>тр</sup></sub> по критерию:	–упругого прогиба	*	*	*
	– сдвигоустойчивости неукрепленных слоев	*	*	*

– для городских улиц

– коэффициент .....



Уровень надежности покрытия необходимо обеспечить подрядчику при подборе состава материала для устройства конструктивных слоев покрытия.

## Тема 4. Основные принципы конструирования нежестких дорожных одежд

### 4.1 Понятие об эквивалентных слоях.

### 4.2 Методика выбора материалов для устройства конструктивных слоев.

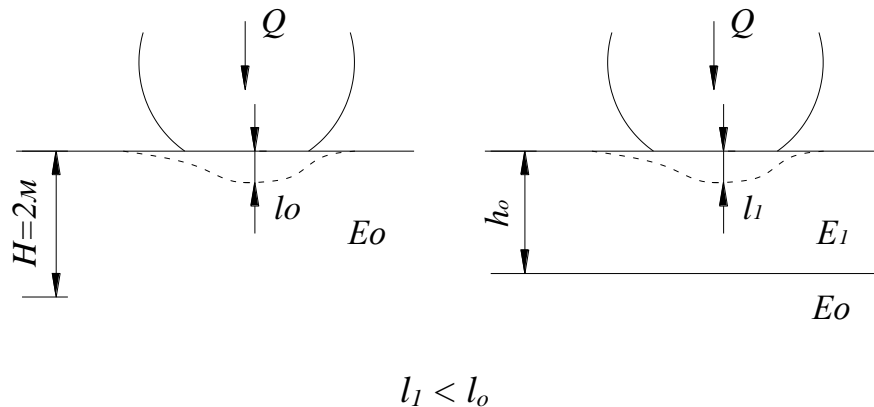
### 4.3 Основные принципы конструирования нежестких дорожных одежд.

#### 4.1 Понятие об эквивалентных слоях.

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

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

Представим полупространство толщиной 2 м.



Для упругой среды  $l_0$ :

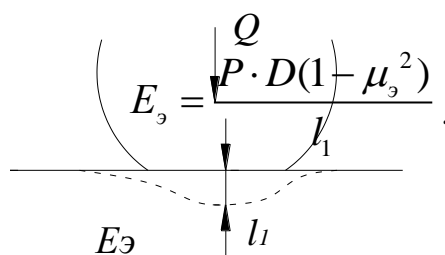
$$l_0 = \frac{P \cdot D(1 - \mu^2)}{E_0},$$

где  $P$  – удельное давление от колеса на единицу площади;

$D$  – эквивалентный диаметр;

$\mu$  – коэффициент Пуассона.

Имеем материал с модулем упругости  $E_3$ , но однородный.

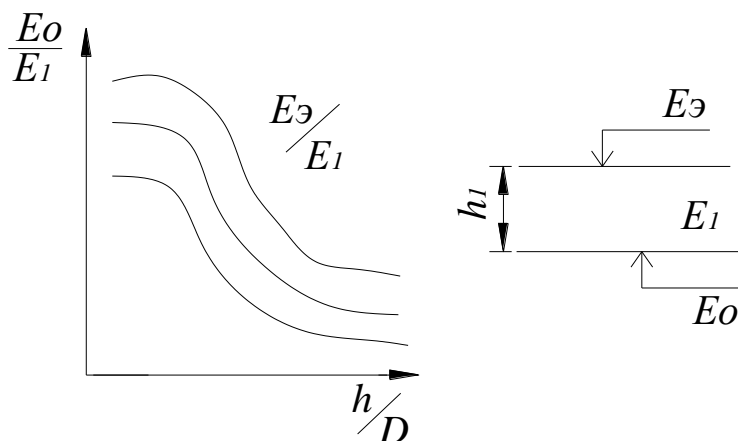




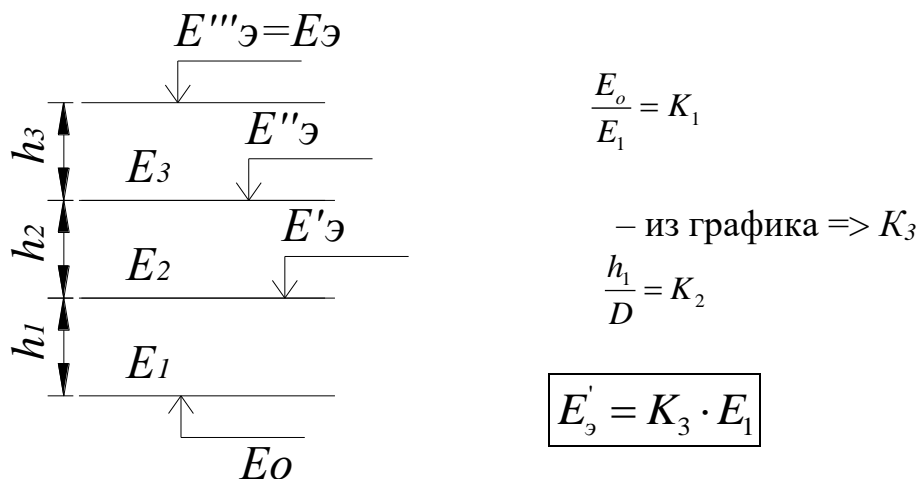
Таким образом, используя данный подход, можно заменить двухслойную систему на однослойную. **Слой из однородного материала с модулем  $E_э$  называется эквивалентным слоем двухслойной системы.**

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

Номограмма учитывающая свойства и толщину слоев связывает параметры  $E_1, h, E_э, D, E_о$ .



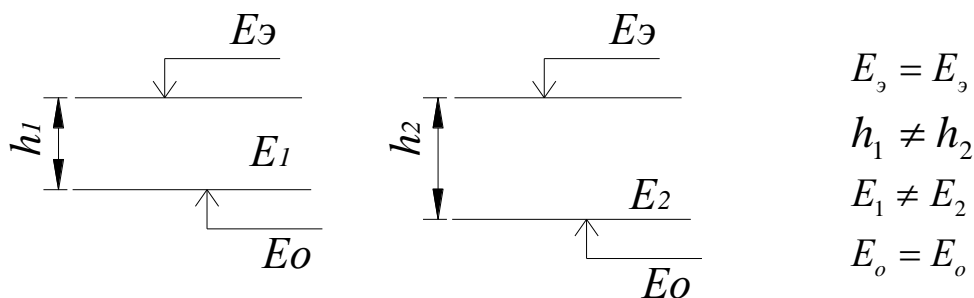
Используя понятие об эквивалентных слоях можно любую многослойную конструкцию привести к однослойной или к двухслойной, что существенно упрощает практические расчеты.



#### 4.2 Методика выбора материалов для устройства конструктивных слоев.

Конструктивные слои дорожной одежды (покрытие, основание и др.) могут устраиваться из различных материалов. Обычно материалы назначают на стадии конструирования, но при большом выборе материала для упрощения расчетов могут использоваться некоторые упрощенные методики. Одна из этих

методик основана на оценке стоимости равнопрочных слоев. Под равнопрочными понимаются слои из разных материалов, разной толщины, уложенные на одинаковое полупространство и имеющие одинаковый эквивалентный модуль упругости.



### Методика выбора материалов

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

Задаются произвольно значением  $E_0$  и  $E_3$ .

$$E_0 = (0,15 \div 0,30)E_{min},$$

$$E_3 = (0,30 \div 0,30)E_{min}.$$

Составляются расчетные схемы и используя номограммы находим толщины слоев  $h_1, h_2, h_3$ .

Вычисляем стоимость каждого слоя и принимаем окончательно материал с меньшей стоимостью.

### Пример.

1. Щебень рядовой  $E_1=400$ МПа,  $C_1=5000$ руб/см.
2. ПГС  $E_2=250$ МПа,  $C_2=2000$ руб/см.

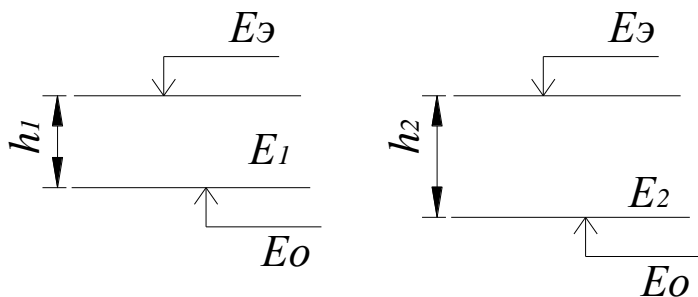
$$E_{min}=250\text{МПа}$$

$$E_0=50\text{МПа}$$

$$E_3=100\text{МПа}$$

$$E_0 < E_{min}$$

$$E_3 < E_{min}$$



$$E_0 / E_1 = 50 / 400 = 0,125$$

$$h_1 = 0,5 * 41 = 20,5 \text{ см.}$$

по номограмме: 0,5

$$E_2 / E_1 = 100 / 400 = 0,25 \quad \text{аналогично}$$

$$h_2 = 30,0 \text{ см.}$$

$$C_1 = C_1 * 20,5 = 5000 * 20,5 = 101000 \text{ руб}$$

$$C_2 = C_2 * 30,0 = 2000 * 30,0 = 60000 \text{ руб}$$

### 4.3 Основные принципы конструирования нежестких дорожных одежд

При конструировании нежестких дорожных одежд решают следующие задачи:

- 1) выбор типа дорожной одежды и назначение материалов для устройства покрытия;
- 2) назначение числа конструктивных слоев и схема их расположения;
- 3) назначение минимальных толщин конструктивных слоев.

Тип дорожной одежды по степени капитальности принимается в зависимости от категории дороги, принятой расчетной нагрузки и по требованиям заказчика.

Материал для устройства покрытия выбирается в зависимости от срока службы дорожной одежды и значения требуемого уровня надежности. Учитывается также вид и интенсивность расчетной нагрузки и требования заказчика.

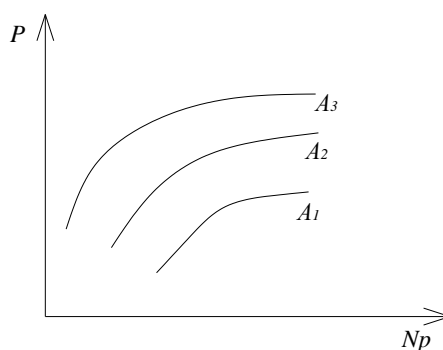
Срок службы принимается в зависимости от категории дороги и принятого уровня надежности.

Желательно материал покрытия подбирать таким образом, чтобы был обеспечен требуемый срок службы.

Материал	Уровень надежности, $P$	Срок службы, $T$ , годы
литой асфальтобетон	0,9-0,98	18-24
ЩМС	0,85-0,88	9-14
горячий плотный а/б тип А	0,7-0,75	4-8
горячий плотный а/б тип Б	0,72-0,77	6-9

Назначается не только вид материала, но и уровень надежности  $P$ .

Допускается принимать материал с меньшим сроком службы, чем дорожная одежда, но в этом случае необходимо предусматривать капитальный ремонт покрытия.



При назначении количества слоев, схемы их расположения, назначении материалов пользуются типовыми решениями, решениями, рекомендованными к внедрению, данными литературных источников.

Рекомендуется принимать для автомобильных дорог III, IV категории для нагрузки A1 четыре конструктивных слоя: два слоя покрытия, один слой основания (неукрепленное), один дополнительный слой основания при необходимости.

Для нагрузки A2, а также A1 I, II категории принимается пятислойная конструкция: два слоя покрытия, два слоя основания и один дополнительный слой. Верхний слой основания из укрепленных материалов.

Для нагрузки A3 принимается шестислойная конструкция: три слоя покрытия, верхний слой основания из укрепленных материалов.

При конструировании дорожной одежды решают вопрос о необходимости осушения дорожной одежды, т.е. необходимости устройства дренирующего слоя.

Данное решение принимается исходя из свойств грунта земляного полотна.

Если дренирующий слой не нужен, то дополнительный слой основания отсутствует.

На стадии расчета конструкция может быть изменена, т.е. может быть введен дополнительный слой либо ликвидирован какой-то слой.

Минимальная толщина слоев зависит от вида материалов, их гранулометрии, технологии устройства и уплотнения.

Для асфальтобетонов минимальная толщина принимается:

$$h_{\min} = 1,5d (< 45\%) = 2,5d (> 45\%)$$

$d$  – размер наиболее крупной частицы.

В скобках количество щебня в составе смеси.

Для материалов, укрепленных вяжущими (битумом, цементом) минимальная толщина составляет 8-10 см.

Для неукрепленных материалов и песков минимальная толщина – 15 см.

## **Тема 5. Расчет нежестких дорожных одежд**

- 5.1 Основные положения и критерии расчета нежестких дорожных одежд**
- 5.2 Расчет дорожной одежды по критерию упругого прогиба**
- 5.3 Методика оптимизации конструкции дорожной одежды**
- 5.4 Расчет дорожной одежды на сдвигоустойчивость грунта земляного полотна и несвязных слоев основания**
- 5.5 Расчет дорожной одежды на сдвигоустойчивость материалов покрытия**
- 5.6 Расчет дорожной одежды на устойчивость усталостным деформациям под действием транспортных нагрузок**
- 5.7 Расчет дорожной одежды на устойчивость усталостным деформациям под действием транспортных нагрузок и погодно-климатических факторов**
- 5.8 Осушение дорожной одежды. Расчет толщины дренающего слоя**
- 5.9 Расчет дорожной одежды на морозоустойчивость**
- 5.10 Методология конструирования и расчета нежестких дорожных одежд**

### **5.1 Основные положения и критерии расчета нежестких дорожных одежд**

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

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

На практике пользуются несколькими критериями прочности. Один из этих критериев интегральный, т.е. учитывает устойчивость к нескольким видам деформаций и разрушений, другие являются индивидуальными и относятся к одному виду деформаций.

В целом, большое количество критериев прочности усложняет расчет дорожной одежды и приводит к ошибкам при оценке ее надежности (итоговый уровень надежности равен произведению частных уровней).

#### **Интегральность**

Критерий прочности по упругому прогибу: критерием, оценивающим устойчивость по одному фактору можно отнести критерий сдвигоустойчивости земляного полотна и несвязных слоев основания; критерий сдвигоустойчивости слоев покрытия; критерий устойчивости усталостным деформациям от действия транспортной нагрузки и от погодно-климатических факторов. Во всех случаях по каждому из критериев расчет ведут на некоторый узкий температурно-временной интервал. Учет предыстории работы конструкции, возможные отклонения состава и интенсивности движения

учитываются путем ввода коэффициентов условий работы и коэффициентом запаса прочности (уровня надежности).

## 5.2 Расчет дорожной одежды по критериям упругого прогиба

Критерий прочности по упругому прогибу является интегральным, т.е. учитывает устойчивость дорожной одежды к нескольким видам деформаций и разрушений. В частности к силовым деформациям и разрушениям, усталостным деформациям, пластическим деформациям, но данный учет является косвенным, поскольку критерий упругого прогиба получен эмпирически, т.е. на основе наблюдений и обработке экспериментальных данных. Базой для разработки данного критерия послужили эксперименты AASHO.

Критерий был принят в виде:

$$l_{\phi} \leq [l]$$

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

$[l]$  – допустимое или требуемое значение.

Допустимое или требуемое значение зависит от вида расчетной нагрузки, интенсивности движения, срока службы дорожной одежды, степени ее капитальности.

$$l_{\phi} = l_y + l_o$$

где  $l_y$  – упругий прогиб;

$l_o$  – остаточная деформация ( $l_i = 0$ ).

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

$$E_{\phi} \geq E_{mp}$$

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

$E_{mp}$  – требуемый модуль, который зависит от тех же факторов, что и  $[l]$ .

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

Тогда окончательно условие прочности по упругому прогибу можно представить:

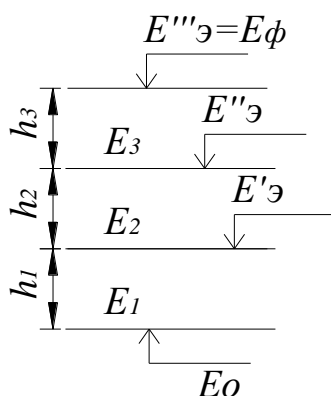
$$K_3 = \frac{E_\phi}{E_{mp}} \geq K_3^{mp}$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса прочности;

$K_3^{mp}$  – требуемый коэффициент запаса, зависящий от уровня надежности.

Фактический эквивалентный модуль упругости  $E_\phi$  на стадии проекта определяют расчетом, используя теорию эквивалентных слоев, если конструкция известна и известны ее толщины, то расчетом снизу вверх послойно находим эквивалентные модули на поверхности 1-го слоя ( $E'_3, E''_3$  и т.д.). Эквивалентный модуль на поверхности покрытия будет соответствовать фактическому модулю  $E_\phi$ .

$$E'_3 = E_\phi$$



Расчетная температура в Республике Беларусь по критерию упругого прогиба составляет  $+10^\circ\text{C}$ .

Требуемый модуль упругости вычисляется по эмпирической формуле:

$$E_{mp} = 98,65 \left[ \lg(\sum N_p) - c \right]$$

где  $\sum N_p$  – суммарное число воздействий (проездов расчетного автомобиля) в течение расчетного периода за весь срок службы.

$$\sum N_p = 0,7 \cdot N_p \cdot \frac{K_c}{q^{(T_{ca}-1)}} \cdot T_p \cdot K_n$$

где  $N_p$  – суточная интенсивность на последний год службы дорожной одежды:

$$N_p = f \cdot N_i \cdot S_c$$

где  $f$  – коэффициент, учитывающий число полос движения по дороге (для двухполосных дорог – 0,75; для четырехполосной дороги – 0,35 (для первой полосы), 0,25 (для второй полосы));

$N_i$  – интенсивность движения физических автомобилей на последний год эксплуатации:

$$N_t = N_o \cdot (1 + 0,01p)^{T_{ca}-1}$$

$S_c$  – суммарный коэффициент приведения;

$K_c = \frac{q^{T_{ca}} - 1}{q - 1}$  – учитывает накопление транспортных средств в течение срока

службы;

$$q = 1 + 0,01 \cdot p;$$

$p$  – прирост интенсивности в %;

$T_p$  – число дней в году, соответствующее расчетному периоду в году. В РБ зависит от района и равно 125..135 дней.

$K_n$  – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого.  $K_n$  принимается в зависимости от категории дороги, его значение составляет 1,05 – 1,50, чем выше категория, тем выше значение.

$C$  – коэффициент, учитывающий капитальность дорожной одежды (колеблется от 2,5 до 4,0), чем выше капитальность, тем меньше значение.

Выполнение критерия прочности по упругому прогибу достигается за счет толщины слоев. При этом существенной роли не играет: будут это слои основания, покрытия или дополнительный слой.

Решающее значение обычно имеет стоимость конструкции.

### 5.3 Методика оптимизации конструкции дорожной одежды.

Сущность оптимизации заключается в выборе толщины слоев таким образом, чтобы выполнялось условие минимальной стоимости.

Обеспечение минимальной толщины слоев желательно достигать при расчете дорожной одежды по всем критериям прочности, но для упрощения методики особенно при ручном счете можно воспользоваться одним критерием – критерием упругого прогиба.

#### Оптимизацию проводят следующим образом:

1. назначают расчетные значения модулей упругости при 10°C
2. определяют требуемые значения модулей упругости  $E_{mp}$ ;
3. принимают  $E_{\phi} = E_{mp} \cdot K_3^{mp}$ ;
4. толщины верхних слоев покрытия принимаются минимальными;
5. расчетом сверху вниз вычисляют эквивалентные модули;
6. рассматривают последний, определяя его толщину;
7. пересчитывают стоимость дорожной одежды;
8. увеличивают толщину слоя предыдущего, вычисляют толщину слоя последнего и вычисляют стоимость дорожной одежды снова;
9. строят график зависимости стоимости от толщины слоя.



При этом толщина последнего слоя должна быть не менее требуемой толщины дренирующего слоя (если он предусмотрен).

Такая оптимизация является не точной и не полной.

#### **5.4 Расчет грунта земляного полотна и несвязных слоев оснований на сдвигоустойчивость.**

Данный расчет предполагает предотвращение появления недопустимых неровностей либо искажение продольного профиля вследствие накопления остаточных деформаций в грунте земляного полотна и несвязных слоях оснований.

Условие устойчивости представлено в виде:

$$K_3 = \frac{T_\partial}{T_a} \geq K_3^{mp},$$

где  $T_a$  – максимальные сдвиговые усилия (напряжения), возникающие в грунте или слоях основания от действия расчетной нагрузки и собственного веса дорожной одежды (активное напряжение);

$T_\partial$  – допустимые напряжения, зависящие от свойств материала и условий работы;

$K_3^{mp}$  – требуемое значение коэффициента запаса прочности, зависящее от уровня надежности.

Значение  $T_a$  зависит от параметров расчетной нагрузки, жесткости (модуля упругости), конструкции дорожной одежды и ее толщины.

Значение  $T_a$  определяется:  $T_a = \bar{\tau}_a \cdot p \pm \tau_{av}$ ,

где  $\bar{\tau}_a$  - активные напряжения сдвига в конструктивном слое или грунте от действия расчетной нагрузки при удельном давлении  $p=1\text{МПа}$ ;

$p$  – удельное давление на покрытие от расчетной нагрузки;

$\tau_{av}$  - напряжение от собственного веса дорожной одежды.

Значение  $\bar{\tau}_a$  и  $\tau_{av}$  можно определить расчетом для слоистой конструкции, нагруженной колесом расчетного автомобиля.

Для этого используются адаптированные программные комплексы. Допускается на практике пользоваться упрощенными номограммами и графиками.

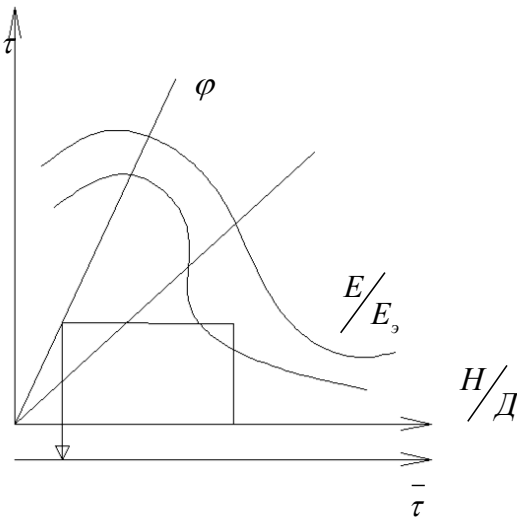
Для пользования данными номограммами слоистая система приводится к двухслойной. Все слои, расположенные выше рассматриваемого слоя заменяются одним слоем с суммарной толщиной  $H$  и средневзвешенным модулем упругости  $\bar{A}$ .

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + \dots$$

$$\bar{E} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + \dots}{h_1 + h_2 + \dots}$$

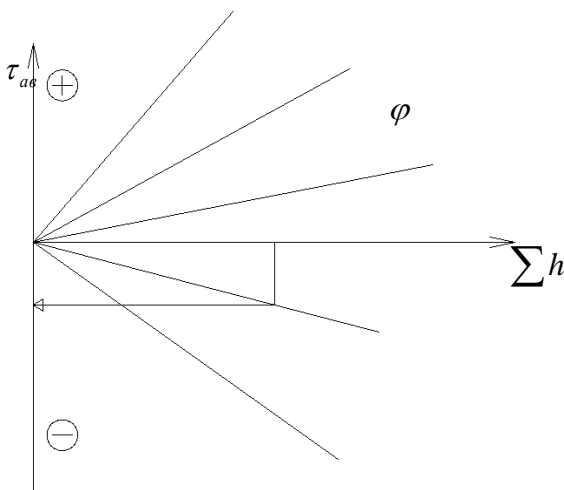
Если рассматривать сдвигоустойчивость слоев основания, то подстилающим является эквивалентный модуль на поверхности рассматриваемого слоя.

Для определения  $\bar{\tau}_a$  используется номограмма.



Где  $\varphi$  - угол внутреннего трения материала, рассматриваемого слоя.

Значение  $\tau_{aa}$  определяется по номограмме.



При определении  $T_\delta$  принято, что материал работает в упругой стадии, без накопления остаточных деформаций, следовательно,  $T_\delta$  можно принять по закону Кулона:

$$T_\delta = \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi + C .$$

Значение  $\sigma \cdot tg\varphi$  - учтено при определении  $\bar{\tau}$ , в результате  $T_\delta = C$ ,  $T_\delta$  является нормативным и принимается по таблицам либо определяется экспериментально.

Для получения расчетного значения вводятся коэффициенты условий работы.

$$T_\delta = K_\delta \cdot K_n \cdot C$$

где  $K_\delta$  - коэффициент динамичности, который принимается в зависимости от условий взаимодействия на контакте основания и рассматриваемого слоя (1,5...7,0);

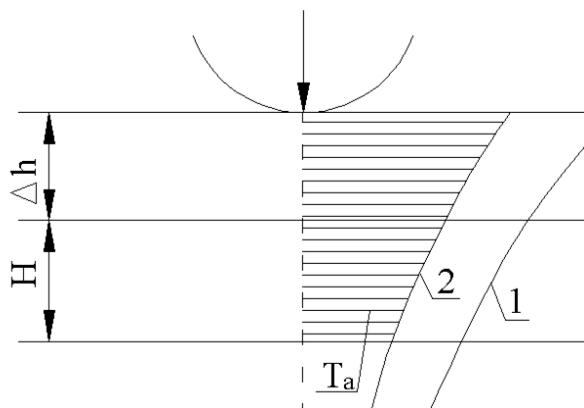
$K_n$  - коэффициент, учитывающий повторность действия нагрузки (усталость), его принимают по графику в зависимости от ( $N_p$ ) – интенсивности движения расчетного автомобиля в сутки на последний год срока службы.

Расчетная температура принимается +20°C для Республики Беларусь.

Если условие сдвигустойчивости не выполняется, то возможны два пути решения:

1. снижение  $T_a$ ;
2. увеличение  $T_\delta$ .

Для снижения  $T_a$  необходимо «удалить» колесо автомобиля от рассматриваемого слоя на некоторую величину. Это уменьшит эпюру напряжений.



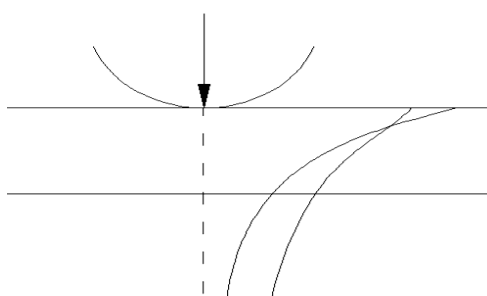
- 1 – исходная конструкция;
- 2 – увеличенной толщины.

Увеличивая толщину вышележащих слоев, обычно наиболее дешевых, можно добиться снижения напряжений сдвига.

Можно уменьшить  $T_a$  без увеличения толщины путем увеличения

модуля упругости  $\bar{A}$ .

Достигается это за счет замены материалов слоев на более жесткие, например путем увеличения вязкости битума покрытий, укрепления верхних слоев основания.



Нельзя уменьшить  $T_a$  и повысить сдвигустойчивость, увеличивая толщину и жесткость рассматриваемого слоя.

$$\bar{E}_1 < \bar{E}_2$$

Увеличить  $T_0$  можно путем укрепления материала рассматриваемого слоя, добавкой дробленых частиц, ПГС или другими смесями, а также путем изменения условий контакта слоев (рост коэффициента динамичности).

### 5.5 Расчет монолитных слоев на устойчивость усталостным деформациям от транспортных нагрузок.

Данный критерий является упрощенной проверкой на устойчивость дорожной одежды силовым деформациям (проломы, просадки), а также устойчивость усталостным деформациям.

$$\text{Условие устойчивости: } K_3 = \frac{R_u^p}{\sigma} \geq K_3^{mp},$$

где  $R_u^p$  - это расчетная прочность материалов монолитных слоев на растяжение при изгибе;

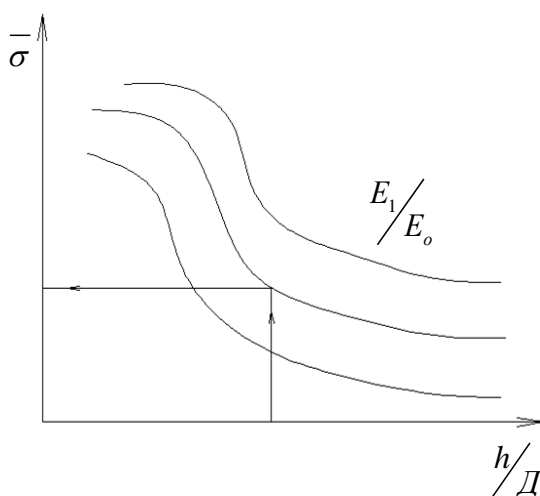
$\sigma$  - максимальные растягивающие напряжения, возникающие в конструктивном слое дорожной одежды от действия расчетной нагрузки в расчетный период.

Расчетный период принят при  $t=0...5^\circ\text{C}$ . значение  $\sigma$  определяют расчетом, составляя конструкционные схемы дорожной одежды и используя адаптированные программные комплексы.

Допускается для определения  $\sigma$  использовать упрощенные номограммы и графики.

Расчет по данному критерию ведется по слоям, содержащим вяжущие материалы (битумы, цемент и т.д.).

Для определения  $\sigma$  многослойная система приводится к двухслойной путем вычисления эквивалентных модулей. Для проверки прочности покрытия вычисляют расчетом снизу вверх: эквивалентные модули, составляют двухслойную систему.



Полученное по номограмме значение  $\sigma$  соответствует единичной нагрузке, для получения расчетного значения единичное значение умножается  $p$ .

$$\sigma = \bar{\sigma} \cdot p$$

$$\sigma_p = \bar{\sigma} \cdot p \cdot K_\delta,$$

где  $K_\delta$  – коэффициент, учитывающий вид отпечатка колеса автомобиля и покрытия, для однобаллонного – 1,0;

для двухбаллонного – 0,85.

Недостатком является невысокая точность, особенно при малых толщинах слоев (до 10 см). Недостатком также является то, что расчет для верхних слоев ведется только для нижней растянутой зоны, хотя при многослойных покрытиях более существенны напряжения в верхней зоне покрытия  $\sigma'_p$ .

### **Расчетное сопротивление на изгиб**

Расчетное сопротивление на изгиб определяют для материала слоя:

$$R_{\text{ПР}} = R_{\text{ИН}} \cdot K_y \cdot K_T \cdot K_m \cdot (1-t \cdot \gamma),$$

$R_{\text{ИН}}$  – нормативное значение прочности на изгиб, его определяют экспериментально, либо принимают по таблице из нормативных документов.

$K_y$  – коэффициент усталости, учитывающий развитие повреждаемости в структуре материала от повторного действия транспортной нагрузки ( $K_y < 1$ ). Вычисляется по формулам или графикам. Упрощенно можно принять:

$$K_y = a \cdot (\sum N_p)^{-(1/m)}$$

$\sum N_p$  – суммарное число воздействий расчетной нагрузки в течении расчетного периода за весь срок службы.

$a$  – коэффициент, учитывающий накопление повреждаемости в нерасчетный период работы, зависит от вида материала и интенсивности движения, принимается по таблице.

$m$  – коэффициент, зависящий от вида материала слоя, принимается по таблицам.

$K_T$  – коэффициент, учитывающий накопление повреждаемости от перепадов температур.

$K_m$  – коэффициент, учитывающий накопление повреждаемости от попеременного замораживания и оттаивания.

Таким образом, этими коэффициентами мы косвенно учитываем влияние погодных-климатических факторов ( $0,7 \div 1,0$ ), в зависимости от вида материала. Чем более пористый материал, тем больше эти коэффициенты.

$(1-t \cdot \gamma)$  – учитывает неоднородность структуры (отклонение в технологии, отклонение толщины слоев и др.)

$t$  – коэффициент нормированного отклонения

$$t = f(K_H)$$

Зависит от уровня надежности. Чем больше уровень надежности, тем больше  $t = (1.1 \div 2.2)$ .

$\gamma$  – коэффициент вариации, его определяют экспериментально, либо принимают  $\gamma=(0,1\div 0,25)$ . Больше значение для пористых.

$$K_3 = R_{\text{ПР}}/\sigma_p \geq K_3^{\text{ТР}}$$

Если это условие не выполняется, то намечают мероприятия, направленные на:

- 1) Уменьшение  $\sigma_p$
- 2) Мероприятия по увеличению  $R_{\text{ПР}}$

Для уменьшения  $\sigma_p$  увеличивают  $E_3$ , т.е. эквивалентный модуль упругости подстилающих слоев д.о. Для этого увеличивают толщины нижележащих более дешевых слоев. Можно увеличить и толщину самого слоя  $h$ , либо вышележащих слоев. Окончательное решение принимают на основе технико-экономических обоснований.

Во втором случае увеличивают  $R_{\text{ПР}}$ . Достигается это, в основном, за счет замены материалов слоя на более плотные, применяются битумы повышенной вязкости, модифицированные материалы и т.д.

## 5.6 Расчет сдвигоустойчивости слоев покрытия

Расчет на сдвигоустойчивость слоев покрытия производится для дорог Iи Категории, улиц и дорог населенных пунктов и при расчете на нагрузку А3.

Предотвращение появления пластических деформаций( колеи, гребенки, наплывов) в расчетный летний период года от действия расчетной нагрузки. Расчетная температуры принимается  $+50^\circ\text{C}$ . Распространяется на все слои покрытия 1,2,3, возможна проверка и укрепленных слоев оснований.

$$\tau \leq \frac{K \cdot C}{K_3 \cdot B} + |\sigma| \cdot \tan \varphi$$

$\tau$  – максимальное касательное напряжение в рассматриваемом слое от действия расчетной нагрузки.

$\sigma$  – нормальное напряжение в точке максимума касательных напряжений.

$K$  – коэффициент условий работ, равный (  $0,7\div 1,0$ ), для нагрузки А3  $K=0,7$ .

$C$  – сила внутреннего сцепления материала слоя при расчетных условиях.

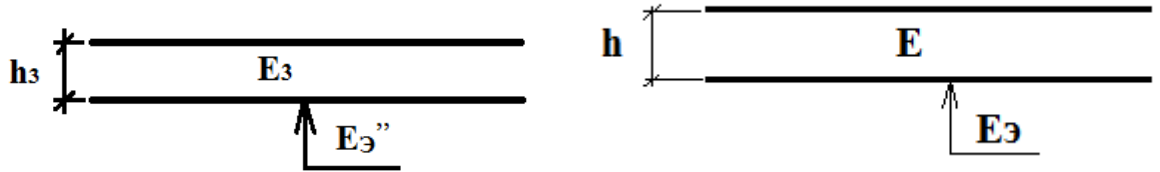
$\varphi$  – угол внутреннего трения материала.

$K_3$  – коэффициент запаса прочности, зависящий от уровня надежности.

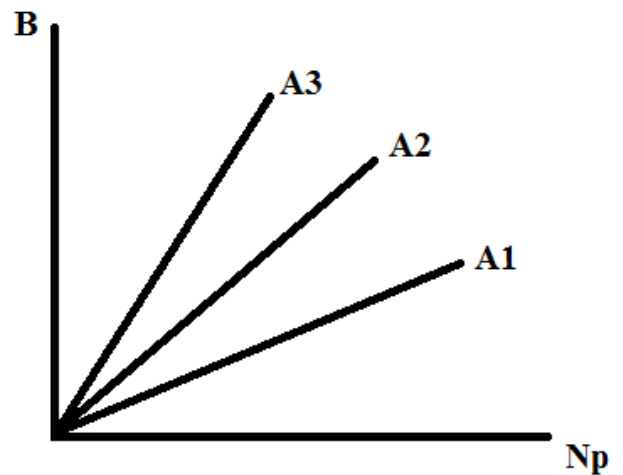
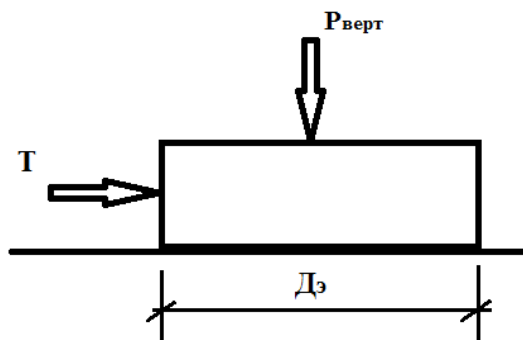
$B$  – коэффициент усталости или повторности, зависящий от вида расчетной нагрузки и интенсивности движения расчетного авто в первый год эксплуатации, принимается по графику.

$N_p$  – среднесуточная интенсивность на одну полосу в первый год эксплуатации расчетного авто:

$$N_p = f \cdot N_0 \cdot S_c$$



Для определения напряжений  $\tau$ ,  $\sigma$  используются расчетные модели и соответствующие программные комплексы.



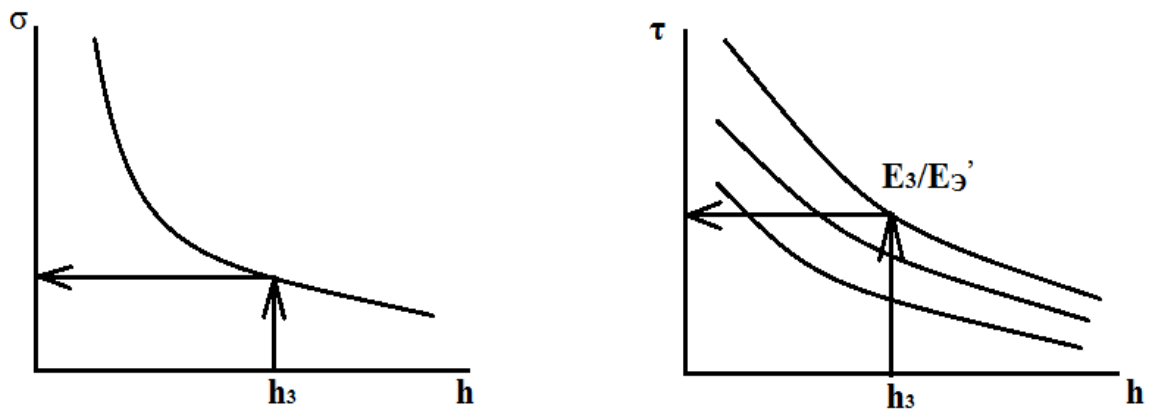
При расчете на сдвигоустойчивость а/б покрытия эквивалентный диаметр  $D_{\text{э}} = 28 \text{ см}$ .

Учет горизонтальной нагрузки  $T$  выполняют, если продольный уклон  $i > 30\%$  на участках разгона и торможения (переходно-скоростные полосы, островки, перекрестки), если интенсивность движения расчетной нагрузки превышает 300 авт/сутки, т.е.  $N_p \geq 300 \text{ авт/сутки}$ . В этих слоях учитываем  $T$ , а в остальных – нет.

Допускается определять  $\tau$  и  $\sigma$  используя упрощенные графики и номограммы.

При расчетах верхнего слоя покрытия, вся система или конструкция приводится к двухслойной, для этого расчетом снизу вверх определяют сначала  $E_3'$ , затем  $E_3''$  и т.д., получаем двухслойную систему.

Вычисляют отношение  $E_3/E_3'$ , по номограмме определяют максимальное  $\tau$ .



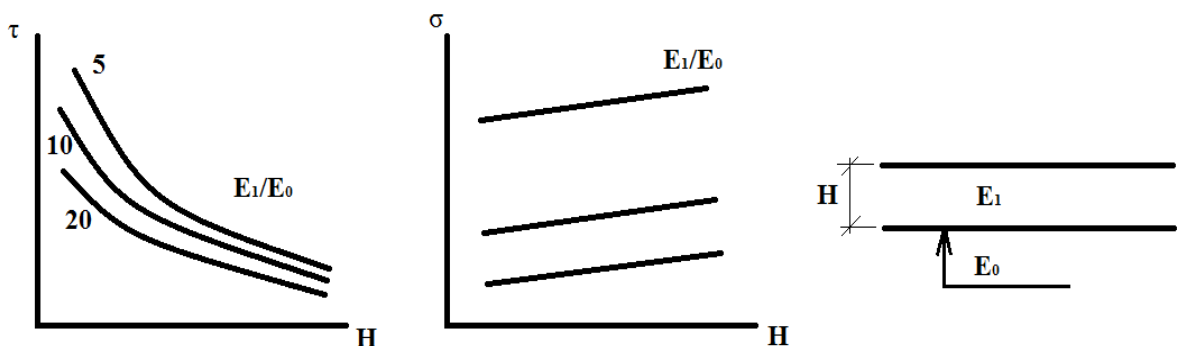
Далее проверяем условие сдвигоустойчивости:

$$\tau \leq \frac{K \cdot C}{K_3 \cdot B} + |\sigma| \cdot \tan \varphi$$

Характеристики материала подставляем для верхнего слоя покрытия.

Если условие не выполняется, то применяем конструктивное либо материаловедческие методы повышения сдвигоустойчивости. Конструктивные методы направлены на увеличение  $E_3'$  либо толщины слоя  $h_3$ .  $E_3'$  увеличивают за счет увеличения толщины наиболее дешевых нижележащих слоев. В реальных конструкциях конструктивные методы для слоя покрытия обычно мало эффективны, т.к. некоторое снижение  $\tau$  компенсируется падением  $\sigma$ , поэтому обычно при невыполнении условий сдвигоустойчивости верхнего слоя применяется материаловедческий метод, т.е. заменяют материал покрытия на более качественный: увеличивают вязкость битума (повышение  $C$ ), качество и содержание щебня (повышение  $\varphi$ ), применение модифицирующих и структурирующих добавок и др. методы. Во всех случаях проекта организация должна указать минимальное значение  $\varphi$  и  $C$ , обеспечивающих условия сдвигоустойчивости. Подрядчик должен добиться этих показателей на стадии подбора и утверждения состава смеси.

При проверке сдвигоустойчивости нижних слоев используется тоже условие устойчивости, но определение  $\tau/\sigma$  производится по номограммам вида:





$H$  – толщина слоя;

$E_1$  – средневзвешенный модуль упругости;

$E_0$  – эквивалентный модуль.

Реальная конструкция приводится к двухслойной следующим способом при проверке нижнего слоя:

$H = h_3 + h_4$ ,  $E_0 \rightarrow E_0''$ . Расчетом снизу вверх вычисляем  $E_0''$ .

$$E_1 = \frac{E_3 \cdot h_3 + E_4 \cdot h_4}{h_3 + h_4}$$

Если будем проверять третий слой покрытия, то

$$H = h_2 + h_3 + h_4, E_1 = \frac{E_2 \cdot h_2 + E_3 \cdot h_3 + E_4 \cdot h_4}{h_2 + h_3 + h_4}.$$

При невыполнении условия устойчивости увеличивают толщину слоев  $h_3$  и  $h_4$ .

Возможна и замена материала на более прочный, что увеличит значения  $\varphi$  и  $C$ , может рассматриваться увеличение только верхнего слоя.

### 5.7 Проверка устойчивости монолитных слоев к усталостным деформациям от действия транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов

Данный расчет выполняется на дорогах I и II категории, а также при расчете на нагрузку 13тонн/А3.

Ранее рассматривался подобный вопрос в упругом виде, был отмечен ряд недостатков в рассматриваемом методе, большинство этих недостатков устранено.

Условие устойчивости имеет вид:

$$\Psi \leq [\Psi]$$

$\Psi$  – уровень повреждаемости структуры материала монолитного слоя от действия транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов.

$[\Psi]$  – предельно допустимый уровень повреждаемости (для рассматриваемого случая равен 0,5).

Для выполнения расчета необходимо подготовить следующие исходные данные:

Определить суммарную интенсивность движения расчетных автомобилей за весь срок службы ( $\sum N_p$ ).  $T_p=365$  дней;

Прочность материала на изгиб ( $R_{И}$ );

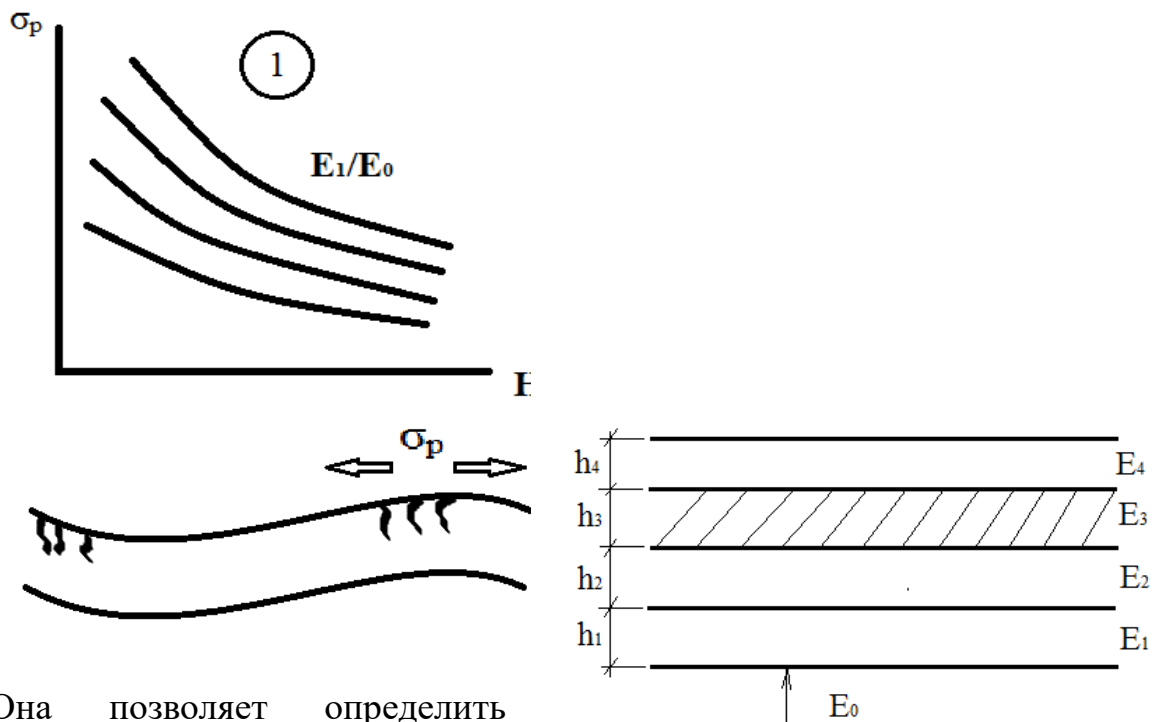
Максимальную структурную прочность ( $R_C$ );

Значения  $R_{И}$  и  $R_C$  находят экспериментально, либо в исключительных случаях принимают по таблице.

Величина растягивающих напряжений от действия расчетной нагрузки в монолитном слое  $\sigma_p$ ;

Значение  $\sigma_p$  определяют расчетом моделей д.о. с помощью адаптивных программных комплексов. Допускается использовать упрощенные номограммы трех видов:

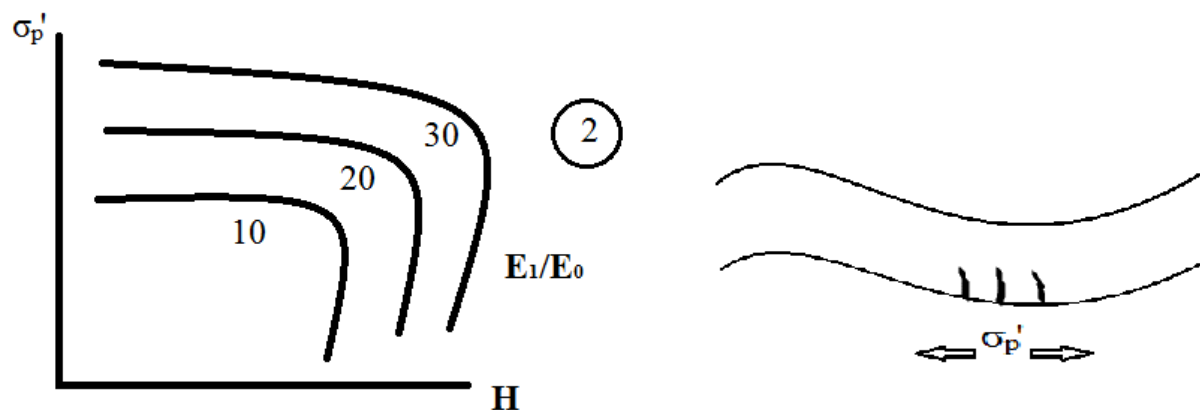
1-ый вид:



Она позволяет определить растягивающие напряжения только в верхней зоне покрытия.

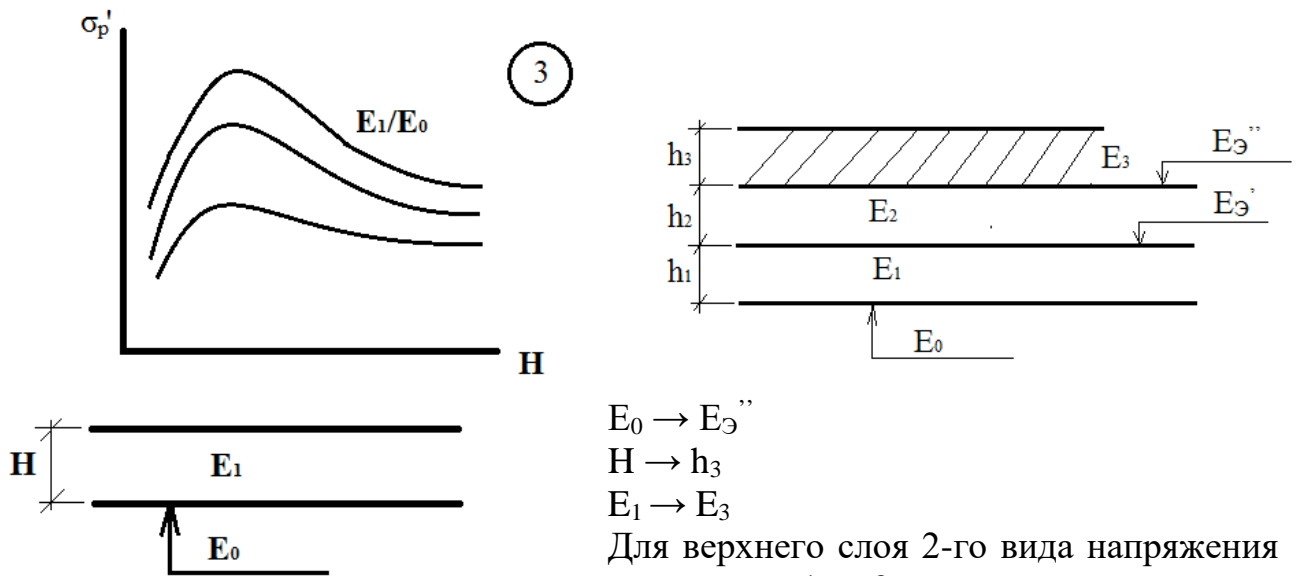
2-ой вид:

Применяется для расчета напряжений в нижней зоне слоя ( $\sigma_p'$ ) при наличии сцепления данного слоя с нижележащим слоем, т.е. если нижележащий слой обработан вязущими материалами.



3-ий вид:

Применяется для определения растягивающих напряжений в нижней растянутой зоне ( $\sigma_p'$ ) при отсутствии сцепления слоя с нижележащим слоем, т.е. если слой уложен не на укрепленное основание.



3

$E_0 \rightarrow E_3''$   
 $H \rightarrow h_3$   
 $E_1 \rightarrow E_3$

Для верхнего слоя 2-го вида напряжения по номограмме 1 и 2, в расчет принимается большее значение, если рассматривается нижний слой – 2-ой, то  $E_0 \rightarrow E_3'$ ,  $H = h_2 + h_3$ .

$$E_1 = \frac{E_2 \cdot h_2 + E_3 \cdot h_3}{h_2 + h_3},$$

Для первого слоя:  $H = h_1 + h_2 + h_3$ ,  $E_1 = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + E_3 \cdot h_3}{h_1 + h_2 + h_3}$  – используется номограмма 2.

Если между слоем  $h_1$  и  $h_2$  нет сцепления, то все тоже самое, только пользуются номограммой 3.

Расчетная температура равна  $0^\circ\text{C}$ .

Для определения  $\Psi$  поступают следующим образом:

Определяют интенсивность движения по сезонам года (весна-зима-лето-осень):

$$\sum N_{pi} = \sum N_p \cdot a,$$

$a$  – коэффициент сезонности (по таблице).

Определяют предельное число воздействий расчетной транспортной нагрузки для каждого сезона:

$$\sum N_{pi}^{np} = (\beta \cdot \frac{R_{ii}}{\sigma_p})^m,$$

$\beta, m$  – коэффициенты, зависящие от сезона.

Определяют уровень работоспособности для каждого сезона:

$$F_i = 1 - \frac{\sum N_{pi}}{\sum N_{pi}^{np}}$$

Определяют приведенные уровни работоспособности к весеннему периоду:

$$F_n = f(F_i; \frac{R_{ii}}{R_c}),$$

Определяют уровень работоспособности от перепадов температуры:

$$F_T = f(T; W),$$

где  $T$  – срок службы д.о.

$W$  – параметр, зависящий от свойств материала и расположения слоя(верхний, средний, нижний).

Определяют уровень работоспособности от попеременного замораживания-оттаивания:

$$F_M = f(T; W),$$

Определяют общий приведенный уровень работоспособности от действия транспортной нагрузки, перепадов температуры и замораживания-оттаивания:

$$F_n^o = f(F_n, F_T, F_M);$$

Определяют уровень повреждаемости структуры:

$$\Psi = f(F_n^o),$$

Проверяем условие устойчивости:

$$\Psi \leq [\Psi];$$

Если условие не выполняется, то увеличивают толщину слоя либо толщину нижележащих слоев(подстилающего дополнительного слоя) – это позволяет уменьшить  $\sigma_p$ . Если большие значения  $F_M$  и  $F_T$ , то возможно замена материала на более плотный либо ограничения параметра водонасыщения материала.

## 5.8 Расчет дренающего слоя(осушения д.о.)

При избыточном увлажнении грунт з/п резко теряет несущую способность, прочностные и деформационные характеристики снижающиеся в 10 и более раз по сравнению с сухим состоянием( оптимальной влажности). В результате падает надежность д.о. и снижаются сроки её службы → предусматриваются специальные меры по осушению(отводу воды) верхней части грунта з.п. Снижение прочности наблюдается не у всех видов грунтов, особенно сильно влияет увлажнение на тонкодисперсные грунты с низким коэффициентом фильтрации  $K_f < 0,5$ м/сутки.

К таким грунтам относятся:

все пылеватые грунты(пески; супеси; суглинки)

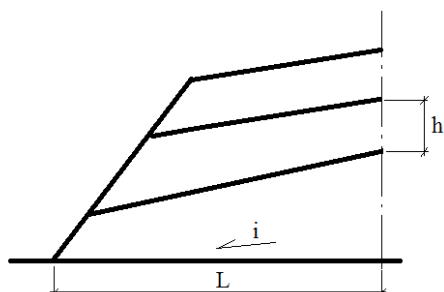
все виды глинистых грунтов

суглинистые грунты

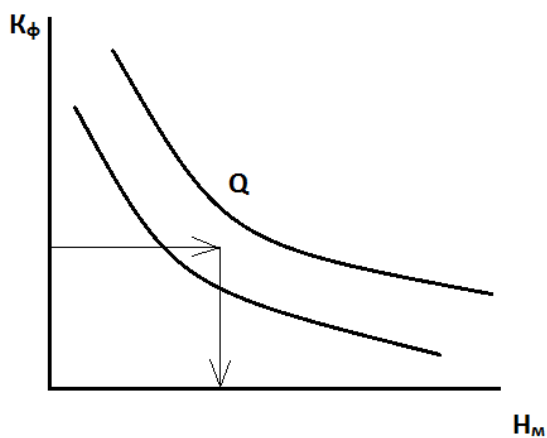
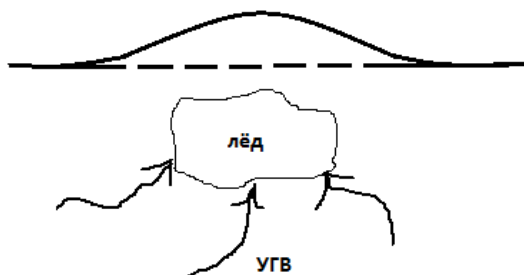
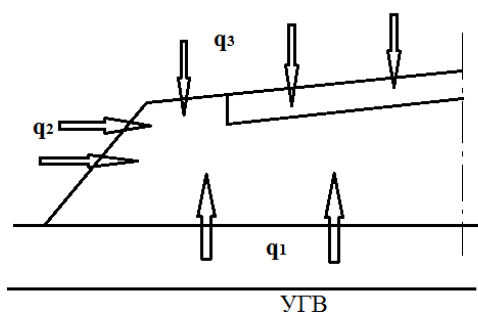
тяжелые супеси

В остальных случаях проекты по осушению не разрабатываются. Осушение з/п в основном производят путем устройства дренающего слоя.

Обычно эту функцию(ф-цию дренающего слоя) выполняет дополнительный слой основания( или подстилающий).



Дренающий слой устраивается из песков либо ПГС с  $K_f \geq 1$ м/сутки. Дренающий слой отсыпают на всю ширину з/п (до откоса). Параметры дренающего слоя ( толщина и уклон) должны обеспечить размещение в порах слоя всей подстилающей воды в единицу времени с подстилающим её отводом на откос.



Толщина дренирующего слоя.  
 $q_1$  – грунтовые воды, которые поднимаются вверх по порам грунта;  
 $q_2$  – поверхностные воды (атмосферные осадки), поступающие через обочины и откосы и дефекты покрытия –  $q_3$ .

Суммарный расход:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$$

Величина  $Q$  зависит в общем случае от района строительства, вида грунта з/п, уровня грунтовых вод, конструкции з/п, ширины обочин и крутизны откосов, вида материала покрытия, наличия кювета.

Толщина дренирующего слоя определяется следующими параметрами:

$$h_d = f\left(\frac{Q, L}{i, K_{\phi}}\right),$$

где  $Q$  – расход поступающей воды;

$L$  – длина пути фильтрации воды, зависящая от ширины з/п или категории дороги;

$i$  – уклон дренирующего слоя;

$K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации материала дренирующего слоя.

Для расчета  $h_d$  в РБ используется упрощенная методика основанная на данных многолетних наблюдений. В соответствии с этой методикой толщину дренирующего слоя определяют по

формуле:

$$h_d = B \cdot H_m \cdot K_c + \Delta h,$$

$B$  – параметр, зависящий от длины пути фильтрации и категории дороги;

$H_m$  – толщина дренирующего слоя полностью насыщенного водой;

$K_c$  – коэффициент, учитывающий снижение коэффициента фильтрации в процессе эксплуатации (заиливание).  $K_c = 1,0 \div 1,1$ , большее значение для легких песков.

$\Delta h$  – запас ( $\Delta h = 15 \div 25$  см), большее значение для мелких песков.

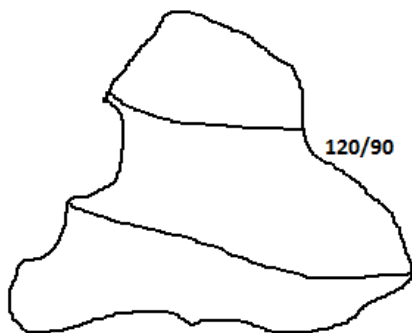
Величину  $H_m$  определяют по номограммам вида:

$Q$  – принимается по таблице в зависимости от вида грунта, конструкции з/п и района строительства.

## 5.9 Морозоустойчивость д.о. Расчет толщины морозозащитного слоя

Если грунт з/п сложен из медленно фильтрующих тонкодисперсных грунтов, то он склонен к пучинообразованию.

Пучины – это неравномерный подъем грунта при его промерзании за счет образования в его толще крупных ледяных глыб, которые увеличиваются за счет поступления грунтовых и поверхностных вод, поскольку при замерзании вода увеличивается в объеме до 10%, то образуется пучина. Высота пучин может достигать 1 и более метров, что снижает безопасность движения. При



оттаивании в районе пучины грунт переувлажняется и теряет несущую способность, что приводит к появлению проломов и просадок д.о., поэтому при наличии опасности пучинообразования предусматриваются специальные меры по их предотвращению. Данные меры называют морозозащитой д.о.. Условие морозозащиты д.о. представляется в виде:

$$Z_{\phi} < [Z]$$

$Z_{\phi}$  – фактическая величина пучения д.о.

$[Z]$  – допустимая величина пучения.

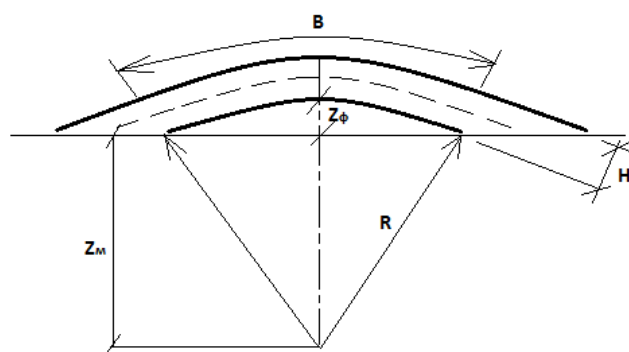
При расчете  $Z_{\phi}$  находят из предположения, что пучение д.о. осуществляется по окружности радиусом  $R$ .

$Z_m$  – глубина промерзания грунта;

$B$  – длина окружности;

$H$  – общая толщина д.о.;

$B = b/2$  (для расчета)



$b$  – ширина проезжей части.

Расчеты выполняются для данной модели:

$$Z_{\phi} = f\left(\frac{Z_m, K_{\text{пуч}}}{H, B}\right),$$

$K_{\text{пуч}}$  – коэффициент пучения грунта, зависит от вида грунта и расположения УГВ;

Чем больше числитель, тем больше  $Z_{\phi}$ .

$[Z]$  зависит от условий безопасности движения и вида материала покрытия. Чем жестче материал покрытия, тем меньше связано это с тем, что чем жестче материал, тем больше в нем напряжение от образования пучины, что может привести к растрескиванию покрытия. В настоящее время принято:

$$[Z] = 2 \text{ см} - \text{ц/б}$$

$$= 4 \text{ см} - \text{а/б}$$

$$= 6 \text{ см} - \text{обработка битумом.}$$

В РБ проверку морозоустойчивости производят на упрощенной методике, условие морозоустойчивости имеет вид:

$$H \geq [H],$$

$H$  – фактические суммарные толщины всех слоев д.о.;

$[H]$  – допустимая толщина слоев д.о.

$$H = \sum h_i$$

$[H]$  находят по карте изолиний. В числителе для капитального типа, а в знаменателе для облегченного типа.

Если условие не выполняется, то необходимо увеличить толщину д.о. на величину  $\Delta h$ .

$$\Delta h = [H] - H,$$

Обычно это увеличение производят за счет нижнего подстилающего слоя д.о. – данный слой называют морозозащитным.

## 5.10 Конструирование проезжей части и составления карточки д.о

Конструирование проезжей части заключается в расположении конструкции д.о. в пределах з.п. с указанием толщин слоев, ширины и уклона.

Существует 2 варианта:

При наличии дренирующего и морозозащитного слоя:

1,2,3 – монолитные слои дорожной одежды, укрепленные вяжущими материалами;

4 – неукрепленное основание;

5 – дополнительный слой.

Толщины слоев указываются:

$v$  – ширина п.ч., зависит от категории;

$c$  – ширина полосы безопасности;

$a$  – ширина обочины.

При отсутствии дренирующего слоя конструкция имеет вид:

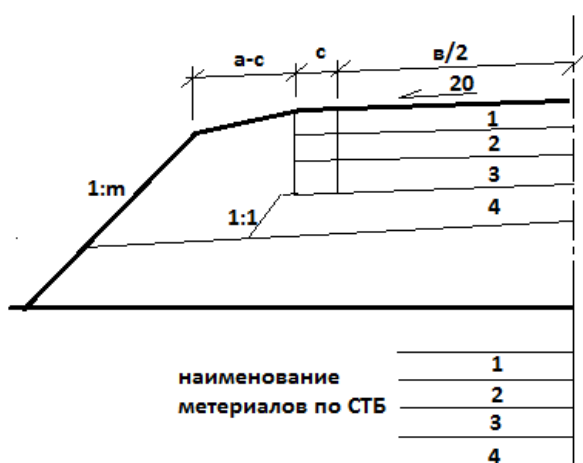
После разработки конструкции составляют карточку дорожной одежды.

Карточка д.о. – таблица особой

формы, в которой указывается наименование слоев и расход материалов на устройство каждого слоя, а также укрепленные обочины.

Для заполнения карточки рассчитывается площадь поперечного сечения каждого слоя, затем рассчитывается объем материала необходимого на устройство  $1000\text{м}^2$  покрытия. Для расчета объема на  $1000\text{м}^2$  рассчитывают объем погонного метра.

$$W = f1000/B; B = v+2c.$$



## Тема 6. Конструирование и расчет д.о. при реконструкции и капитальном ремонте.

### 6.1 Способы реконструкции з/п и проезжей части.

### 6.2 Диагностика материала дорожного покрытия и дорожной одежды.

### 6.3 Определение общего эквивалентного модуля упругости дорожной одежды

### 6.4 Мероприятия по борьбе с отраженными дефектами

#### 6.4.1. Оценка состояния покрытия в курсовом проекте

### 6.1 Способы реконструкции з/п и проезжей части

Через определенный срок эксплуатации равный расчетному, д.о. снижает свой уровень надежности и её геометрические и эксплуатационные параметры входят в противоречие с фактической интенсивностью и составом транспортного потока. В результате возникает необходимость реконструкции или капитального ремонта дороги или проезжей части.

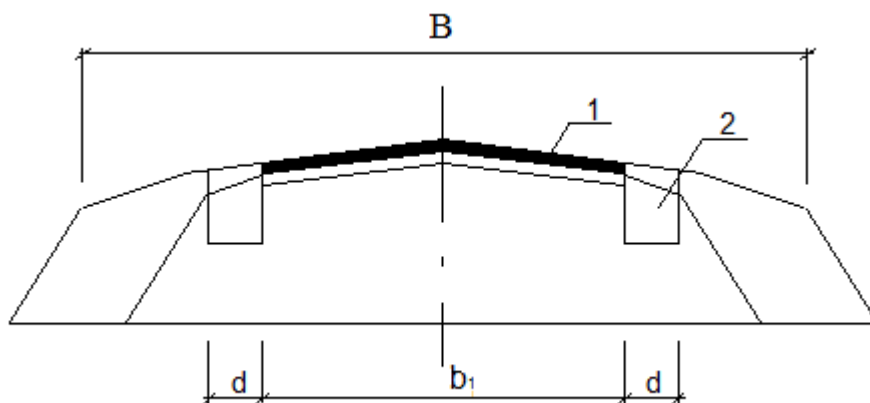
Под реконструкцией понимают перевод дороги к более высокой категории. Реконструкция производится если интенсивность движения не соответствует принятой категории дороги.

При реконструкции изменяется не только толщина д.о., но и геометрические размеры п.ч. (в сторону увеличения).

При капитальном ремонте категории не меняются и её физические параметры тоже. Производится только усиление д.о. в соответствии с существующим транспортным потоком (возможно применение более высокой расчетной нагрузки).

Возможны два способа реконструкции з/п и д.о. от принятого способа реконструкции зависит конструирование п.ч. и объемов работ.

Симметричное двухстороннее уширение земляного полотна и проезжей части.



$B$  – ширина земляного полотна при реконструкции дороги;

$b_1$  – ширина проезжей части существующей дороги;

$b_2$  – ширина проезжей части дороги после реконструкции;

$d$  – ширина симметричного уширения;

$$d = 0,5(b_2 - b_1)$$



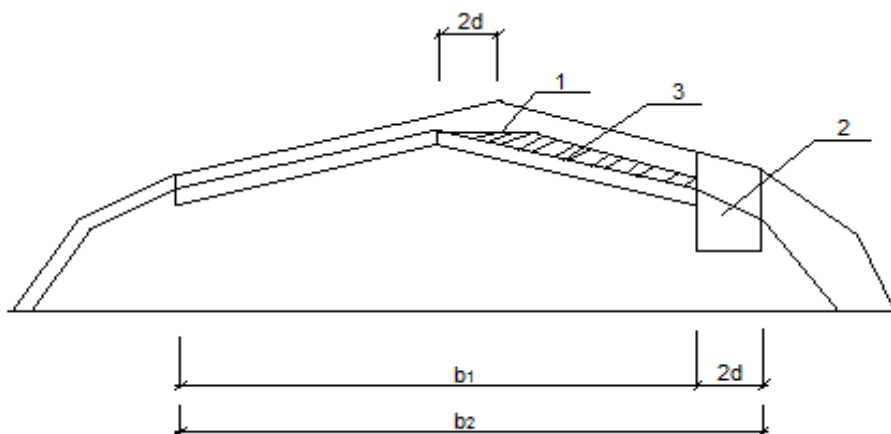
1 – усиление существующей дорожной одежды( как при капитальном ремонте);

2 – новая конструкция;

Достоинства такого способа: минимальный объем работ, соответствие и стоимость, удобство выполнения разбивочных работ и организация строительства.

Недостаток: технологическая трудность устройства и уплотнения слоёв в ровниках уширения в виду их небольшой ширины (0,5 – 1м).

Одностороннее уширение.



Смещается ось дороги на  $2d$  вправо или влево, соответствующее уширение производится с одной стороны, что упрощает технологию строительства.

Недостаток: перерасход материала при устройстве покрытия.

1 – усиление;

2 – новая конструкция.

## 6.2 Диагностика материала дорожного покрытия и дорожной одежды

Диагностика – сбор и обработка данных, необходимых для разработки проекта, реконструкции и усиления дорожной одежды.

Выполняют в полевых и камеральных условиях с последующей обработкой полученных данных.

При диагностике выполняют следующие виды работ:

1) Визуальное обследование существующей дорожной одежды с фиксацией деформаций и разрушений и замером их площадей.

2) Отбор проб материалов дорожной одежды (особенно монолитных материалов) с оценкой толщины слоёв и определением свойств материалов в лаборатории.

3) Измерение или расчет фактического, эквивалентного модуля упругости дорожной одежды.

4) Наблюдение за составом и интенсивностью движения транспортного потока, а также прирост интенсивности движения.

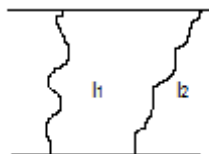
5) Измерение ровности дорожного покрытия.

При визуальном обследовании выявляются места с наличием следующих деформация и разрушений:

Пластических деформаций ( волн, колеи, гребенки и т.д. ).

Замеряется площадь деформаций и суммируется. Общая площадь  $F_1$ .

Фиксируются деформации в виде температурных трещин с измерением их длины. Определяют площадь температурных трещин:



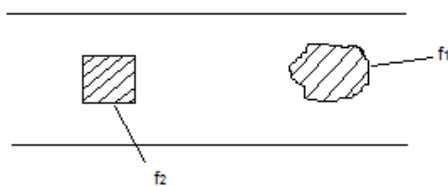
$$F_2 = 2 * \sum l_i$$

3. Фиксируются усталостные трещины в виде сетки трещин или отдельно по полосам наката.



Определяется суммарная площадь  $F_3$ .

4. Фиксируется площадь коррозионных деформаций в виде шелушений, выбоин, выкрашиваний.



Определяются площадь деформаций и суммируют:  $P_4$ .

Расчетом получают фактическое уравнение надежности на момент испытания.

$$P_\phi = \sqrt[4]{\left(1 - \frac{F_1}{F_0}\right) \left(1 - \frac{F_2}{F_0}\right) \left(1 - \frac{F_3}{F_0}\right) \left(1 - \frac{F_4}{F_0}\right)}$$

$F_0$  - общая площадь обследуемой д.о.

Пробы материалов доставляют в лабораторию, где фиксируются толщины слоёв и свойства материалов.

На основе проведения испытаний определяют перспективное уравнение надежности.

$$P_M = \sqrt[4]{P_1 P_2 P_3 P_4}$$

$P_1 - P_4$  - уровни надежности материала, пластическим деформациям, температурные и усталостные трещины, коррозионная деформация;

$P_1 - P_4$  определяют по специальному методу на основе испытаний образцов материала.

Экспериментально, либо расчетом определяют уровень повреждаемости  $\Psi$ :  
Окончательно вычисляю общий уровень по условию:

$$P_0 = \sqrt{P_\phi * P_M (1 - \psi)}$$

Полученное значение  $P_0$  сравнивают с предельно-допустимым значением

$$P_0 \rightarrow [P_0]$$

$[P_0]$  зависит от категории дороги, типа покрытия.

$$[P_0] = 0,5 \div 0,8$$

На основе сравнения  $P_0$  и  $[P_0]$  принимаем одно из важных решений о сохранении либо удалении материала старого покрытия, если  $P_0 \geq [P_0]$  - материал м.б. сохранен; если  $P_0 < [P_0]$  - то удален и не должен использоваться в конструкции.

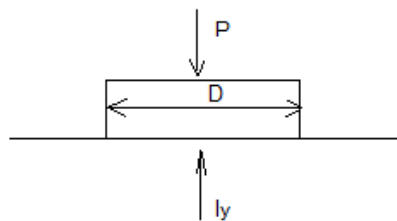
Причем рассматриваются все слои покрытия.

Кроме  $P_0$  определяются все необходимые расчетные характеристики материалов (модуль упругости,  $C$  и т.д.)

Кроме стандартного дополнительно определяется модуль релаксации  $E_{t(-15)}$  при  $t=-15^\circ\text{C}$  для каждого слоя покрытия.

### 6.3 Определение общего эквивалентного модуля упругости дорожной одежды

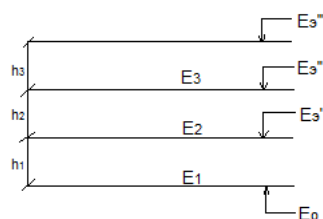
Можно вычислить путем непосредственных измерений либо расчетом. Для непосредственных измерений используют различные приборы



$$E = \frac{P \cdot D(1 - \mu)}{l_y}$$

$P$  – удельное давление на штамп(на ед. площади)

При расчетном методе замеряют толщины слоев, в лаборатории определяют модули упругости при  $10^\circ\text{C}$ .



Расчетом снизу вверх.

На поверхности и будет эквивалентный модуль.

Расчетные модули упругости корректируется на величину  $P_0$ .

$$E_p = E_n P_0$$

Проводят наблюдения за составом и интенсивностью движения. Это необходимо для выбора расчетной нагрузки, определяются требуемый модуль упругости и др.

Измеряют ровности существующего покрытия. Измеряют рейкой или в лаборатории, фиксируя в виде международного индекса IRI.

В зависимости от IRI применяют решения о необходимости устройства выравнивающего слоя.

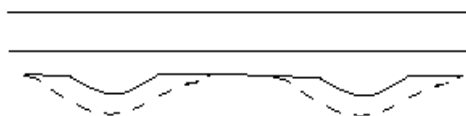
#### 6.4 Мероприятия по борьбе с отраженными дефектами

Старое покрытие и д.о. в целом имеет ряд дефектов. При устройстве новых слоев покрытия эти дефекты могут развиваться дальше, что приводит к сокращению срока службы и потере эксплуатационных показателей.

Наиболее опасны дефекты в виде пластических деформаций и температурных трещин.

Дефекты, появляющиеся на новом покрытии в следствие их наличия в старом называются отраженными.

Нет гарантии развития колеи дальше.



Для исключения отраженных дефектов пластических деформаций необходимо проверять условие сдвигоустойчивости старых конструктивных слоев к пластическим деформациям (см. выше).

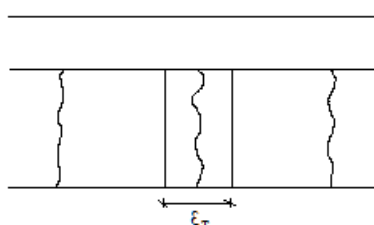
$$\kappa_3 \geq \frac{KC}{B\tau} + 6tg\varphi$$

Если не выполняется этот критерий, то нужно увеличить толщину нового покрытия или применить более прочный материал.

Наиболее интенсивно развивающиеся отраженные трещины.



В новом покрытии над трещиной возникает концентрация напр. и через год-два экспл. появляется отраженная трещина.



Старое покрытие разбито на блоки. При охлаждении эти блоки стремятся уменьшить свои размеры. Возник. температурные деформации.

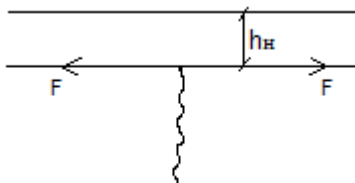
$$\varepsilon_m = \frac{\alpha\Delta T}{1 - \mu^2}$$

$\alpha$ - коэффициент линейного температурного расширения старого покрытия.  
 $\Delta T$  – расчетный перепад температуры в сторону понижения  
 $\mu$ - коэффициент Пуассона

В связи с наличием сцепления между старым и новыми слоями данная деформация не м.б. реализована, что приводит к появлению температурных напряжений.

$$\sigma_m = \varepsilon_m * E_t$$

$E_t$  - модуль релаксации материала старого покрытия при расчетной низкой температуре.



В результате возникает сила  $F$ , стремящаяся разорвать материал нового покрытия.

На один погонный м ширины покрытия эта сила:

$$F = G_m * h_c$$

$h_c$  – толщина старого покрытия.

Сила  $F$  вызывает напряжение в новом покрытии, равная:

$$\sigma_{m1} = \frac{F}{h_n}$$

$h_n$  - толщина нового покрытия.

Разрушение материала нового покрытия произойдет, если  $\sigma_{m1}$  будет больше прочности материала нового покрытия на растяжение.

Окончательно получим условие отсутствия отраженных трещин:

$$\sigma_{t1} = \frac{\varepsilon_m E_t h_c}{h_n} \leq R_p$$

Вероятность появления отраженных трещин будет тем больше, чем выше жесткость и толщина старого покрытия и меньше, чем выше толщина нового покрытия и его прочность.

Существует достаточно много методов борьбы с отраженными трещинами, но на практике наиболее эффективны оказались следующие

3 способа:

1. Уменьшение толщины старого покрытия, путем удаления части слоя  $\Delta h$  (фрезеровка).

2. Разделка трещин с устройством прослойки (на ширину  $L$ ) из специальной щебне - мастичной смеси (или плотного, литого, и др. видов асфальтобетона).

3. Комбинированный способ.

#### 6.4.1. Оценка состояния покрытия в курсовом проекте

Расчет реконструкции дорожных одежд принимаем для дороги III категории с капитальным типом покрытия (по заданию – на категорию выше, чем по расчету в первом разделе).

По указанию руководителя может быть принята II категория.

Уровень дефектности определяем по условию

$$ДП = 1 - \sqrt[4]{(1-F_1)(1-F_2)(1-F_3)(1-F_4)}, \quad (6.9)$$

где  $F_1, F_2, F_3, F_4$  – относительные площади дорожного покрытия, занятые пластическими, хрупкими, усталостными и коррозионными деформациями по заданию.

$$\begin{aligned} ДП &= 1 - \sqrt[4]{(1-F_1)(1-F_2)(1-F_3)(1-F_4)} = \\ &= 1 - \sqrt[4]{(1-0,3) \cdot (1-0,4) \cdot (1-0,5) \cdot (1-0,4)} = 0,40. \end{aligned}$$

Коэффициент надежности

$$K_n = 1 - ДП = 1 - 0,40 = 0,60.$$

Допустимый коэффициент надежности составит 0,8 по таблице:

Допустимый коэффициент надежности  
дорожной одежды  $K_n^{доп}$

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Допустимый коэффициент надежности $K_n^{доп}$
Капитальный	I	0,80
	II	
	III	
	IV	
Облегченный	III	0,70
	IV	
	V	
Переходный	IV	0,50

Так как  $K_n < K_n^{доп}$  ( $0,6 < 0,8$ ), принимаем решение об удалении старого покрытия (покрытие фрезеруют).

*Определение допустимой ровности покрытия.*

Фактическая ровность на момент диагностики составила 10 мм/м (по заданию).

Определим допустимую ровность по формуле:

Для дороги третьей категории

$$IRI_0 = 2,0 \text{ мм/м}, B=0,0677.$$

Значение показателя  $IRI_0$  и коэффициента  $B$

Категория дороги	I	II	III	IV
$IRI_0, \text{мм/м}$	1,5	2,0	2,0	2,5
$B, \text{год}^{-1}$	0,0559	0,0644	0,0677	0,0403

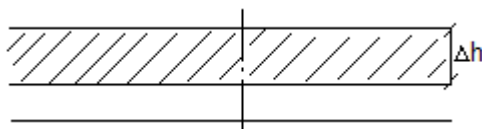
Срок службы покрытия  $T_{\text{сл}}$  в данном случае составляет 11 лет (см. табл. 1.5).

$$IRI_{\text{доп}} = 2 \exp(0,0677 \cdot 11) = 4,2 \text{ мм/м}.$$

Фактическая ровность (10 мм/м) больше допустимой (4,2 мм/м), что требует устройства выравнивающего слоя.

Для расчета на критерий устойчивости к отраженным трещинам в качестве материала выравнивающего слоя можно принять песчаный или мелкозернистый пористый асфальтобетон, в качестве материала несущего слоя – крупнозернистый или мелкозернистый пористый или плотный асфальтобетон.

1. Уменьшение толщины старого покрытия, путем удаления части слоя  $\Delta h$  (фрезеровка).



**Пример из методички для лучшего понимания!** Эксплуатируемая дорожная одежда состоит из двух асфальтобетонных слоев: первого – средняя толщина 4 см и второго – средняя толщина 6 см. Общий вид конструкции дорожной одежды представлен на рисунке ниже:

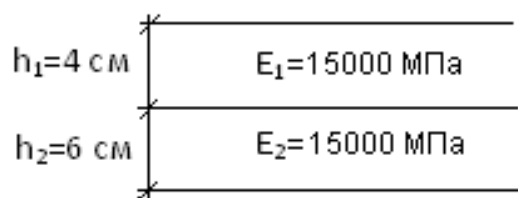


Рисунок - Общий вид эксплуатируемой дорожной одежды

Указаны модули упругости асфальтобетонных слоев при температуре – 15 °С (по заданию  $E = 15\,000 \text{ МПа}$ ).

По расчету предусматривается удаление старого покрытия (в данном случае – 4 см). Устойчивость к отраженным трещинам рассматриваем для слоя 6 см (10см – 4 см).

По графику, в зависимости от толщины старого покрытия (6 см) и среднего модуля упругости при температуре –15 °С – 15 000 МПа, определяем значение растягивающих напряжений в нижней части слоя, которое составит 3,3 МПа.

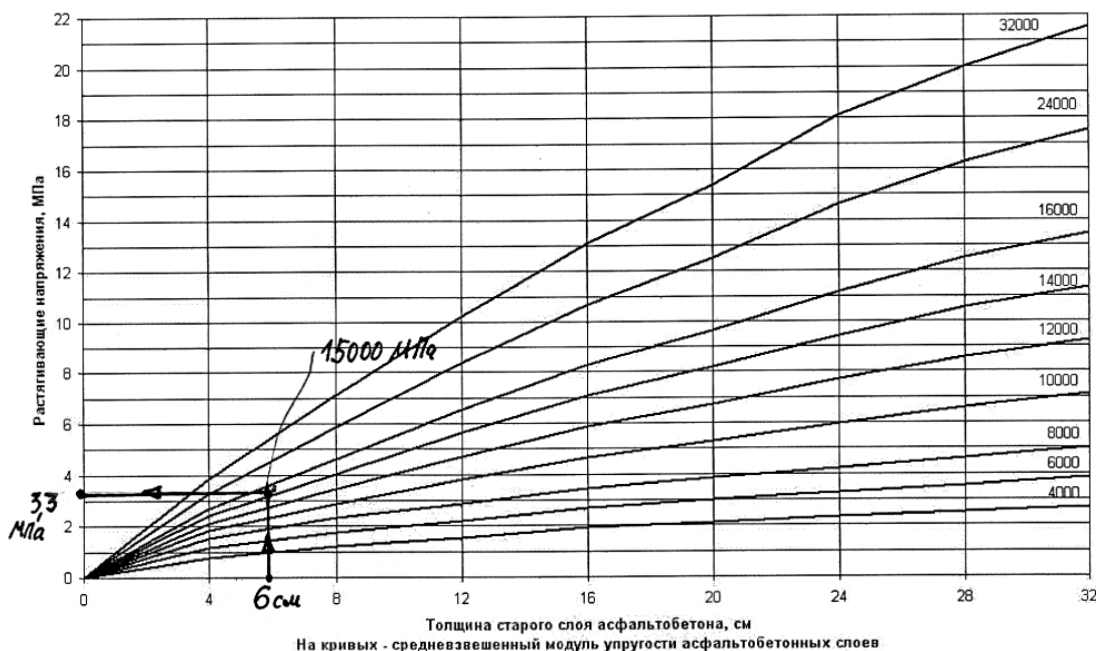


Рисунок - Зависимость растягивающих напряжений в нижней части слоя асфальтобетона от толщины старого слоя и его средневзвешенного модуля упругости при температуре –15°С

Для песчаного асфальтобетона типа Г марки 1 (принят в качестве выравнивающего слоя) значение  $R_c$  составляет 10,0 МПа.

Предельное напряжение при растяжении:

$$\sigma_p^{\text{пред}} = 0,2R_c = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие устойчивости отраженным трещинам по формуле:

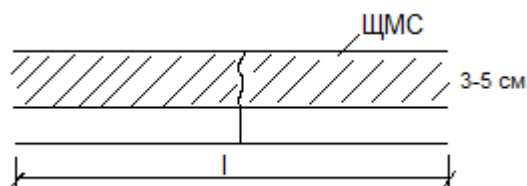
$$\sigma_t \leq 0,2R_c$$

$$3,3 \geq 2.$$

Условие не выполняется, тогда можно использовать метод от обратного и на график нанести  $\sigma_p^{\text{пред}} = 2$  МПа, и посмотреть какая толщина фрезеровки понадобится, чтобы выполнялось условие! ( $\sigma_t \leq 0,2R_c$ )



2. Разделка трещин с устройством прослойки (на ширину  $L$ ) из специальной щебне - мастичной смеси (или плотного, литого, и др. видов асфальтобетона).



**Пример из методички для лучшего понимания!** *Разработка мероприятий по борьбе с отраженными трещинами.*

Эксплуатируемая дорожная одежда состоит из двух асфальтобетонных слоев: первого – средняя толщина 4 см и второго – средняя толщина 6 см. Общий вид конструкция дорожной одежды представлен на рисунке:

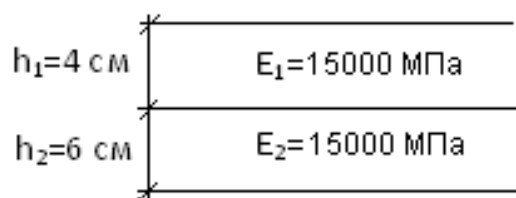


Рисунок - Общий вид эксплуатируемой дорожной одежды

Указаны модули упругости асфальтобетонных слоев при температуре – 15 °С (по заданию  $E = 15\ 000$  МПа).

К примеру по расчёту нам не нужна фрезеровка, тогда вид расчёта будет такой!

По графику, в зависимости от толщины старого покрытия (10 см) и среднего модуля упругости при температуре –15 °С – 15 000 МПа, определяем значение растягивающих напряжений в нижней части слоя, которое составит 3,3 МПа.

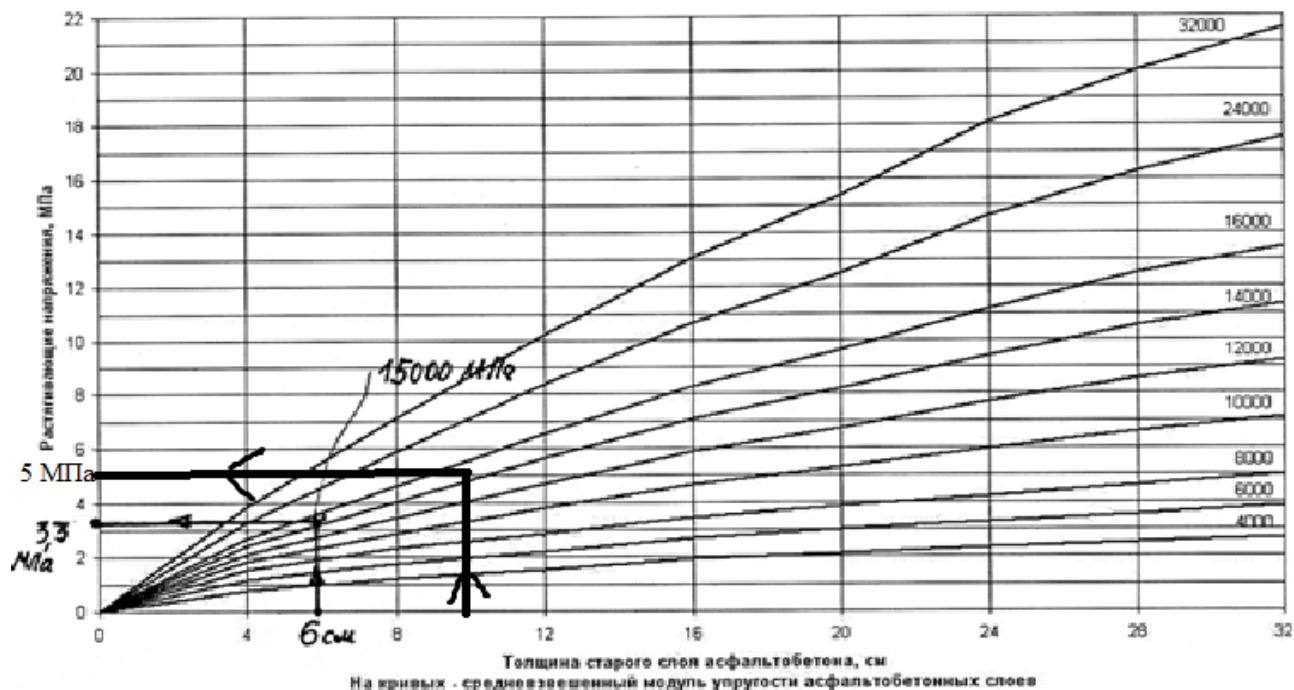


Рисунок - Зависимость растягивающих напряжений в нижней части слоя асфальтобетона от толщины старого слоя и его средневзвешенного модуля упругости при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$

Для песчаного асфальтобетона типа Г марки 1 (принят в качестве выравнивающего слоя) значение  $R_c$  составляет  $10,0 \text{ МПа}$ .

Предельное напряжение при растяжении:

$$\sigma_p^{\text{пред}} = 0,2R_c = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие устойчивости отраженным трещинам по формуле:

$$5 \geq 2.$$

Условие не выполняется, следовательно, нужно предусмотреть мероприятия по борьбе с отраженными трещинами. Учитывая уровень перенапряжения, рассмотрим только разделку трещин, возможна она подойдет (при разделке трещин, L-шина разделки не должна превышать  $70 \text{ см}$ , иначе не целесообразно!) . Коэффициент снижения растягивающих напряжений составит 5.

По графику, определяем отношение ширины разделки трещин к толщине старого слоя асфальтобетона (в данном случае это отношение составляет  $0,16$ ).

Следовательно, ширина разделки составит

$$10 \cdot 0,42 = 4,2 \text{ см.}$$

Поскольку ширина разделки 4,2см (не более 70 см), достаточно выполнить разделку трещин с помощью специальной фрезы (вообще с этим видом ремонта нужно быть аккуратнее и смотреть какое навесное оборудование есть у организации для фрезерования, если его нет вообще, то от такого ремонта придётся отказаться (или можно когда ширина разделки до 3см, или спрашивать у организации смогут ли рабочие бензорезом вырезать рассчитанную ширину и выбить её отбойным молотком!). Если этот метод не подходит, то необходимо связаться с организацией и узнать о имеющемся оборудовании или сделать несколько вариантов расчёта (комбинированный и просто полного фрезерования (на рассчитываемую глубину)). Для студентов (можно принять на своё усмотрение или по рекомендации руководителя проекта)!

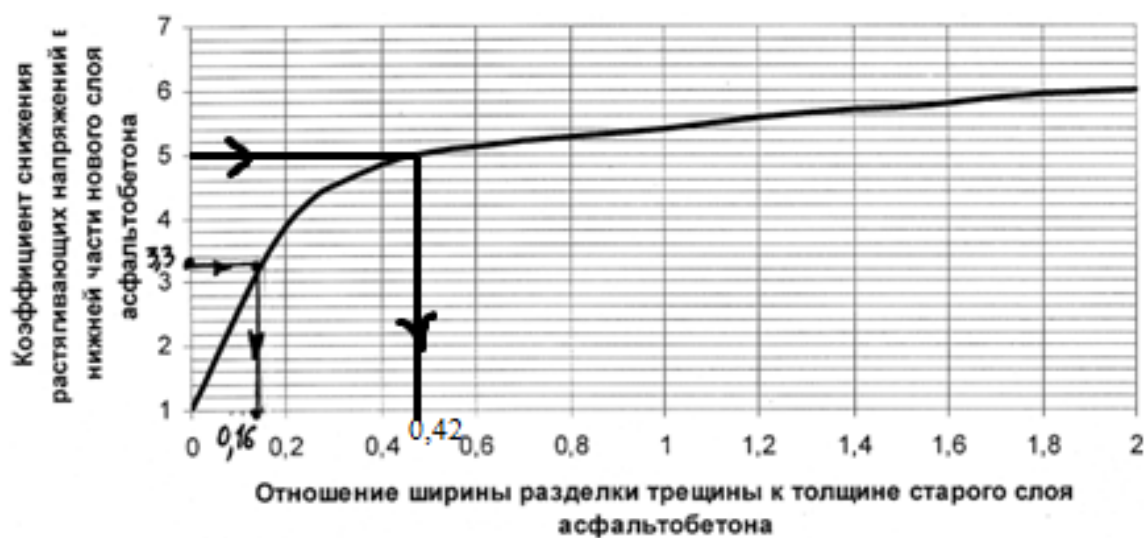
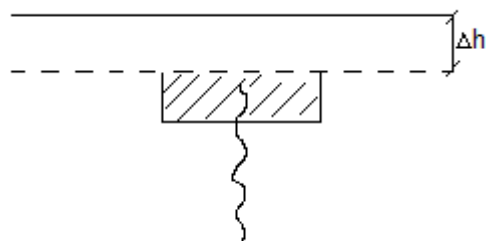


Рисунок - Зависимость ширины разделки трещины от коэффициента снижения растягивающих напряжений

### 3. Комбинированный способ.



Поскольку ровность неудовлетворительная, принимаем трехслойное покрытие, включающее выравнивающий слой, нижний несущий слой и слой

покрытия. Нижний (выравнивающий) слой принимаем из песчаного асфальтобетона типа Г марки 1.

**Пример из методички для лучшего понимания!** *Разработка мероприятий по борьбе с отраженными трещинами.*

Эксплуатируемая дорожная одежда состоит из двух асфальтобетонных слоев: первого – средняя толщина 4 см и второго – средняя толщина 6 см. Общий вид конструкция дорожной одежды представлен на рисунке:

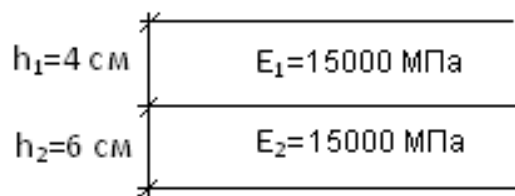


Рисунок - Общий вид эксплуатируемой дорожной одежды

Указаны модули упругости асфальтобетонных слоев при температуре – 15 °С (по заданию  $E = 15\,000\text{ МПа}$ ).

По расчету предусматривается удаление старого покрытия (в данном случае – 4 см). Устойчивость к отраженным трещинам рассматриваем для слоя 6 см (10 см – 4 см).

По графику, в зависимости от толщины старого покрытия (6 см) и среднего модуля упругости при температуре –15 °С – 15 000 МПа, определяем значение растягивающих напряжений в нижней части слоя, которое составит 3,3 МПа.

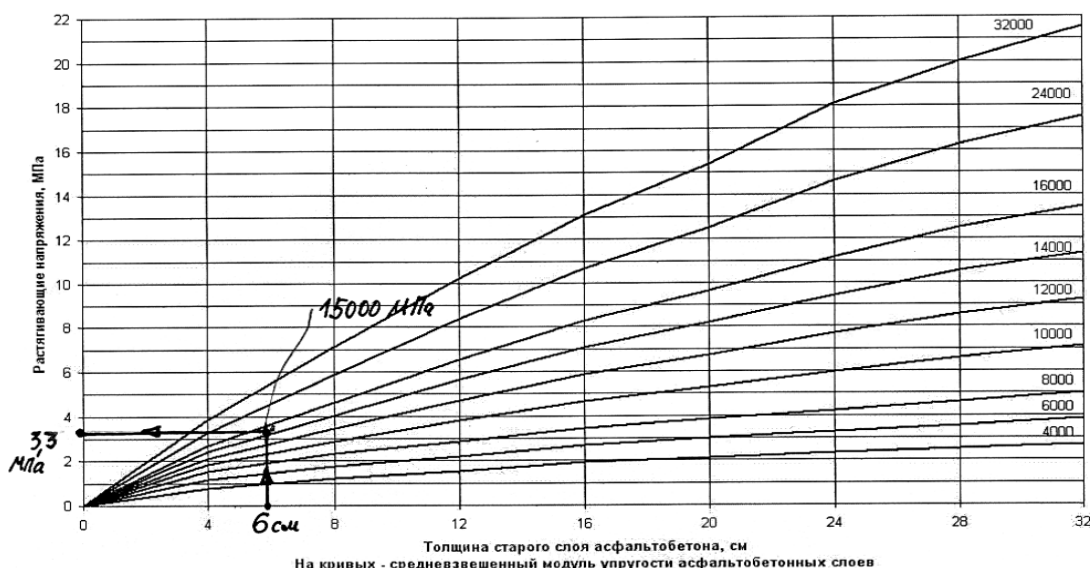


Рисунок - Зависимость растягивающих напряжений в нижней части слоя асфальтобетона от толщины старого слоя и его средневзвешенного модуля упругости при температуре –15°С

Для песчаного асфальтобетона типа Г марки 1 (принят в качестве выравнивающего слоя) значение  $R_c$  составляет 10,0 МПа.

Предельное напряжение при растяжении:

$$\sigma_p^{\text{пред}} = 0,2R_c = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие устойчивости отраженным трещинам по формуле:

$$3,3 \geq 2.$$

Условие не выполняется, следовательно, нужно предусмотреть мероприятия по борьбе с отраженными трещинами. Учитывая небольшой уровень перенапряжения, рассмотрим только разделку трещин. Коэффициент снижения растягивающих напряжений составит 3,3.

По графику, определяем отношение ширины разделки трещин к толщине старого слоя асфальтобетона (в данном случае это отношение составляет 0,16).

Следовательно, ширина разделки составит

$$6 \cdot 0,16 = 0,96 \text{ см.}$$

Поскольку ширина разделки менее 1 см, достаточно выполнить ремонт и герметизацию трещин.

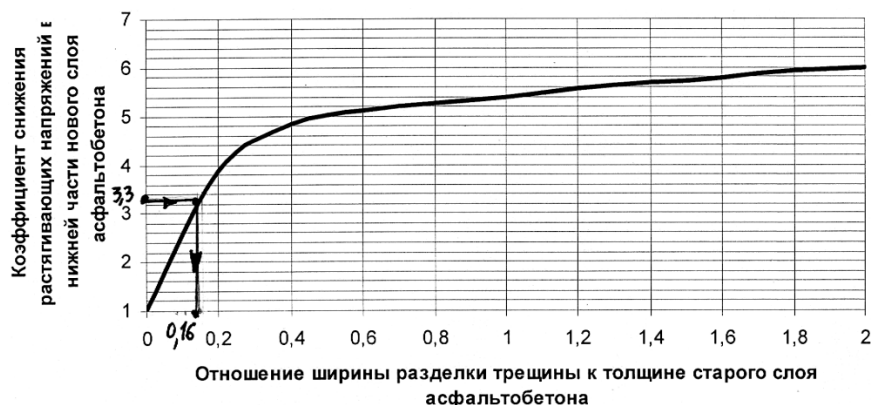


Рисунок - Зависимость ширины разделки трещины от коэффициента снижения растягивающих напряжений

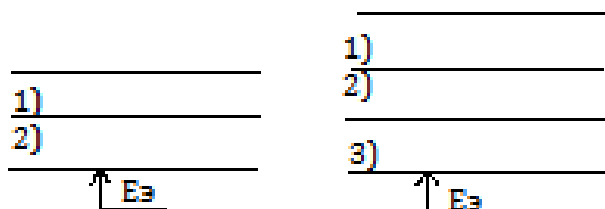
После необходимого расчёта не забудьте о важном моменте, что если у вас фактическая ровность меньше нормативной (при любом способе ремонта), то необходимо, при назначении новых слоёв добавить выравнивающий слой (на старом или сфрезерованном покрытии после ремонта) укладывается небольшой слой из а/б плотного горячего (обычно песчаного марок типа Г, Д, но могут и другие быть а/б согласно рекомендациям типового альбома или расчёта на прочность, надёжность).

## Тема 7. Расчёт дорожных одежд при капитальном ремонте и реконструкции

Расчёт д.о рассмотрим только на участке №1 . т.к. на участке №2 методика расчёта соответствует новым д.о.

Усиление может включать 1,2,3 слоя.

Первоначальный расчёт ведут по критерию упругого прогиба.

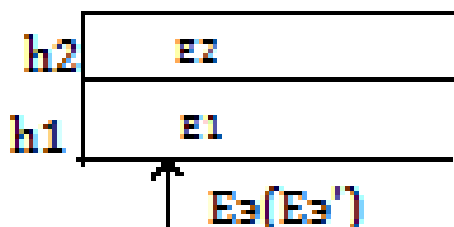


а) расчёт конструкции по критерию упругого прогиба.

б) Проверка устойчивости материала покрытия пластичным деформациям.

Составляется расчётная схема при температуре + 50С’.

Eэ и E’э – перерасчитываются.



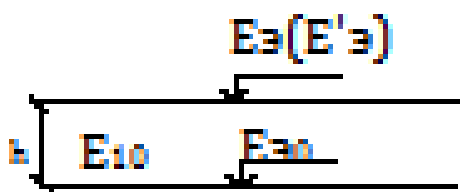
Назначаем модели E1 и E2 при +50С’, прочностные показатели  $\phi, c$ :

Затем расчётом проверяем условия сдвигоустойчивости каждого слоя и при необходимости проводится корректировка толщины слоёв и свойств материала.

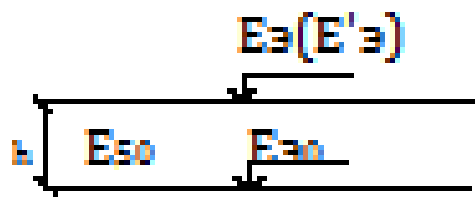
Проверяют новые слои 1 и 2 , а также материалы старого покрытия.

$$\tau \leq \frac{K * C}{Kз * B} + |\sigma| \operatorname{tg} \varphi$$

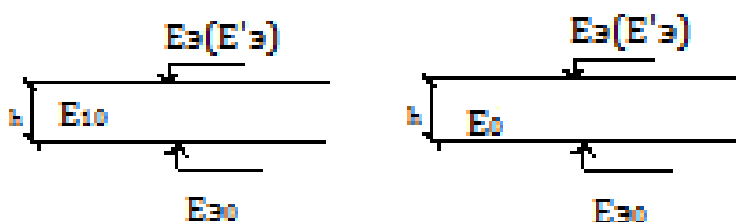
Вычисления сверху вниз Eэ0 (езде одно и тоже будет)



Расчёт снизу вверх , найдём  $E'э$ .



в) Расчёт д.о на устойчивость усталостным деформациям от действия транспортной нагрузки и погодно-климатических факторов. Расчётная температура  $0C'$ .  $\Psi \leq [\Psi]$



Конструирование и расчёт дорожных одежд при применении технологии холодного и горячего ресайклинга.

За период эксплуатации материалы покрытия накапливают внутри стр-ной повреждаемость тем самым теряют несущую способность, а также ведут к появлению отражённых дефектов.

Одним из путей устранения данных негативных явлений является получение нового материала и тем самым более дешёвой или долговечной дорожной одежды.

Подобные технологии называются технологиями ресайклинга.

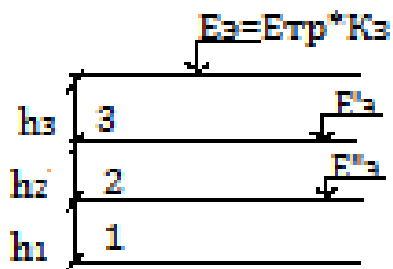
Применяют горячий и холодный ресайклинг в покрытии.

При горячем ресайклинге старое покрытие с дефектами разогревают, перемешивают с новыми материалами и получают так называемое восстановленное покрытие.

При холодном ресайклинге материал покрытия разрушают с помощью фрез, добавляют новое вяжущие (битумные эмульсии и цемент), перемешивают, укладывают и уплотняют. Получают материал, называемый бетоном на орго-гидравлическом вяжущем(ОГВ). Данный материал по свойствам должны соответствовать СТБ 1415-03.

При применении ресайклинга можно разделить д.о. на участки либо отделить полосы дв-я в зависимости от состояния старой одежды, толщина покрытия и т.д.

Конструкция обычно применяется следующая:



1-материал покрытия ,подвергается ресайклингу (бетона ОГВ)

2-выравнивающий слой

3-слой покрытия

Слои 2,3 применяются минимальной толщины.

Задача сводится к определению толщины  $h_1$ -?

Вычисляются требуемый модуль упругости.  $E_{mp} = 98,65 * [\lg(\sum N_p) - c]$

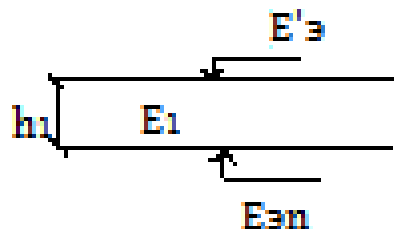
При температуре +10С' рассчитывают сверху вниз, находят сначала  $E''_3$  затем  $E''_2$ . Толщину слоя  $h_1$  определяют методом подбора.

Производят следующие обр.: задаются толщиной  $h_1 = 8-10$  см. Для модуля упругости материала верхнего слоя:  $E_1 = E_n * P_o$ .

$E_n$ - модуль материала старого покрытия , получаемый во время диагностики.

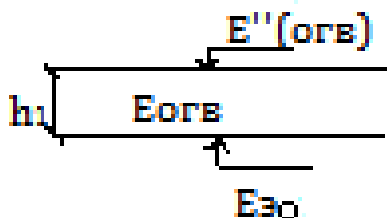
$P_o$ - уровень надёжности материала во время диагностики.

Расчётом сверху вниз находят  $E_{30}$  внизу восстанавливаемого слоя.



Затем принимаем  $E_1 = E_{огв}$

Расчётом снизу вверх находим  $E''_3(огв)$



Рассмотрим старую д.о.



## Тема 8. Конструирование и расчет дорожной одежды при применении метода холодного ресайклинга

В соответствии с технологией материал старого покрытия (частично или полностью) перерабатывают и получают конструктивный слой из нового материала, бетона на органогидравлических вяжущих (ОГВ) в соответствии с СТБ 1415-2003. Бетон на ОГВ имеет более высокие расчетные характеристики, что позволяет произвести усиление слоями асфальтобетона меньшей толщины.

Конструкция дорожной одежды имеет вид:

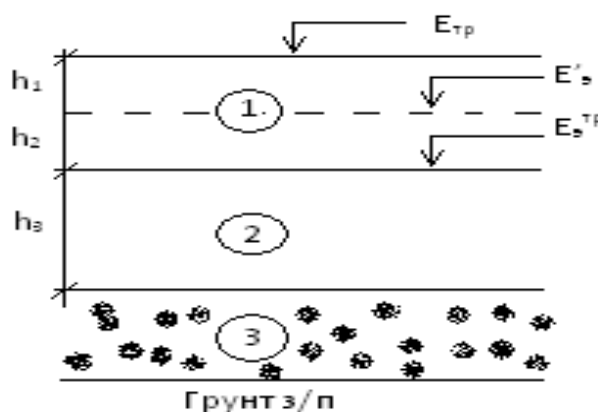


Рисунок - Конструкция дорожной одежды при применении технологии холодного ресайклинга: 1. Слой усиления; 2. Бетона на ОГВ; 3. Существующая дорожная одежда

Для устройства верхнего слоя покрытия принимаем щебеночную мелкозернистую горячую плотную а/б смесь типа А марки I на модифицированном битуме БМА 100/130

Для устройства нижнего слоя – горячий, плотный, крупнозернистый типа А марки II а/б на битуме БНД 60/90.

Примем бетон на ОГВ марки 1 по таблице:

**Таблица – Расчетные характеристики бетонов на ОГВ**

Наименование материала	Модуль упругости $E$ , МПа, при расчетной температуре, °С			Внутреннее сцепление $C$ , МПа	Угол внутреннего трения $\varphi$	Прочность на изгиб $R_{и}$ , МПа	Прочность $R_c$ , МПа
	0°	0°	5°				
Бетон на органо-гидравлическом вяжущем 3 группы марки I по СТБ 1415	500	500	500	30	42°	36	60

Составляем расчетную схему для определения эквивалентного требуемого модуля основания под бетон на ОГВ .

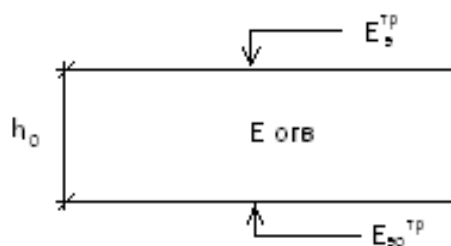


Рисунок - Расчетная схема для определения эквивалентного требуемого модуля основания под бетон на ОГВ

Принимаем толщину верхнего слоя асфальтобетонного покрытия 5 см, нижнего 7 см. Определяем значение  $E_s^{TP}$  (см. расчетную схему).

**Требуемый модуль** упругости (см. выше) составляет 308 МПа.

Определяем отношение;

$$H_1/D = 5/41 = 0,12$$

$$E_{тр}/E_1 = 308/3500 = 0,088$$

По номограмме 2.9 МУ найдем  $E_s^I/E_1 = 0,005$

$$E_s^I = 0,07 * 3500 = 245 \text{ МПа}$$

**Фактический модуль составил:**

$$K E_{общ} \cdot = 168 * 0,83 = 139,44$$

**Требуемый модуль**

$$H_2/D = 7/41 = 0,17$$

$$E_s^I/E_2 = 245/3500 = 0,07$$

По номограмме 2.9 найдем  $E_{этр}/E_2 = 0,05$

$$E_{этр} = 0,05 * 3500 = 175 \text{ МПа}$$

**Фактический модуль составил:**

$$K E_{общ} \cdot = 126 * 0,83 = 104,58$$

**Требуемый модуль**

$$H_3/D = 12/41 = 0,29$$

$$E_s^I/E_2 = 175/3500 = 0,05$$

По номограмме 2.9 найдем  $E_{этр}/E_2 = 0,02$

$$E_{этр} = 0,02 * 3500 = 70 \text{ МПа}$$

**Фактический модуль составил:**

$$E \cdot = 81$$

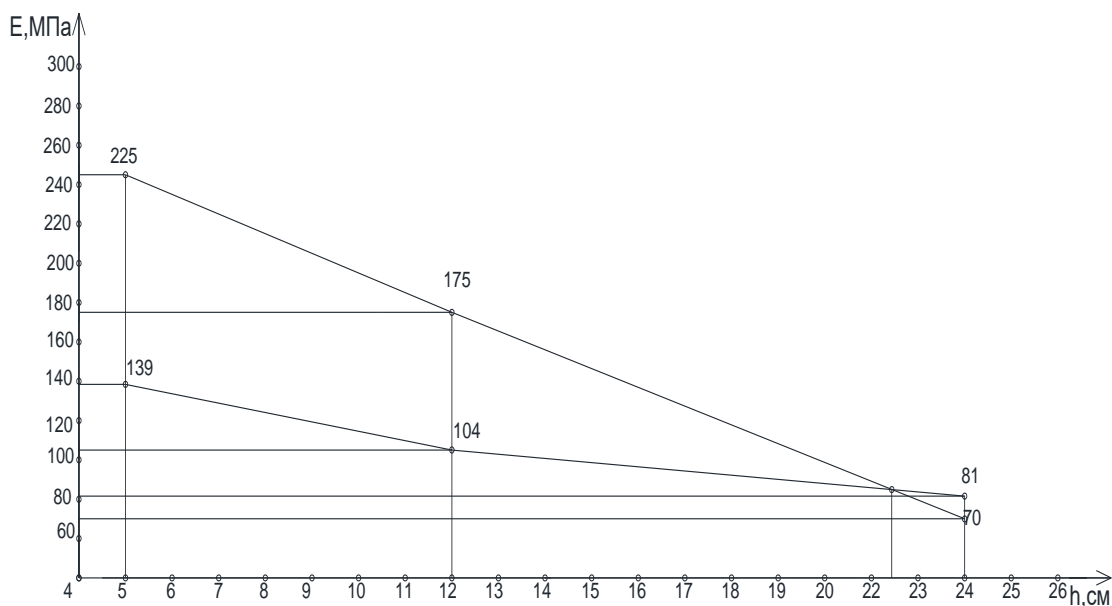


Рисунок - График зависимости определения толщины бетона на ОГВ

Принимаем толщину слоя из бетона на ОГВ 23 см.

Проверяем условие температурной трещиностойкости бетона на органогидравлических вяжущих (ОГВ) при толщине слоя 23 см.

Значение модуля релаксации при минус 15 градусах принимаем по заданию. В нашем случае оно составляет 11000 МПа.

Значение напряжений при толщине слоя 23 см составит 1,8 МПа.

При толщине вышележащих слоев 23 см находим значение  $K_h = 0,5$ .

Значение напряжений составит:

$$1,8 * 0,8 = 1,44 \text{ МПа}$$

Значение  $N_{np}$  для срока службы 13 лет составит:

$$N_{np} = 27 * 13 = 351$$

Предельные растягивающие напряжения в регенерированном слое рассчитываем по формуле:

$$[\sigma_p^p] = \frac{R_C^p}{N_{np}^{(\frac{1}{m})}} = \frac{6}{351^{(1/6.2)}} = 2,25 \text{ МПа,}$$

Где  $R_C^p$  — максимальная структурная прочность материала защитного слоя, (таб.10,1)  
принимаем равным 6 МПа

$N_{np}$  – предельное количество циклов воздействия переменных температур максимальной амплитуды за весь срок службы. Рассчитывается как произведение проектного срока службы на количество циклов воздействия переменных температур за год, которое можно принять для условий РБ равным 27;

$m$  – коэффициент, характеризующий развитие усталостных процессов, принимается равным 6,2.

Отсутствие трещин в регенерированном слое в течение проектного срока службы дорожной одежды гарантировано, при выполнении условия:

Где – растягивающие напряжения в регенерированном слое, МПа;

– допустимые растягивающие напряжения для материала регенерированного слоя, МПа.

Коэффициент запаса прочности принимаем равным 1,25

$$\sigma_p^p = 1,44 < \frac{2,25}{1,1} = 2,05.$$

Принимаем толщину бетона на ОГВ 23 см. (если условие не выполняется, то увеличиваем толщину бетона ОГВ)

## Тема 9. Зарубежные методы расчета жестких дорожных одежд

В основу конструирования и расчета д.о. в США и в большинстве стран западной Европы были положены эксперименты AASHO.

Свойства грунтов оцениваются в этих странах по величине калифорнийского числа CBR, а у нас по  $E$ ,  $\phi$ ,  $C$ .

В результате экспериментов AASHO было установлено, что ресурс (долговечность) д.о. зависит от интенсивности движения транспорта и толщины д.о. При этом играет роль не просто общая толщина, а приведенная толщина.

При этом:

$$N_{пр} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + \dots + a_n \cdot h_n,$$

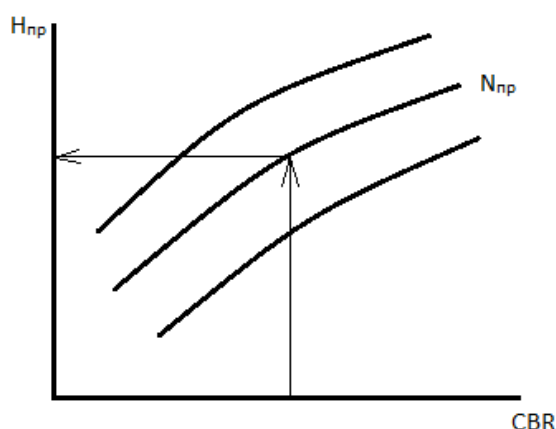
где  $h_1, h_2, \dots, h_n$  – толщина слоев;

$a_1, a_2, \dots, a_n$  – коэффициенты влияния материала слоя на ресурс д.о.

На основе данных экспериментов был разработан ряд методов расчета:

1. Метод асфальтового института в США.
2. Метод инженерного корпуса в США.
3. Метод Финн.
4. Метод центральной лаборатории дорог и мостов во Франции и в Великобритании.

В основном, все методы сводились к разработке простых номограмм, позволяющих определить  $N_{пр}$ , а затем используя коэффициенты  $a$  вычислить физические толщины д.о.



Использовался в основном эмпирический подход, т.е. не учитывались климатические условия работы материалов, условия движения транспорта, колебания расчетных параметров нагрузки. Это усложняло применение новых материалов, распространение методов в другие климатические зоны и др.

Во Франции и в Великобритании были внесены усовершенствования, когда коэффициенты  $a$  были увязаны с модулями упругости материалов:

$$a = \sqrt[3]{E_{\phi} / E_{ш}}$$

$E_f$  – модуль упругости конкретного материала слоя

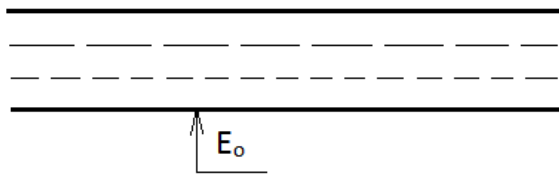
$E_{щ}$  – модуль упругости щебня.

Это расширило возможность использования новых материалов.

В конце 80-ых годов в связи с изменением нагрузок, широким применением новых материалов, появлением новых методов расчета д.о. в США и ряде стран западной Европы стали отказываться от вышеуказанных упрощенных схем.

Получил распространение так называемый механистический подход в конструировании и расчете дорожных одежд.

Дорожная одежда рассматривалась как сложная слоистая плита со склеенными слоями на упругом основании  $E_0$ .



Расчет напряжений и деформаций производится численными методами с помощью специального программного комплекса и электронных

номограмм.

Расчеты ведут на устойчивость к пластическим, хрупким, усталостным и другим видам деформаций.



## Тема 10. Конструирование и расчет жестких дорожных одежд.

### 10.1 Конструирование жестких д.о.

### 10.2 Расчет жестких д.о. на температурное воздействие.

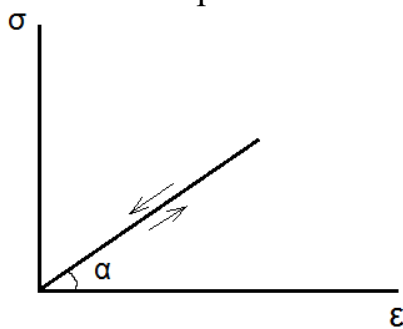
### 10.3 Расчет жестких д.о. на действие транспортной нагрузки.

### 10.4 Особенности реконструкции и капитального ремонта жестких д.о.

#### 10.1 Конструирование жестких д.о.

Основные положения жестких д.о. были изложены ранее ( смотри 1, 2 лекции). Основным материалом покрытия жесткой д.о. является цементобетон или железобетон. Данные материалы имеют высокие модули упругости( в 10-20 раз большие, чем у а/б), высокую прочность на сжатие, но низкую прочность на растяжение( близкую к а/б).

Цементобетон и его разновидности – это практически упругий материал, свойства которого можно описать моделью Гука.



Жесткие покрытия в основном устраивают путем монолитного бетонирования, т.е. покрытие устраивают в виде бесконечной ленты аналогично асфальтобетонным.

При охлаждении сплошного покрытия как и в а/б возникают температурные растягивающие напряжения.

$$\sigma = \frac{\alpha \cdot \Delta T}{1 - \mu^2} \cdot E$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения;

$\Delta T$  – расчетный перепад температуры от момента укладки до расчетной низкой температуры.

$E$  – модуль упругости.

Если эти напряжения превысят прочность материала, то появятся температурные трещины.

$$\sigma_T - R_p$$

$$E_{ц/б} \gg E_{а/б} - 10-20 \text{ раз}$$

$$\sigma_{ц/б} \gg \sigma_{а/б}$$

$$\text{Прочность близка } R_p^{ц/б} \approx R_p^{а/б}$$

Появления температурных трещин в ц/б неизбежно, т.к. существуют большие температурные напряжения.

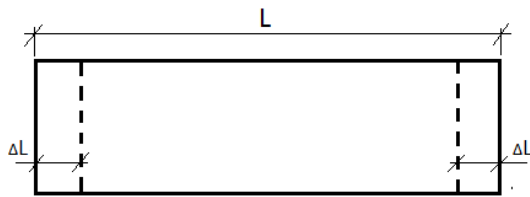


- хаос-трещины, если ничего не предпринимать.

Чтобы исключить эти явления принимают

специальные меры конструирования покрытия, направленные на снятие температурных напряжений. Для этого покрытие разделяют на части искусственно, путем устройства деформационных швов.

Различают 3 вида деформационных швов:



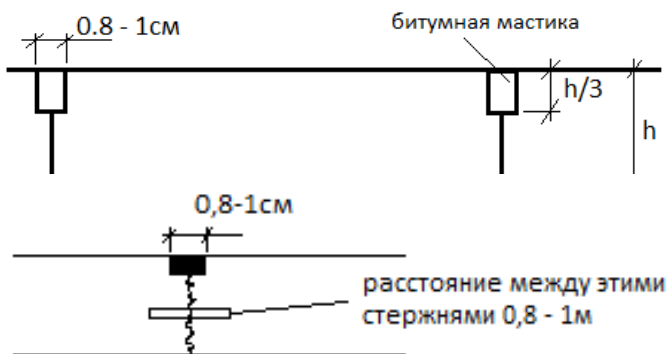
1) Швы сжатия, которые предназначены для снятия растягивающих температурных напряжений, возникающих при охлаждении покрытия ( $\sigma_T$ ).

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L$$

Назначение: предотвратить хаотическое появление швов, упорядочить их.

Это делают в затвердевшем бетоне путем нарезки ложных швов.

Битумная мастика применяется для герметизации шва. L = 6м.



2) шов расширения

Предназначен для снятия напряжений сжатия, возникающих при нагреве покрытия в летний период и для сохранения продольной устойчивости плит.

При нагреве материал расширяется, поэтому появляется сжатие между плитами - происходит потеря устойчивости и образование трамплинов.

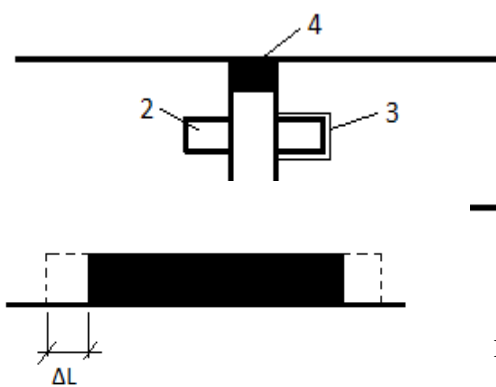
1 – Деревянная доска, пропитанная антисептиком;

2 – Металлический( арматурный) стержень длиной 30-50см;

3 – Битумная обмазка стержня или резиновый колпачек;

4 – Битумная мастика.

Среднее расстояние между швами 80-200



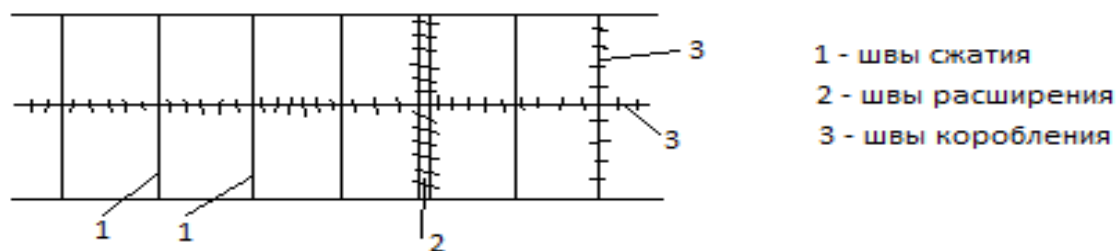
метров

3) технологические швы( швы

коробления) – устраиваются в продольных швах, а также в случаях перерывов производства работ.



План рассмотрения (вид сверху):



Чаще используют монолитные, но применяют и сборные. В этом случае ц/б плиты готовят на заводах сборного ж/б, плиты доставляют на объект и монтируют, швы не нарезаются.

Конструкция жесткой дорожной одежды:

1. – монолитное или сборное ц/б покрытие
2. – Прерывающий слой (может отсутствовать)
3. – Одно или двухслойное основание
4. – Дополнительный слой основания, выполняет дренирующую и морозозащитную функцию.

Слой №2 устраивают из обработанного битумом песка, синтетических тканей, пропитанных битумом, рубероида и т.д.

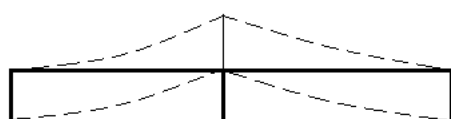
Его назначение: обеспечить более эффективную реализацию температурных деформации, вид покрытия, а также предотвратить выделение цементного молока из бетонной смеси при устройстве покрытия. В случае укрепленного основания этот слой может отсутствовать.

Основание устраивают из тех же материалов, что и нежестких дорожных одежд, но в основном основание устраивают из укрепленных цементом материалов (цементогрунт, тощий бетон, цементогравий и т.д.).

Слой №4 – как для нежестких д.о. либо из ПГС.

1
2
3
4

## 10.2 Расчет жестких д.о. на температурные воздействия

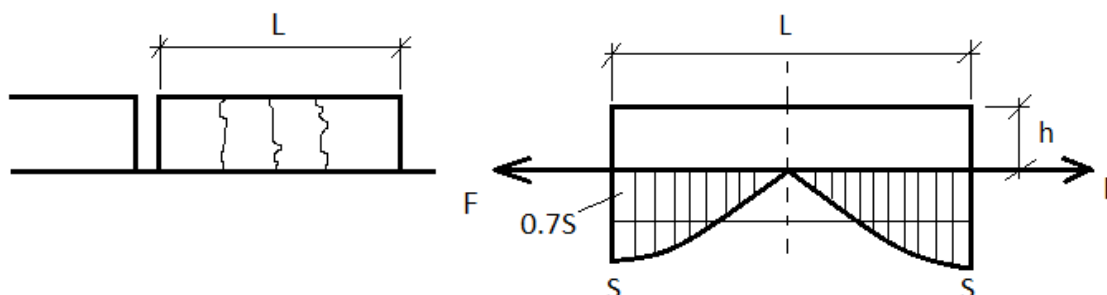


Целью расчета является обеспечение надежности жестких д.о. на действие температурных напряжений.

Целью расчета является определение расстояние между швами сжатия и расширения, а также учет влияния температурных напряжений на надежность ц/б покрытия.

Расстояние между швами сжатия  $L$  должно исключить возможное появление трещин в бетонной плите вследствие несвободного сжатия при охлаждении.

После устройства швов жесткое покрытие становится блочным, т.е. разделенным на отдельные плиты.



Плита вследствие сил трения и сцепления с основанием при охлаждении испытывает действие растягивающих силы  $F$ , которая является результатом сил трения и сцепления плиты с основанием  $S$ .  $S$  распределяется по параболе и максимум по краям.

Для упрощения заменим параболическую эпюру прямоугольной со средним значением  $0,7S$ , тогда  $F$  = площади эпюры.

$$F = 0,7 \cdot S \cdot \frac{L}{2} \cdot h \text{ – на 1 метр погонный.}$$

Сила  $F$  вызывает внецентренное растяжение бетона. Значения растягивающих напряжений определяем как:

$$\sigma = \frac{F}{b \cdot h} + \frac{M}{W} = \frac{F}{b \cdot h} + \left(\frac{F \cdot h}{2}\right) / \left(\frac{b \cdot h^2}{6}\right)$$

В результате подставив  $F$  получим:

$$\sigma = \frac{0,7S \cdot L}{2b} + \frac{3}{2} \cdot \frac{0,7S \cdot L}{b},$$

$$\sigma = R_p$$

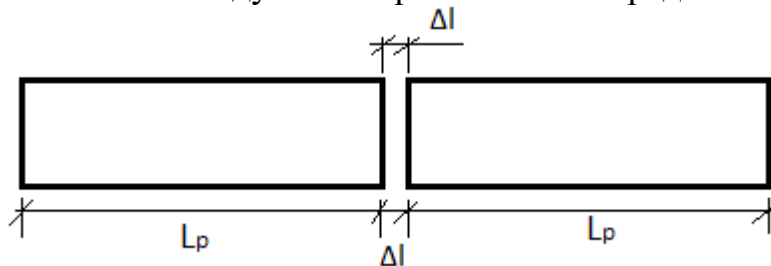
$$R_p = \frac{0,35S \cdot L}{b} \cdot \frac{1,05S \cdot L}{b},$$

$$L = \frac{R_p}{1,4S},$$

$b = 1$  – ширина плиты.

$S$  – сила трения плиты, зависящая от вида основания и наличия слоя №2.

Расстояние между швами растяжения определяется следующим образом:



Расстояние будет зависеть от температурных свойств бетона, его прочности на сжатие, ширины шва  $\Delta l$ .

Величина температурной деформации будет равна:

$$\Delta l_T = \frac{\alpha \cdot \Delta T}{1 - \mu^2} \cdot L_p$$

$\Delta T$  – перепад температуры (максимальная и температура устройства)

$$\Delta T = T_{max} - T_y$$

$$\Delta l_{T max} = K \cdot \Delta l,$$

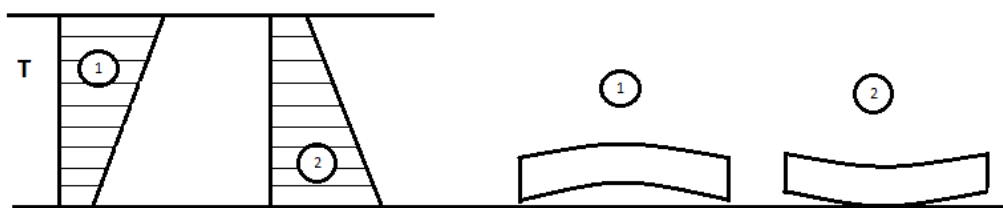
где  $K$  – коэффициент эффективности шва, зависящий от его конструкции.

$\Delta l$  – ширина шва.

$$L_p = \frac{K \cdot \Delta l \cdot (1 - \mu^2)}{L \cdot \Delta T} \quad (80-200 \text{ метров})$$

Определив расстояние между швами, снимаем температурные напряжения.

Возникают ещё и температурные напряжения коробления помимо сжатия и расширения. В плите наблюдается градиент температуры.



Возникают температурные напряжения коробления, которые снижают усталостную прочность бетона, поэтому они учтены при расчете конструкции на прочность. Обычно их учет производится при расчете усталостной долговечности бетона от действия транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов.

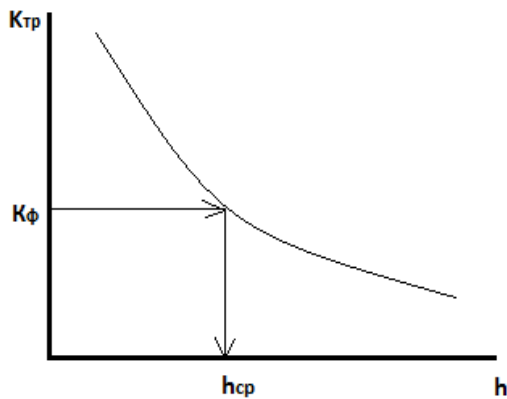
### 10.3 Расчет жесткой д.о. на действие транспортной нагрузки и погодноклиматических факторов.

Целью расчета является определение толщины конструктивных слоев д.о. обеспечивающих заданный уровень надежности д.о. при расчетном сроке службы. В расчете нагрузку и уровни надежности, а также сроки службы назначают аналогично нежестким д.о., т.е. в зависимости от категории дороги и интенсивности и состава движения, при этом срок службы составляет 25-35 лет.

Жесткость д.о. рассматривают как плиту конечных размеров на упругом основании, с эквивалентным модулем  $E_0, E_3$ , определяют расчетом снизу вверх по методике нежестких д.о. при расчетной температуре  $+10^\circ\text{C}$ . Толщина слоев  $h_1$  и  $h_2$  принимают минимальным с учетом дренирования и морозозащиты.

Критерием прочности плиты является условие:

$$N_\phi \leq N_{тр}$$



$N_{\phi}$  – фактическое число воздействий расчетной нагрузки за весь срок эксплуатации;

$N_{тр}$  – требуемое число воздействий из условия прочности д.о..

Для практических расчетов условие трансформируется в виде:

$$K_{\phi} \leq K_{тр}$$

$K_{\phi}$  – фактический коэффициент усталости ц/б, зависящий в основном от интенсивности движения расчетных

автомобилей;

$K_{тр}$  – требуемый коэффициент усталости, зависит от свойств бетона, конструкции д.о., от вида расчетной нагрузки.

$$K_{\phi} = 1,08(\sum N_p)^{-0.063}$$

$\sum N_p$  – суммарная интенсивность движения расчетных автомобилей за весь срок эксплуатации.

Вычисляется аналогично нежесткой д.о., только расчетный период принимается  $T_p = 365$  дней.

$$K_{тр} = \frac{\sigma}{K_t \cdot K_H \cdot R_u}$$

$\sigma$  – напряжение в бетонной плите от действия расчетной нагрузки;

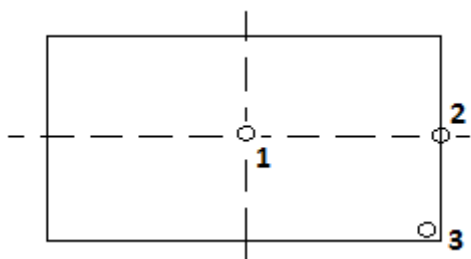
$K_t$  – коэффициент, учитывающий температурное напряжение коробления;

$K_H$  – коэффициент, учитывающий

неоднородность бетона и увеличение его прочности во времени;

$R_u$  – прочность бетона на растяжение при изгибе, зависящее от марки бетона.

Напряжение вычисляется для трех положений колеса расчетной нагрузки.



Напряжение:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6M}{b \cdot h^2}$$

$b$  – ширина плиты;

$h$  – толщина плиты. В расчет берут большее из трех.

Для вычисления изгибающих моментов используют программный комплекс и упрощенные методы, формулы Гербукова-Пасадова.

По этой формуле для положения 1:

$$M = P(0,0532 - 0,09284 \ln r/l)$$

$r$  – радиус отпечатка ( $D/2$ );

$l$  – упругая характеристика плиты, вычисляемая по формуле:

$$l = h^3 \sqrt{E_{\sigma} / 6E_0}$$

$P$  – удельное давление (0,6).

Толщину плиты находят по методу подбора для чего задаются различными толщинами плит, для чего вычисляют  $K_{тр}$  и строят график.

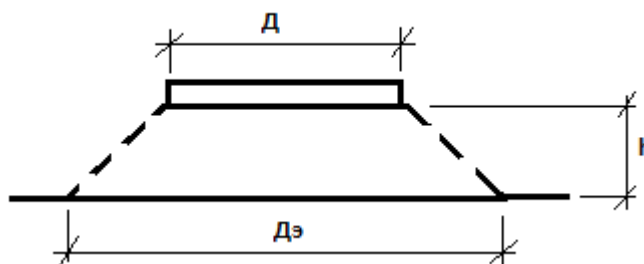


Основание, подстилающий слой и грунт з.п. проверяют на сдвигоустойчивость по методике нежестких д.о., т.е. условие сдвигоустойчивости:

$$\tau_{ан} \pm \tau_{а/в} \leq KС$$

$$D_э = 2 + 2h$$

$h$  – толщина плиты.



#### 10.4 Особенности реконструкции и капитального ремонта жестких дорожных одежд.

При реконструкции и капитальном ремонте усиление жестких дорожных одежд и повышение транспортно-эксплуатационных характеристик производится путем укладки одного, двух или трех слоев а/б.

Два возможных пути реконструкции:

1. Ликвидация жесткой д.о. путем разборки ц/б плит, либо их разрушения (дробления) на месте с последующим устройством а/б покрытия.
2. Сохранение ц/б покрытия и использование его в качестве основания новой д.о. с проектированием мероприятий по борьбе с отраженными трещинами.

$$h_э = h_б + h_о \cdot \sqrt[3]{E_1/E_б}$$

Кроме нарезки швов есть и другие меры: устройство трещинопрерывающей прослойки.

Задача прослойки отделить а/б от цементобетона и предотвратить передачу деформаций от ц/б на а/б. Прослойка из прочных специальных смесей на полимерных вяжущих и резиноподобных вяжущих, из специальных сухих битумо-минеральных вяжущих.

**Практические работы «Изыскание и проектирование  
автомобильных дорог» 2 часть, для студентов дневной и заочной  
формы обучения специальности 1-70 03 01**

**Практическая работа №1**

**Задача №1. Определить интенсивность движения расчетных автомобилей ( $N_p$ ) и суммарное число воздействий расчетного автомобиля за срок службы ( $\Sigma N_p$ ).**

Исходные данные:

1. Состав и интенсивность принимаем по таблице 1.

Таблица 1 (если указано на тележку то делим на 1,78)

№ п/п	Тип и марка автомобиля	% автомобилей данного типа в общем потоке	пункт
1	Легковые автомобили	48	1
2	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 2.5 тонн	12	3.1
3	Грузовые автомобили грузоподъемностью до 5-и тонн	15	3.2
4	Двухосные грузовые автомобили марки  МАЗ 5549 ЗиЛ-432932 МАЗ-533603-221 МАЗ-533605-221	10 - - -	3.3.1
5	Трехосные грузовые автомобили марки  КАМАЗ-53228 КАМАЗ-43118 МАЗ-6303А5-321	5 - -	3.3.4
6	Автопоезда марки МАЗ-6422А5-322 МАЗ 6430А5-320-010 КАМАЗ-65221	2 - -	4.3
7	Автопоезда с прицепом  КАМАЗ-65221 КАМАЗ-65225	3 -	5.5
8	Автобусы марки  МАЗ-103 МАЗ 203065.-067 МАЗ-107 МАЗ-105	- - 5 -	6.2

2. Расчетная нагрузка –  $A_2$ ;

3. Интенсивность движения в физических единицах на первый год эксплуатации- 2900 авт/сут.;
4. Ежегодный прирост интенсивности движения – 3,1%;
5. Район строительства – г. Витебск;
6. Расчетный срок службы – принять самостоятельно по табл., лет;
7. Категория дороги –принять самостоятельно по табл. в зависимости от интенсивности.

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

Таблица 2 - Выбор категории дороги

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

Таблица 3 - Рекомендуемый расчетный срок службы дорожной одежды

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

Таблица 4 - Значения коэффициента, учитывающего количество полос движения и распределение движения по ним

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

Таблица 5 - Значения  $T_{рдг}$  в зависимости от местоположения дороги

Дорожно-климатический район	$T_{рдг}$ при расчете на прочность дорожной одежды
Северный, влажный	125
<b>Центральный</b>	<b>130</b>
Южный, неустойчиво-влажный	135

Таблица 6 - Значения коэффициента, учитывающего вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого

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

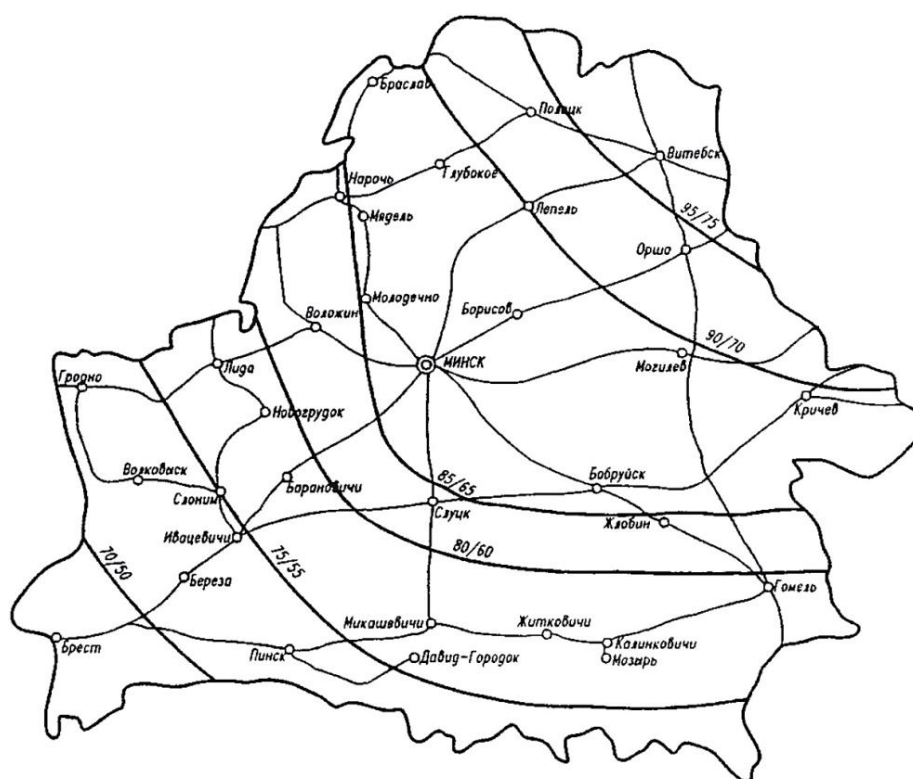


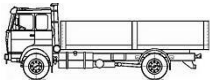
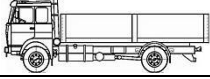
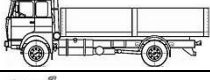
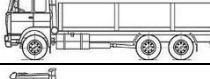

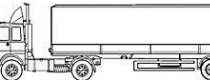
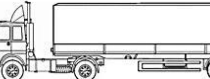
Рис.1. Карта изолиний минимально допустимых толщин стабильных слоев дорожной конструкции из условий морозоустойчивости при земляном полотне, сложенном из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов.  
 В числителе – для капитальных дорожных одежд,  
 в знаменателе – для облегченных

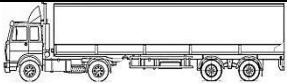
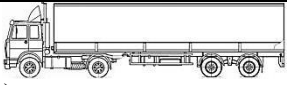
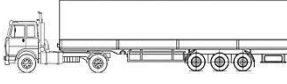
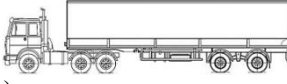
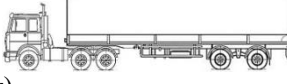
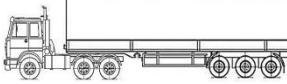
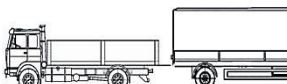



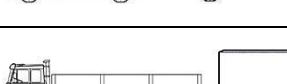
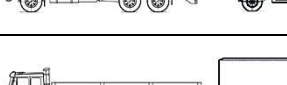
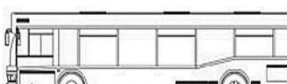
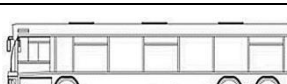





Рис.2. Карта районирования РБ

Таблица 7 - Значения суммарных коэффициентов приведения  $S_{т\text{ сум}}$  для различных трансп. средств

Вид транспортного средства	Коэффициенты приведения к расчетной нагрузке $S_{т\text{ сум}}$		
	$K_{пр} (A_1)$	$K_{пр} (A_2)$	$K_{пр} (A_3)$
1	2	3	4
1. Легковой автомобиль	0,002	0,0015	0,0012
2. Микроавтобус	0,0037	0,0027	0,002
3. Грузовые автомобили			
3.1. Легкие (грузоподъемность 2–5 т)	0,20	0,10	0,05
3.2. Средние (грузоподъемность 5–8 т)	0,60	0,30	0,27
3.3. Тяжелые грузовые автомобили			
3.3.1.  (задняя ось 10,0 т)	1,00	0,87	0,65
3.3.2.  (задняя ось 11,5 т)	1,35	1,00	0,87
3.3.3.  (задняя ось 13 т)	2,90	1,50	1,00
3.3.4.  (тележка 20 т)	3,60	1,60	1,10
3.3.5.  (тележка 26 т)	4,80	3,50	2,00
4. Автопоезда с полуприцепом			
4.1.  (задняя ось тягача 11,5 т)	2,50	1,50	0,90
4.2.  (задняя ось тягача 13 т)	4,20	2,50	1,70

1	2	3	4
4.3.  (задняя ось тягача 11,5 т)	3,00	1,90	1,10
4.4.  (задняя ось тягача 13 т)	6,20	3,50	2,20
4.5.  (задняя ось тягача 11,5 т)	7,00	4,10	2,50
4.6.  (тележка тягача 18 т)	3,00	1,90	1,10
4.7.  (тележка тягача 20 т)	5,50	3,50	2,20
4.8.  (тележка тягача 20 т)	7,00	4,00	2,80
<b>5. Автопоезда с прицепом</b>			
5.1.  (задняя ось автомобиля 11,5 т)	2,50	1,20	0,95
5.2.  (задняя ось автомобиля 13 т)	4,00	2,20	1,30
5.3.  (задняя ось автомобиля 11,5 т)	3,50	2,00	1,20
5.4.  (задняя ось автомобиля 13 т)	6,40	4,00	2,80
5.5.  (тележка автомобиля 20 т)	4,00	2,50	1,70
5.6.  (тележка автомобиля 26 т)	8,10	5,00	3,50
<b>6. Автобусы</b>			
6.1.  (задняя ось 11,5 т)	1,50	1,00	0,60
6.2.  (средняя ось 11,5 т)	3,76	1,90	1,20
6.3.  (средняя ось 11,5 т)	2,00	1,20	0,80

## Практическая работа №2

### Задача №1. Выбрать материал для устройства конструктивного слоя.

#### Исходные данные:

Значения модулей упругости материалов принимаются согласно нормативной документации. Удельные стоимости устройства слоев представлены в таблице 2.

Таблица 1-Материалы для сравнения

Наименование материала	Удельная стоимость устройства слоя, С, руб/см.
Доломитовый щебень+цем. М40	480
Супесь лёгкая +цем. М60	530

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

Таблица 2 - Расчетные характеристики слоев из материалов и грунтов, укрепленных вяжущими веществами

Материал слоя	Расчетные характеристики материалов	
	Модуль упругости $E$ , МПа	Прочность на растяжение при изгибе $R_n$ , МПа
1	2	3
Щебеночно-песчаные смеси из малоактивныхметаллургических шлаков по ГОСТ 3344 (С1 – С4/С5 – С6), щебеночно-песчаные смеси и крупнообломочные грунты (оптимального по СТБ П 1698неоптимального состава), обработанные:		
цементом марок		
– 75	1000/900	0,70/0,60
– 60	900/800	0,60/0,50
– 40	700/600	0,50/0,40
комплексными вяжущими	950/700	0,40/030
вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	450/350	0,30/0,20

Окончание табл. 2

1	2	3
Щебень из малопрочных пород, доломитовый щебень, пески гравелистые, крупные, средние, обработанные: цементом марок – 100 – 75 – 60 – 40 – 20 комплексными вяжущими вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	950 850 750 600 500 450 280	0,60 0,50 0,40 0,30 0,20 0,30 0,20
Пески мелкие, супесь легкая, пылеватая, суглинок легкий, пески из отходов дробления горных пород, обработанные: цементом марок – 100 – 75 – 60 – 40 – 20 комплексными вяжущими вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	850 750 550 400 250 400 270	0,50 0,40 0,30 0,20 0,15 0,30 0,25
Суглинки тяжелые, пылеватые, глины песчанистые, пылеватые, обработанные: комплексными вяжущими вязким битумом или эмульсией на вязком битуме	250 150	0,15 0,10

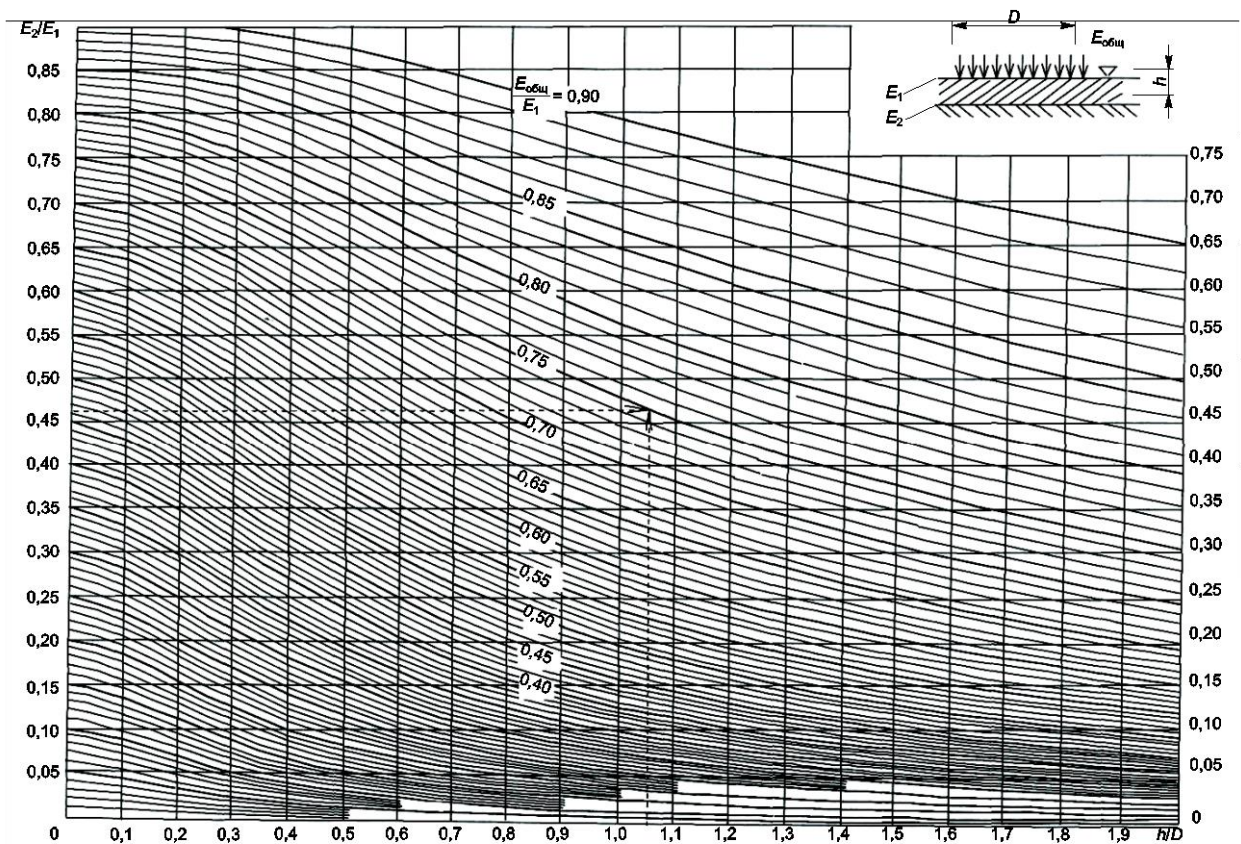


Рисунок 1 - Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы  $E_{общ}$ , МПа

**Задача №2. Определить толщину дренирующего слоя и проверить условие морозоустойчивости дорожной одежды.**

Исходные данные:

1. Район строительства – г. Полоцк;
2. Коэффициент фильтрации материала дренирующего слоя – 7 м/сутки;
3. Общая толщина слоев дорожной одежды с учетом дренирующего слоя определить по карте изолиний для капитального типа, см;
4. Грунт земляного полотна – суглинок, глина, супесь;
5. Категория дороги – II;
6. Толщина дорожной одежды с учётом дренирующего слоя 82 см.
7. Материал дренирующего слоя – песок средней, мелкой, крупной крупности.
8.  $b$  – коэффициент, зависящий от длины пути фильтрации воды, в зависимости от категории дороги равный: I – 0,8, II – 0,5, III – 0,4; IV и V – 0,33;
9. Дополнительная толщина слоя  $h_{\text{зап}}$ , зависящая от капиллярных свойств материала, равна:  
0,18–0,20 м – пески мелкие.  
0,14–0,15 м – пески средней крупности;  
0,10–0,12 м – пески крупные.

Найти:

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

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

**Окончательно толщина дренирующего слоя составит  $h_n$  ?**

**Проверим критерий морозостойкости дорожной одежды?**

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

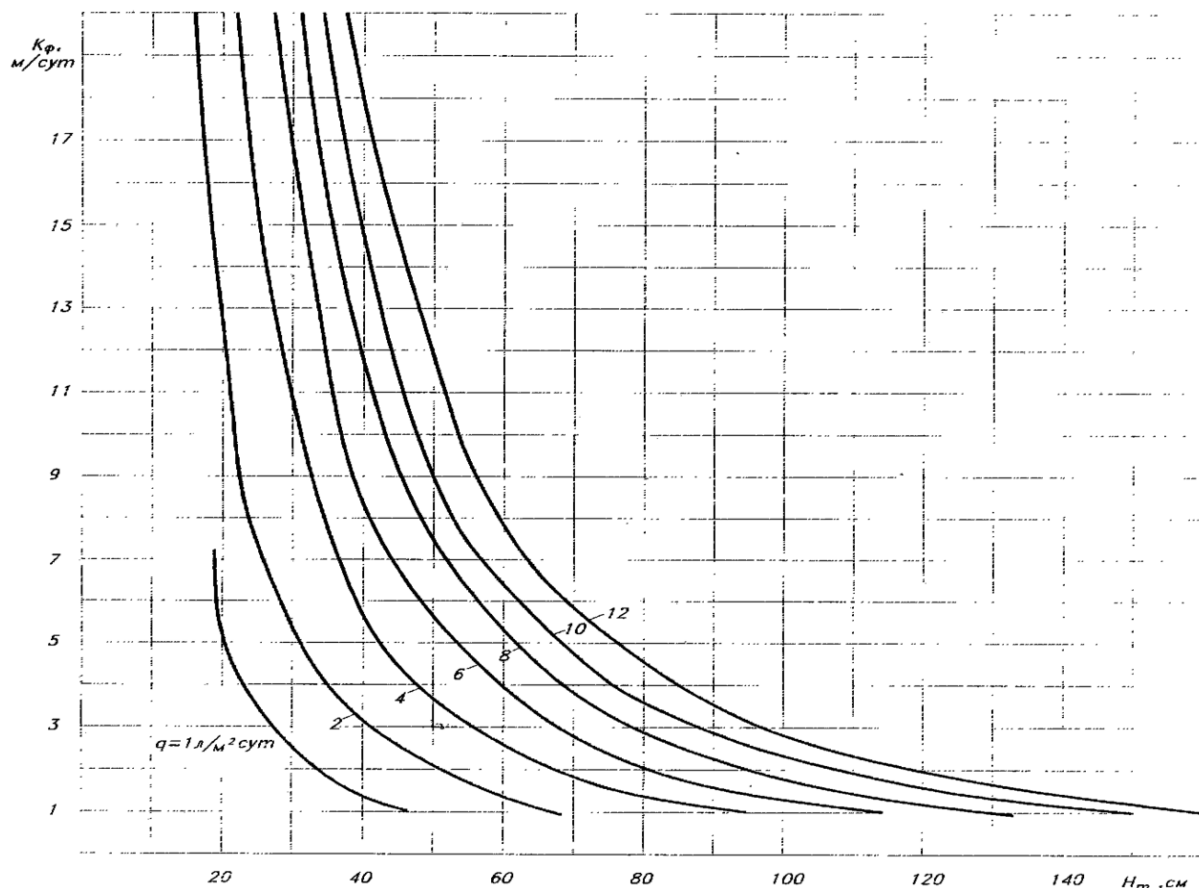


Рис.2. Номограмма для определения толщины  $h_m$  в зависимости от коэффициента фильтрации материала дренующего слоя  $K_f$  и объема воды, поступающей в основание  $q$

Таблица 3 - Расчетные значения объемов воды, поступающей в дорожное основание

Дорожно-климатический район	Объем воды, поступающей в основание $q$ , л/ м <sup>2</sup> ·сут.			
	Супесь легкая непылеватая, песокпылеватый	Суглинок непылеватый, глины	Суглинок пылеватый	Супесь пылеватая
1	5,0	6,0	8,0	9,0
2	4,6	5,6	7,5	8,5
3	4,2	5,2	7,0	8,0

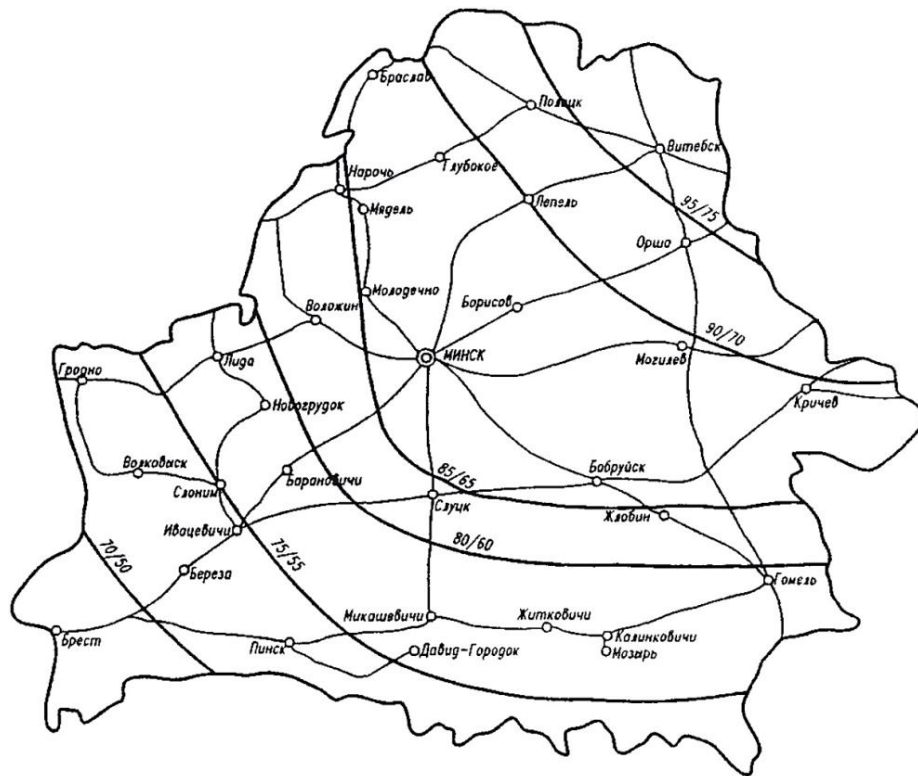


Рис.3. Карта изолиний минимально допустимых толщин стабильных слоев дорожной конструкции из условий морозоустойчивости при земляном полотне, сложенном из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов.  
 В числителе – для капитальных дорожных одежд,  
 в знаменателе – для облегченных



Рис.4. Карта районирования РБ

## Практическая работа №3

**Задача №1. Проверить условие прочности дорожной одежды по упругому прогибу.**

Исходные данные:

1. Суммарное количество проездов расчётных автомоб. за весь срок службы  $\Sigma N_p = 657000$  осей (расч. авто);
2. Расчетная нагрузка группы  $A_2$ ;
3. Район строительства – г. Витебск;
4. Интенсивность движения автомобилей в начальный год эксплуатации в физических единицах 2300 авт/сутки;
5. Ежегодный прирост интенсивности 3,3%;
6. Тип покрытия - капитальный;
7. Расчетный срок службы и категорию – принять самостоятельно лет;
8. Коэффициент прочности – 0,90;
9.  $c = 3,23$ ;
10. Толщины слоев и значения модулей упругости принимаем по рис. 1.

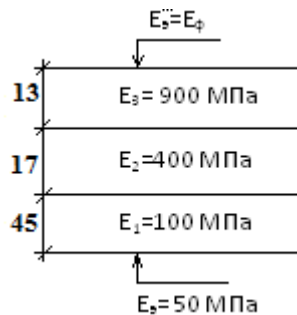


Рисунок 1 - Конструкция дорожной одежды

**Задача №2. Определить толщину конструктивного слоя №2 дорожной одежды.**

Исходные данные:

1. Суммарное количество проездов расчётных автомоб. за весь срок службы  $\Sigma N_p = 557000$  осей (расч. авто);
2. Расчетная нагрузка группы  $A_2$ ;
3. Категория - II;
4. Ежегодный прирост интенсивности 3%;
5. Тип покрытия - капитальный;
6. Расчетный срок службы – принять самостоятельно лет (если нужно);
7. Коэффициент надёжности – 0,95;
8.  $c = 3,23$ ;
9. Толщины слоев и значения модулей упругости принимаем по рис. 2.



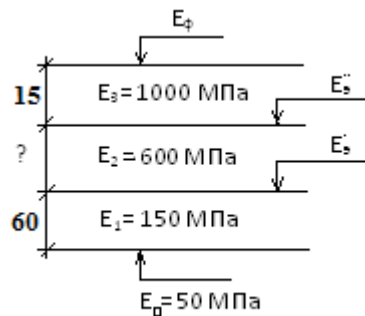


Рисунок 2 - Конструкция дорожной одежды

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

Таблица 1 - Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок А<sub>1</sub> и А<sub>2</sub>

Дорожная одежда капитального типа		Дороги, предназначенные для движения групп нагрузок А <sub>1</sub> и А <sub>2</sub>									
		I		II		III			IV		
Заданный коэффициент надежности K <sub>н</sub>		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85
Требуемый коэффициент прочности K <sub>пр</sub> <sup>тр</sup> по критерию	упругого прогиба	1,25	1,15	1,20	1,10	1,20	1,10	1,00	1,05	0,95	0,85
	сдвигоустойчивостинеукрепленных слоев	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90
	усталостного разрушения монолитных слоев при растяжении при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90

Таблица 2 - Минимально допустимый требуемый модуль упругости дорожной одежды

Категория дороги	Требуемый модуль упругости E <sub>тр</sub> , МПа, дорожной одежды				
	капитального типа при нагрузке группы			облегченного типа	переходного и низшего типа
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>		
I	230	270	310	–	–
II	220	250	280	–	–
III	200	220	–	180	–
IV	180	–	–	150	100
V, VI	–	–	–	100	80

Таблица 3 - Рекомендуемый расчетный срок службы дорожной одежды

Категория дороги	Тип дорожной одежды	Коэффициент надежности K <sub>н</sub>						
		0,98	0,95	0,90	<b>0,85</b>	0,80	0,75	0,70
		Срок службы T <sub>сл</sub> , лет						
I	Капитальный	19	14					
II	Капитальный	17	13					
III	Капитальный	15	12	11				
	Облегченный		11	9				
IV	<b>Капитальный</b>		10	9	<b>8</b>			
	Облегченный			8	7	6		

Таблица 4 - Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля

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

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

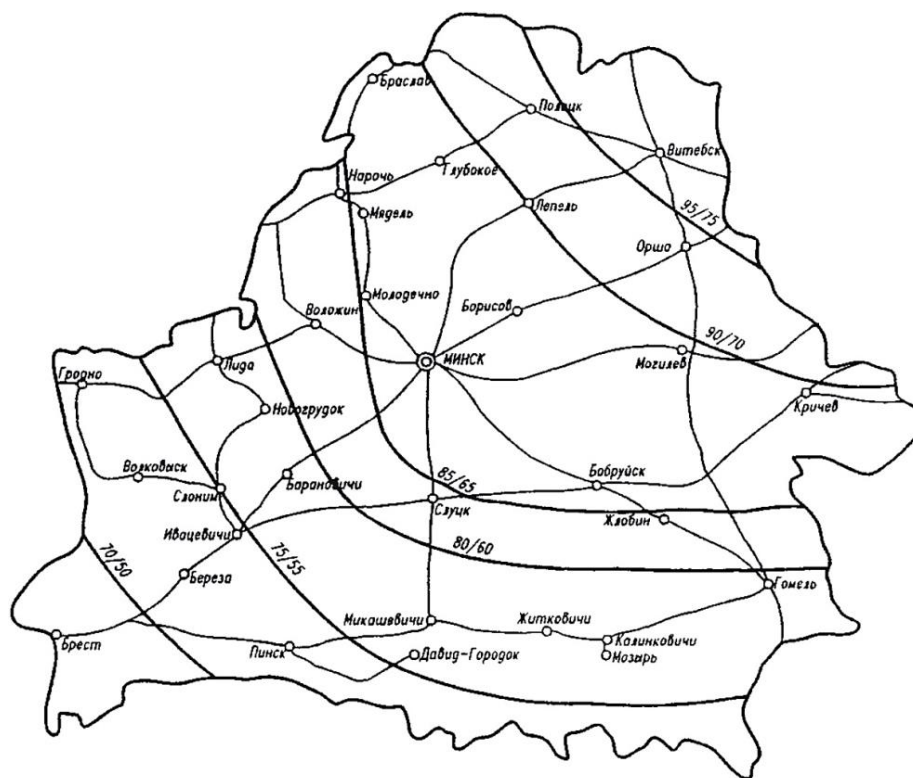


Рис.3. Карта изолиний минимально допустимых толщин стабильных слоев дорожной конструкции из условий морозоустойчивости при земляном полотне, сложенном из сильнопучинистых и чрезмернопучинистых грунтов.

В числителе – для капитальных дорожных одежд,  
в знаменателе – для облегченных

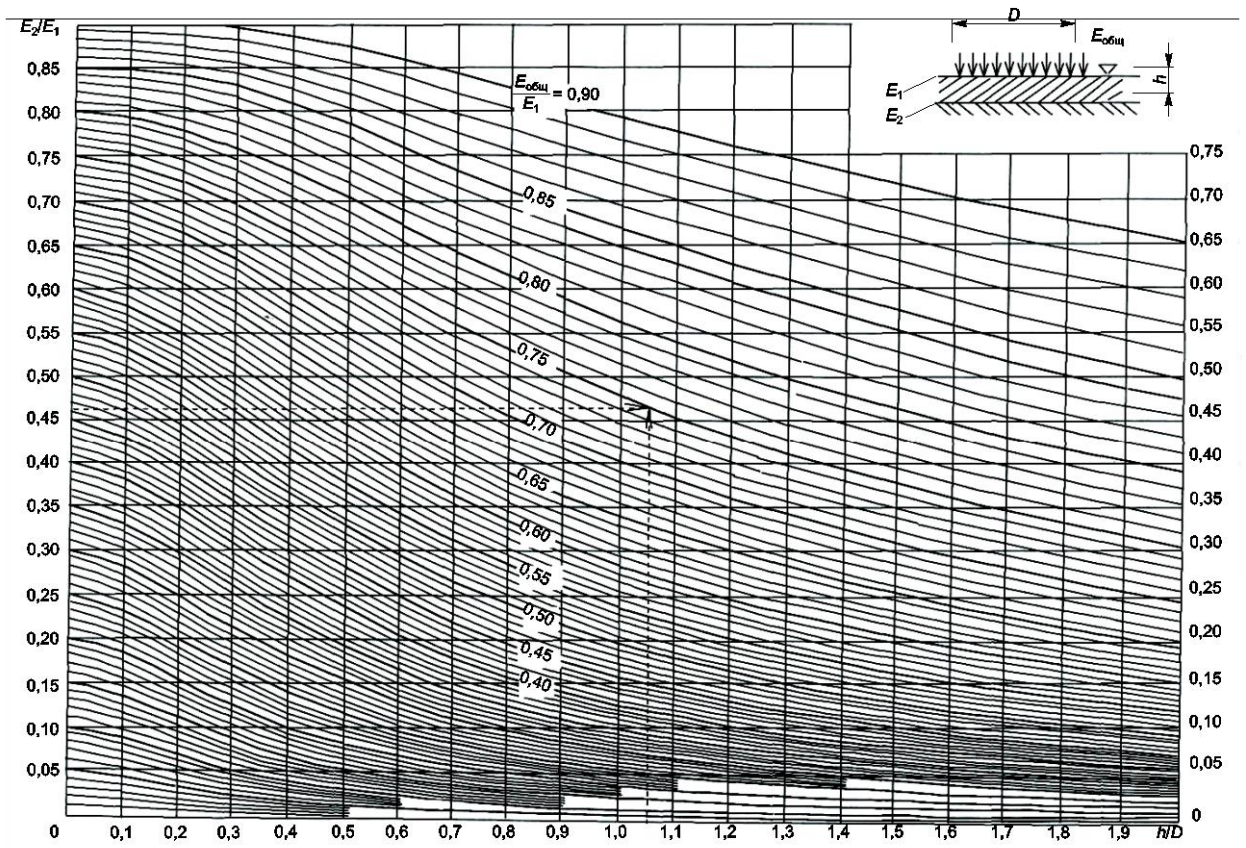


Рисунок 1 - Номограмма для определения общего модуля упругости двухслойной системы  $E_{общ}$ , МПа

## Практическая работа №4

**Задача № 1. Проверить условие сдвигоустойчивости грунта земляного полотна.**

Исходные данные:

1. Материал земляного полотна: супесь (W<sub>T</sub>=10%, 10 колонка);
2. Материал дополнительного слоя основания: песок средний;
3. Материал слоя основания: ЩГПС С3-С11;
4. Категория - III, коэф. надёжности - 0,95;
5. Расчетная нагрузка – A<sub>2</sub>;
6. Коэф. K<sub>1</sub>=1,5 , K<sub>2</sub>=1,1;
7. Значения модуля упругости верхнего слоя и конструкцию дорожной одежды принять по рис. 1.

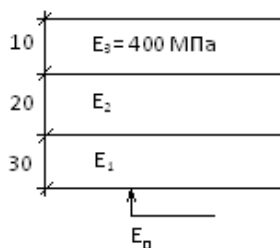


Рисунок 1 - Конструкция дорожной одежды

Таблица 1 - Влажность грунта

				W <sub>T</sub>								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Супесь												
Крупная легкая	От 1 до 7	Более 50	<i>E<sub>y</sub></i> , МПа	108,0	108,0	100,0	100,0	79,0	69,0	62,0	54,0	50,0
			φ, град	32	30	29	28	27	26	25	23	22
			C, МПа	0,022	0,016	0,014	0,013	0,011	0,010	0,007	0,005	–
1							Модуль упругости слоя <i>E</i> , МПа	Внутреннее сцепление <i>C</i> , МПа	Угол внутреннего трения φ, град			
Щебеночно-гравийно-песчаные смеси по ГОСТ 25607: типов С1–С2 типов С3–С11							240	0,03	43			
							200	0,02	42			
Асфальтогранулят по СТБ 1705: типа А1 типа А2							240	0,05	46			
							220	0,05	44			
Фракционированный доломитовый щебень марки 600 и выше оптимального зернового состава по СТБ П 1698, устроенный по способу заклинки: – асфальтогранулятом по СТБ 1705 – фракционированным мелким щебнем и гранитным отсевом (природным песком)							240	0,03	46			
							200	0,03	44			
Щебеночно-песчаные смеси оптимального зернового состава по СТБ П 1698 крупностью до 40 мм, песчано-гравийные смеси по ГОСТ 23735 с содержанием щебня (гравия) более 30%, минеральный бетон из гранитного отсева, малопрочных известняков, доломитов малоперекристаллизованных							180	0,02	41			
Песок средний			<i>E<sub>y</sub></i> , МПа	120,0								
			φ, град	32								
			C, МПа	0,004								

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

Таблица 2 - Предельные нагрузки на ось расчетного двухосного автомобиля

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

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

Таблица 3 - Значения минимальных коэффициентов прочности дорожных одежд, предназначенных для движения групп нагрузок  $A_1$  и  $A_2$

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

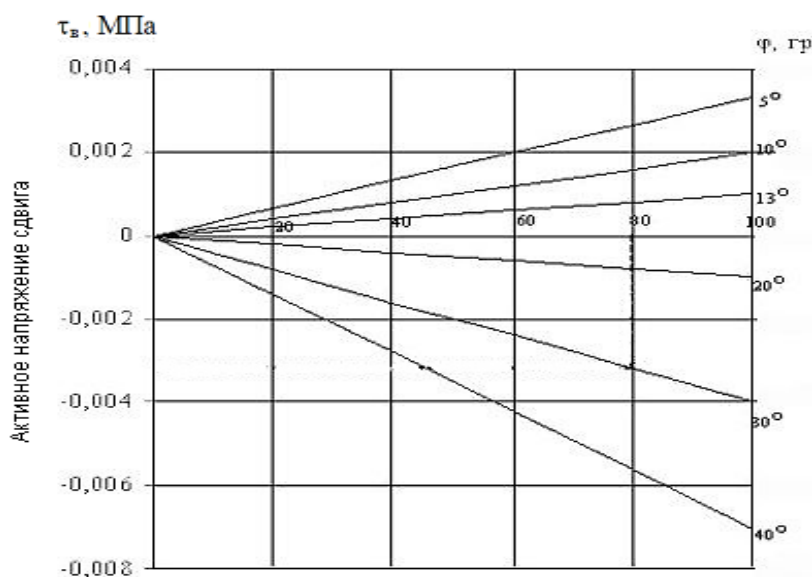


Рис.2. Номограмма для определения активного напряжения сдвига  $\tau_v$  от собственного веса дорожной одежды

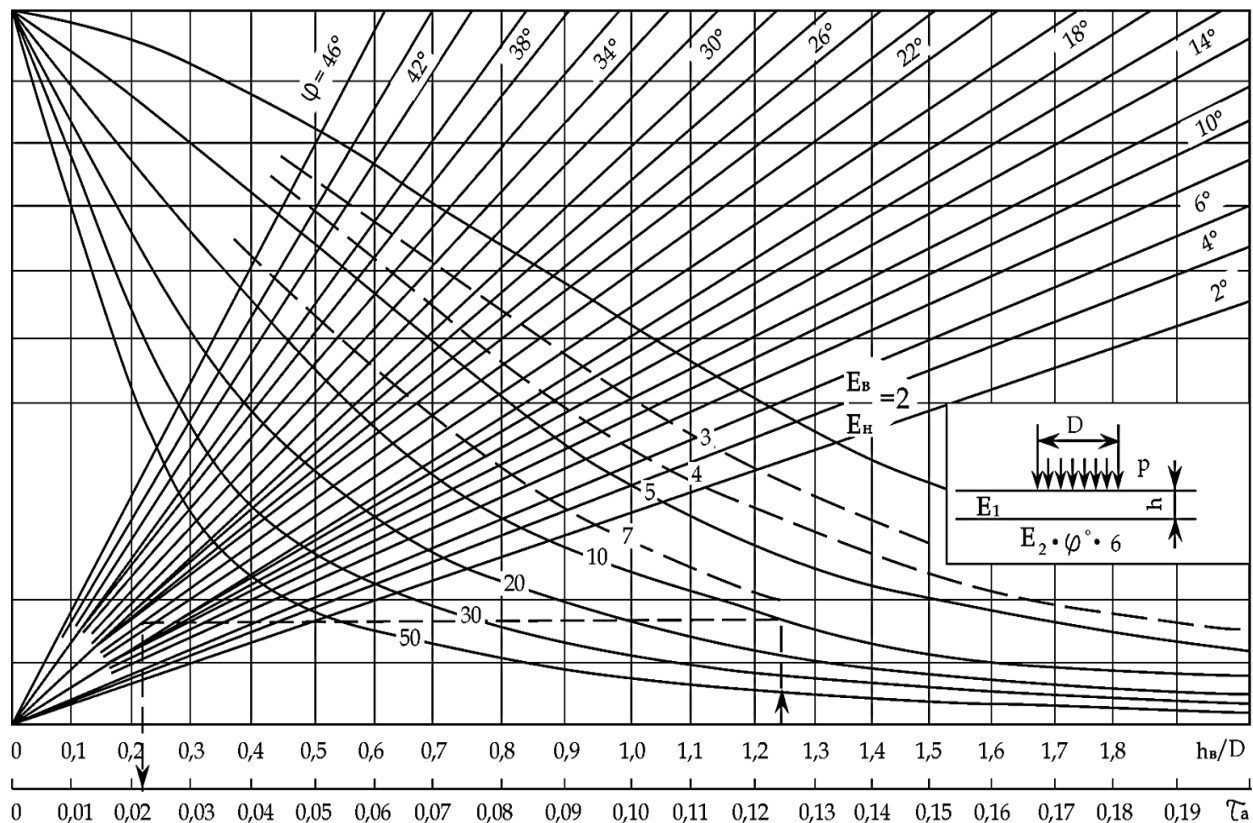


Рис.3. Номограмма для определения активного напряжения сдвига  $\bar{\tau}_a$  от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при  $h_b/D = 0-2,0$ )

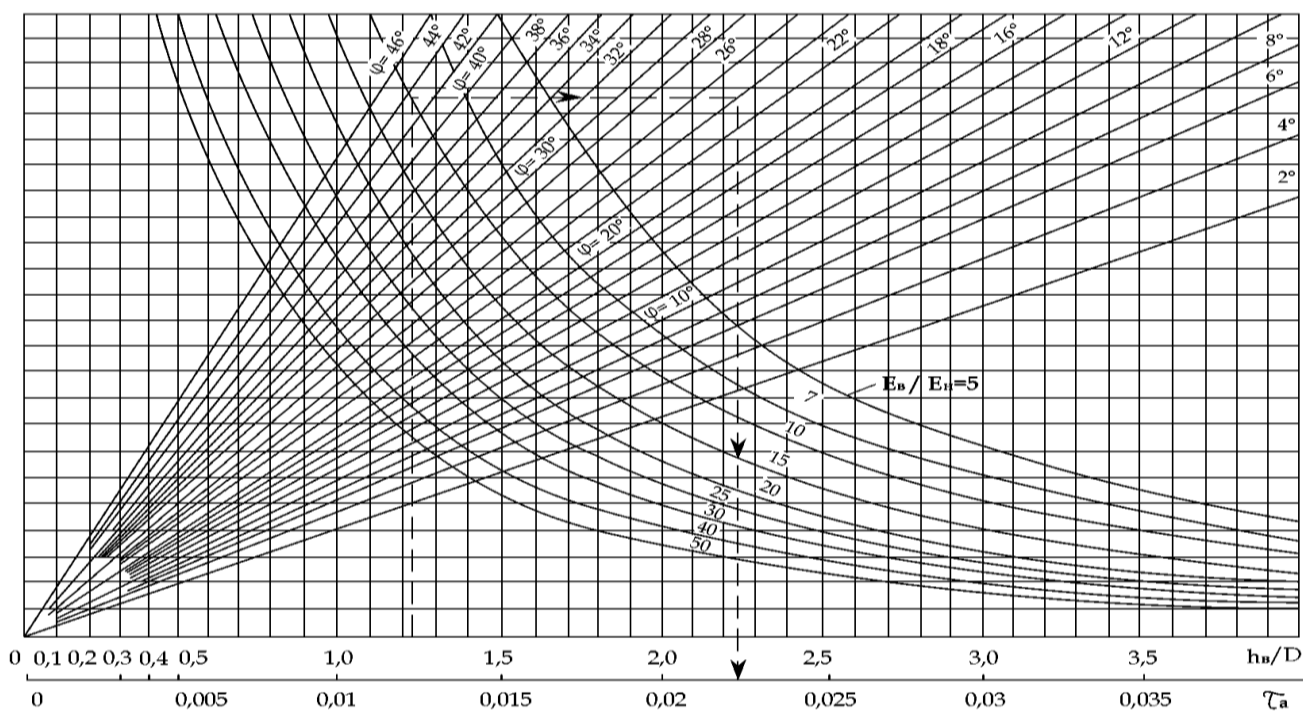


Рис. 4. Номограмма для определения активного напряжения сдвига  $\bar{\tau}_a$  от единичного нагружения в нижнем слое двухслойной системы (при  $h_b/D = 2-4,0$ )

**Задача №2. Проверить условие устойчивости монолитного слоя к усталостным деформациям.**

Исходные данные:

1. Нормативное значение прочности на изгиб .... МПа;
2. Суммарная интенсивность движения расчетных автомобилей за весь срок службы - 500000 авт.;
3. Коэффициенты:  $K_b = \dots$ ,  $t = \dots$ ,  $K_M = \dots$ ,  $K_T = \dots$ ,  $m = \dots$ ,  $\alpha = \dots$ ;
4. Коэффициент запаса прочности – ...;
5. Значения модулей упругости и конструкцию дорожной одежды принять по рис. 1.

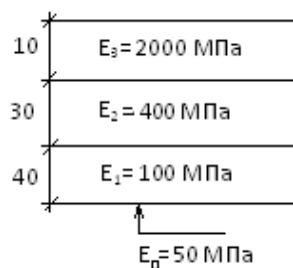


Рисунок 1 - Конструкция дорожной одежды

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

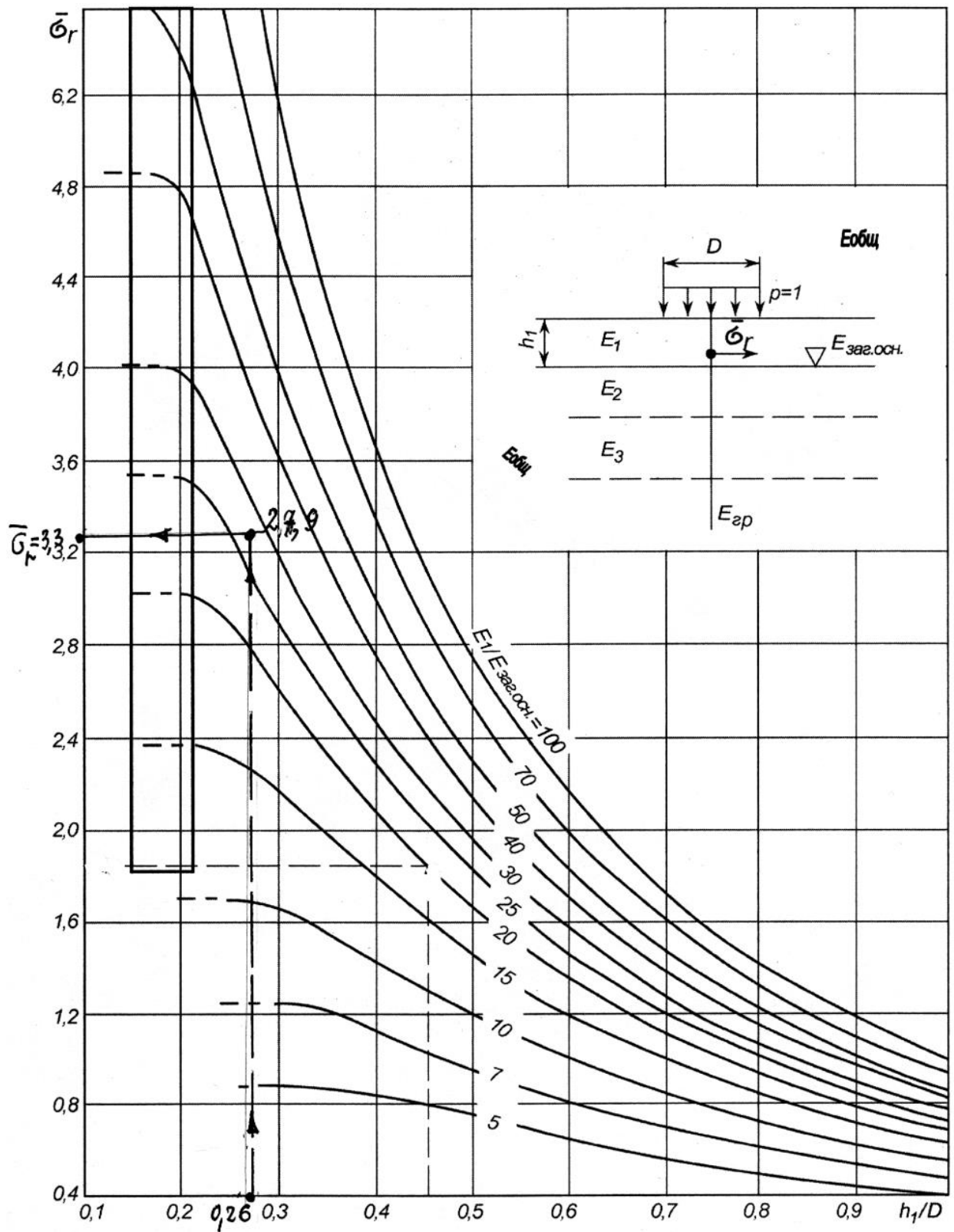


Рис. 2. Номограмма для определения растягивающего напряжения  $\bar{\sigma}_r$  при изгибе от одиночного нагружения в верхнем монолитном слое дорожной одежды



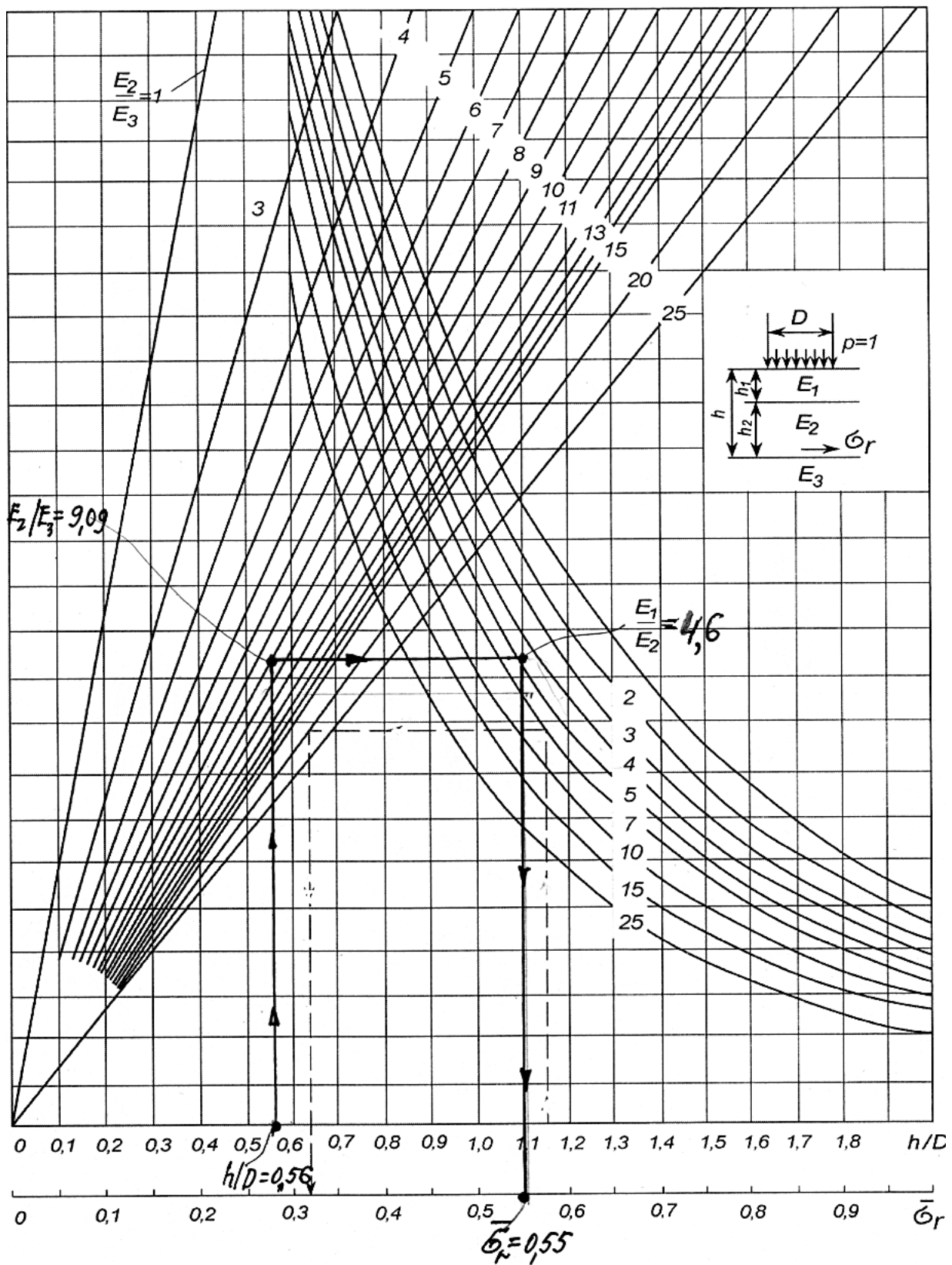


Рис. 3. Номограмма для определения растягивающего напряжения  $\bar{\sigma}_r$ , в промежуточном монолитном слое дорожной одежды

## Практическая работа №5

**Задача № 1. Принять решение о целесообразности использования материала старого покрытия в новой дорожной одежде и назначить конструкцию слоев усиления.**

Исходные данные:

1. Ровность покрытия 6 мм/км;
2. Удельные площади дефектов занятые пластическими деформациями (0,1), температурными трещинами (0,3), усталостными трещинами (0,3), коррозионными деформациями (0,2);
3. Категория дороги – III;
4. Срок службы покрытия (t)– 15лет.
5. Значение показателя  $IRI_0$  и коэффициента  $B$

Таблица 1 - Нормативные показатели ровности

Категория дороги	I	II	III	IV
$IRI_0$ , мм/м	1,5	2,0	2,0	2,5
$B$ , год <sup>-1</sup>	0,0559	0,0644	0,0677	0,0403

**Задача №2. Определить ширину разделки трещин из условия предотвращения появления отраженных дефектов. Определить глубину фрезерования старого покрытия из условия предотвращения отраженных дефектов.**

Исходные данные:

1. Максимальная структурная прочность слоя усиления 10,3 МПа.
2. Конструкцию слоев старого покрытия и значения модулей релаксации при минус 15°C принять по рис. 9.

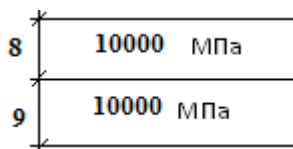


Рисунок 1 - Конструкция и характеристики асфальтобетонного покрытия

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

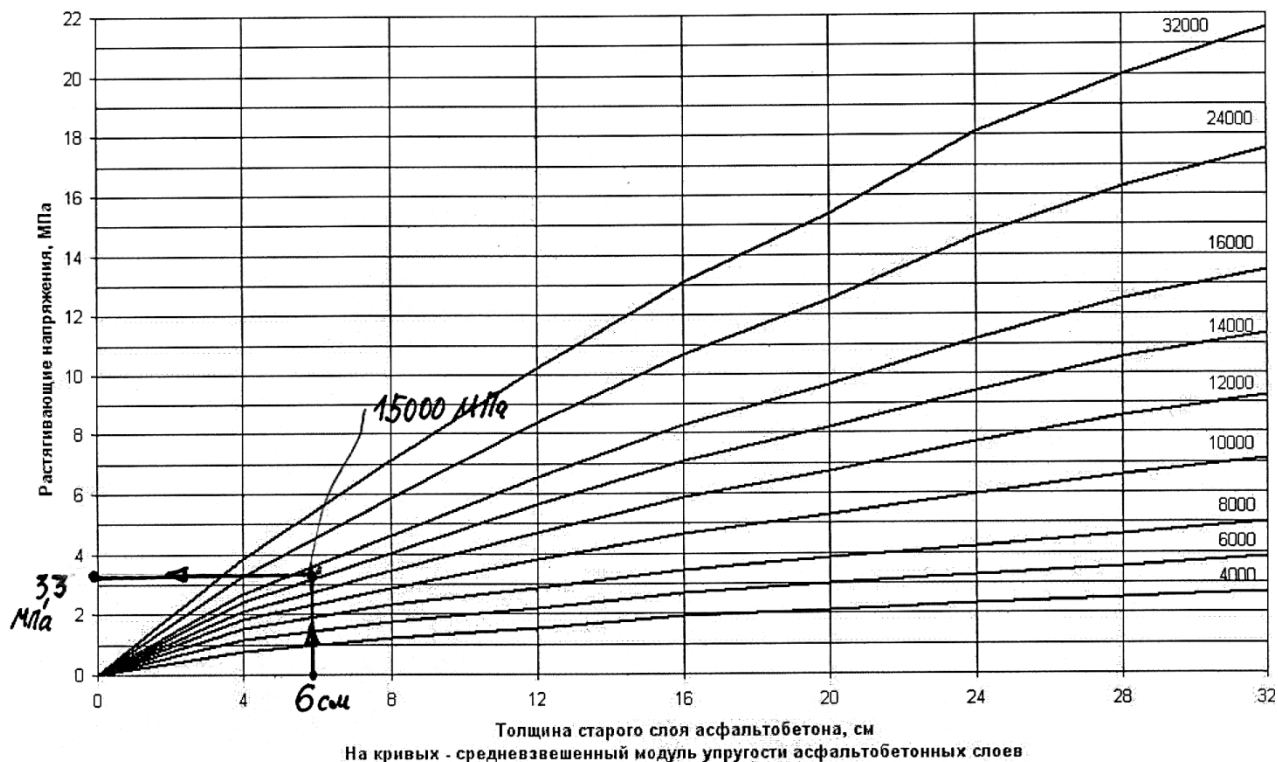


Рис. 2. Зависимость растягивающих напряжений в нижней части слоя асфальтобетона от толщины старого слоя и его средневзвешенного модуля упругости при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$

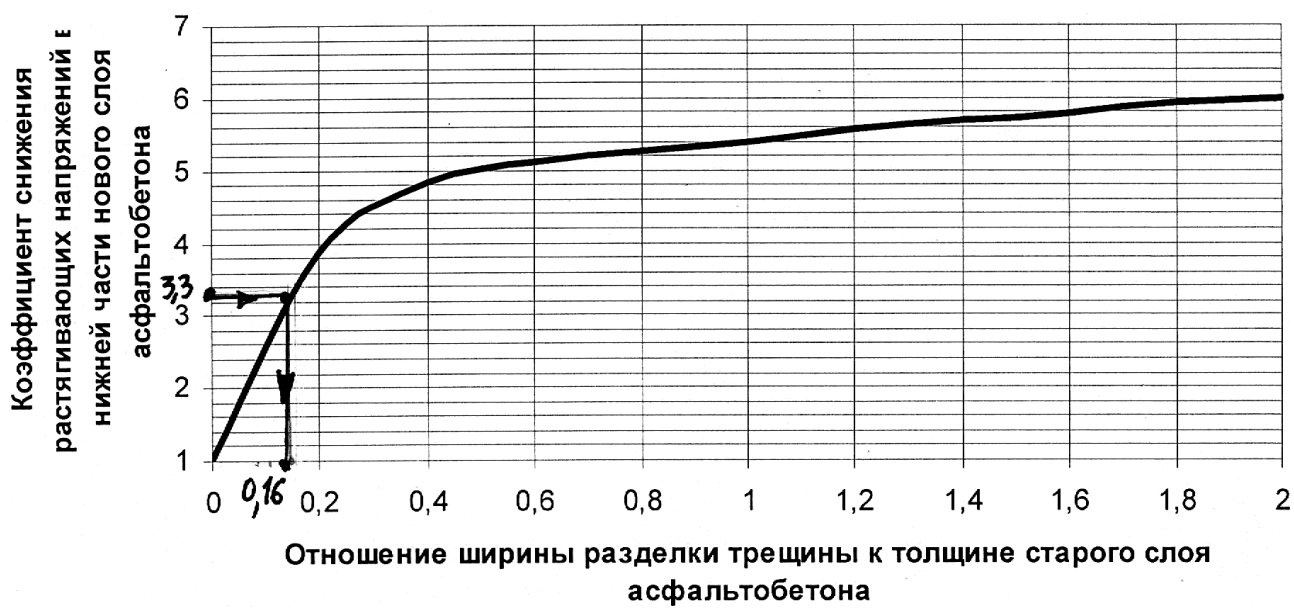


Рис. 3. Зависимость ширины разделки трещины от коэффициента снижения растягивающих напряжений

## Практическая работа №6

**Задача №1. Проверить условие сдвигоустойчивости верхнего слоя асфальтобетонного покрытия.**

Исходные данные:

1. Угол внутреннего трения асфальтобетона при  $50^{\circ}\text{C}$  – .... $^{\circ}$ .
2. Сила внутреннего трения асфальтобетона при  $50^{\circ}\text{C}$  – .... МПа.
3. Расчетная нагрузка  $A_3$ .
4. Интенсивность движения расчетных автомобилей – .... авт./ сутки.
5. Коэффициент запаса прочности – ....
4. Конструкцию дорожной одежды и значения модулей упругости принять по рис. 1.

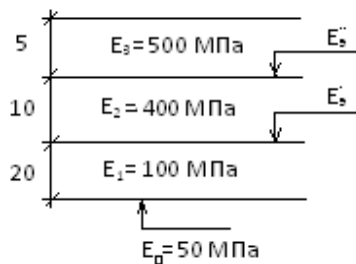


Рисунок 1 - Конструкция дорожной одежды

**Задача №2. Проверить условие сдвигоустойчивости нижнего слоя асфальтобетонного покрытия.**

Исходные данные:

1. Угол внутреннего трения асфальтобетона при  $50^{\circ}\text{C}$  –  $40^{\circ}$ ;
2. Сила внутреннего трения асфальтобетона при  $50^{\circ}\text{C}$  –  $0,3$  МПа;
3. Расчетная нагрузка  $A_3$ ;
4. Категория - II;
5. Расчётная суточная интенсивность приложения расчётной нагрузки на начало срока службы  $N_p$  –  $350$  осей./ сутки;
6. Коэффициент запаса прочности –  $1,25$ ;
7. Диаметр отпечатка -  $28$  см;
8.  $K$ – коэффициент, равный  $0,8$
9. Конструкцию дорожной одежды и значения модулей упругости примем как для предыдущей задачи. по рис. 12.

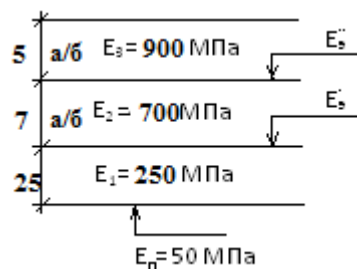


Рисунок 2 - Конструкция дорожной одежды

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

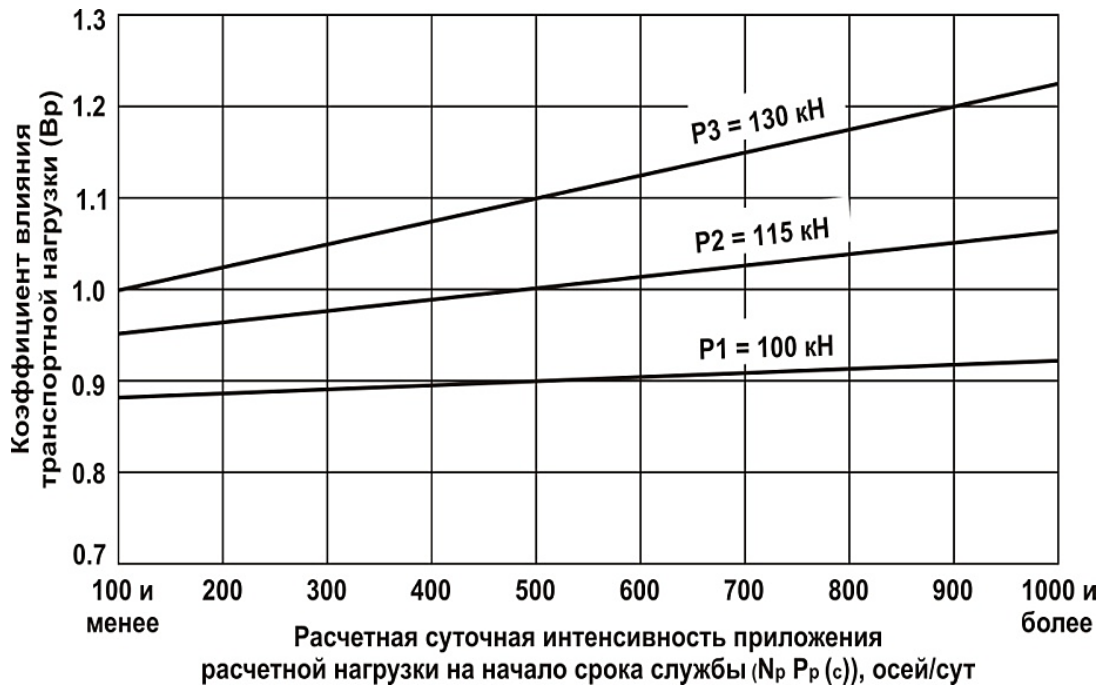


Рис.3. График определения коэффициента  $B_p$

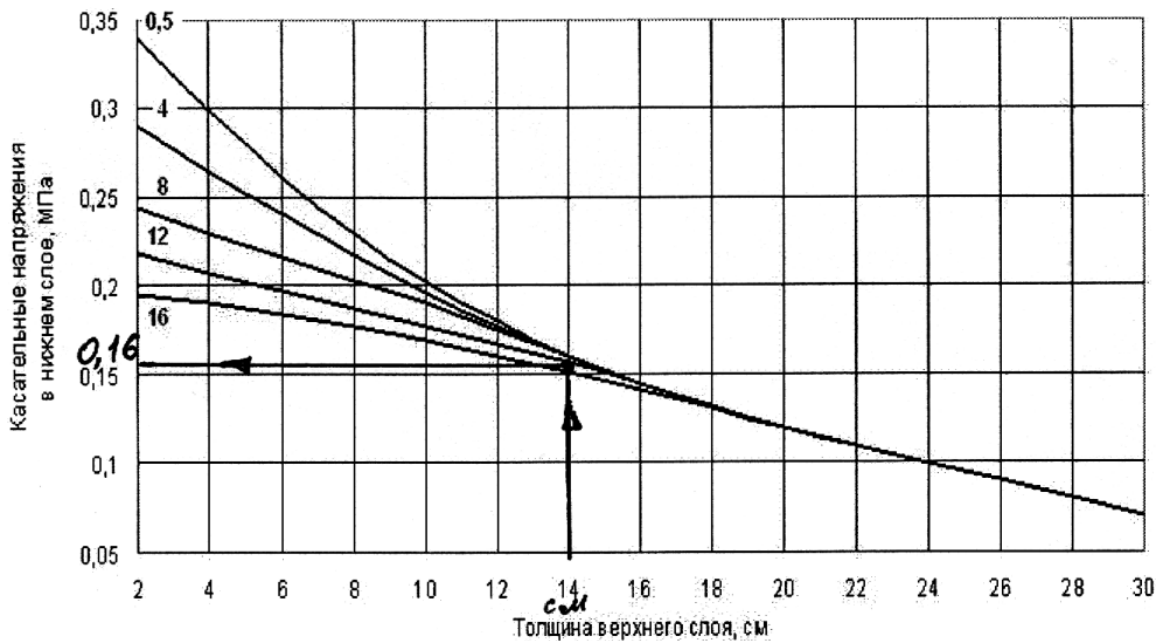


Рис.4. Номограмма к определению касательных напряжений в нижних слоях дорожной одежды



Рис.5. Номограмма к определению нормальных напряжений в нижних слоях дорожной одежды

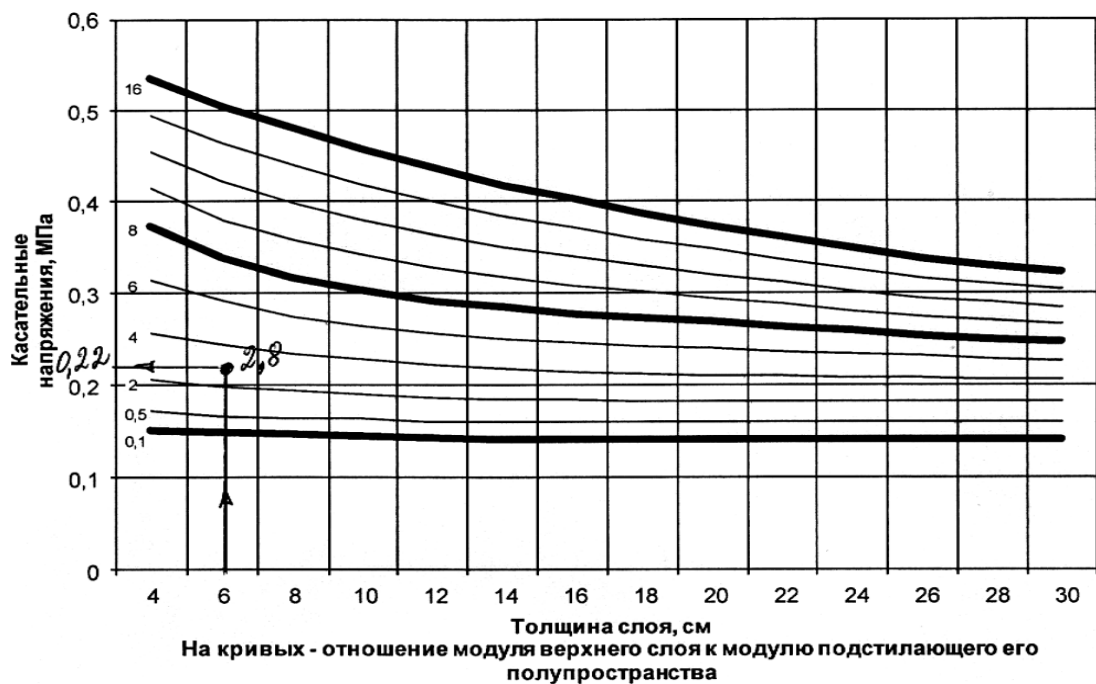


Рис.6. Номограмма к определению касательных напряжений в верхнем слое дорожной одежды

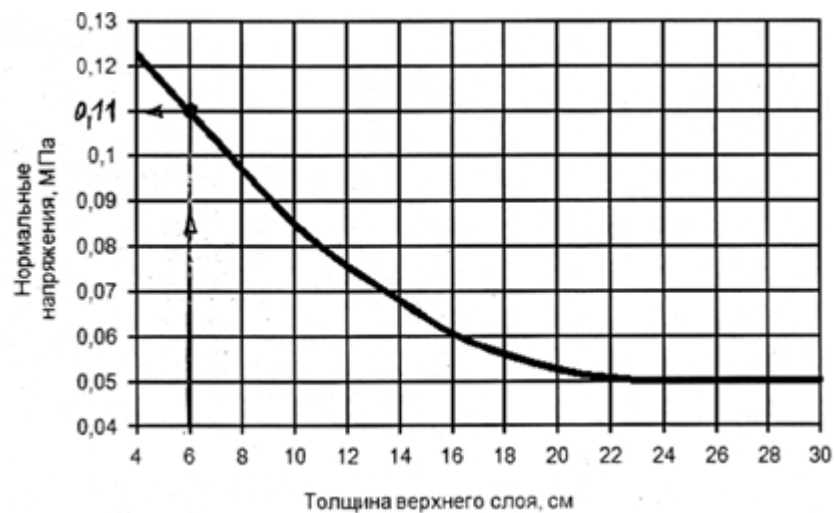


Рис.7. Номограмма к определению нормальных напряжений в верхних слоях дорожной одежды

## Практическая работа №7

**Задача №1. Изучение типового альбома дорожных одежд и конструкций для дорог общего пользования.**

**Задача №2. Подбор и расчёт дорожной конструкции в системе Кредо RADON**

*Цель работы*–изучение типового альбома дорожных конструкций и действующих нормативов по проектированию дорожных конструкций и их расчёту. Подбор конструкции, её расчёт для улицы с известным составом потока и интенсивностью движения (ручным и программным методами). Составление эскиза чертежа и карточки дорожной одежды.

**Исходные данные:** Категория дороги, состав потока, интенсивность. Начальная общая интенсивность движения  $N_0= 2048$ авт/сут. Прирост интенсивности движения составляет 4% в год.

Состав движения	Известен
Состав потока задан	В процентах
Рост интенсивности	Общий для потока
Коэффициент роста интенсивности, доли ед.	1.03
Интенсивность движения на первый год службы, авт/сут.	2300
Интенсивность движения на расчетный год службы, авт/сут.	3181
Расчетное сут. число приложений на полосу приведенной нагрузки на последний год службы, $N_p$ , ед./сут.	378
Суммарное расчетное число приложений на полосу за весь срок службы, $SN_p$ , ед.	506071
Требуемый модуль упругости, МПа	244

**Задание:** Изучить действующие нормативы по расчёту и конструированию дорожных одежд РБ. Изучить альбом типовых конструкций. Подобрать слои и материалы для дорожной конструкции на основании нормативов и типового альбома для приведенного состава потока и категории дороги. Расчитать дорожную конструкцию на прочность и надёжность (программными методами в системе Кредо RADON).

#### Варианты 1-4

Категория	Б	В	Г	Д
Требуемый модуль упругости	310	270	250	234



## Практическая работа №8

**Задача №1. Конструирование и расчет дорожной одежды при применении метода холодного ресайклинга. Проверить на температурную трещиностойкость.**

Исходные данные:

1. Требуемый модуль упругости составляет 308 МПа..
2. Конструкцию слоев покрытия и значения модулей принять по рис. 1.
3. Значение модуля релаксации при  $-15^\circ$  принимаем 17000 МПа.

$E_{\text{общ}} = 211 \text{ МПа}$	↓
$E_1 = 2086 \text{ МПа}, E' = 173,8 \text{ МПа}$	$h_1 = 5 \text{ см}$
$E_2 = 1580 \text{ МПа}, E' = 123,24 \text{ МПа}$	$h_2 = 7 \text{ см}$
$E_3 = 600 \text{ МПа}, E' = 106 \text{ МПа}$	$h_3 = 12 \text{ см}$
$E_4 = 240 \text{ МПа}, E' = 70 \text{ МПа}$	$h_4 = 17 \text{ см}$
$E_5 = 130 \text{ МПа}$	$h_5 = 45 \text{ см}$
$E_{\text{гр}} = 27 \text{ МПа}$	↑

Рис.1. Схема конструкции к определению  $E_{\text{гр}}$  на поверхности старой дорожной одежды.

Дополнительные данные необходимые для выполнения практической работы:

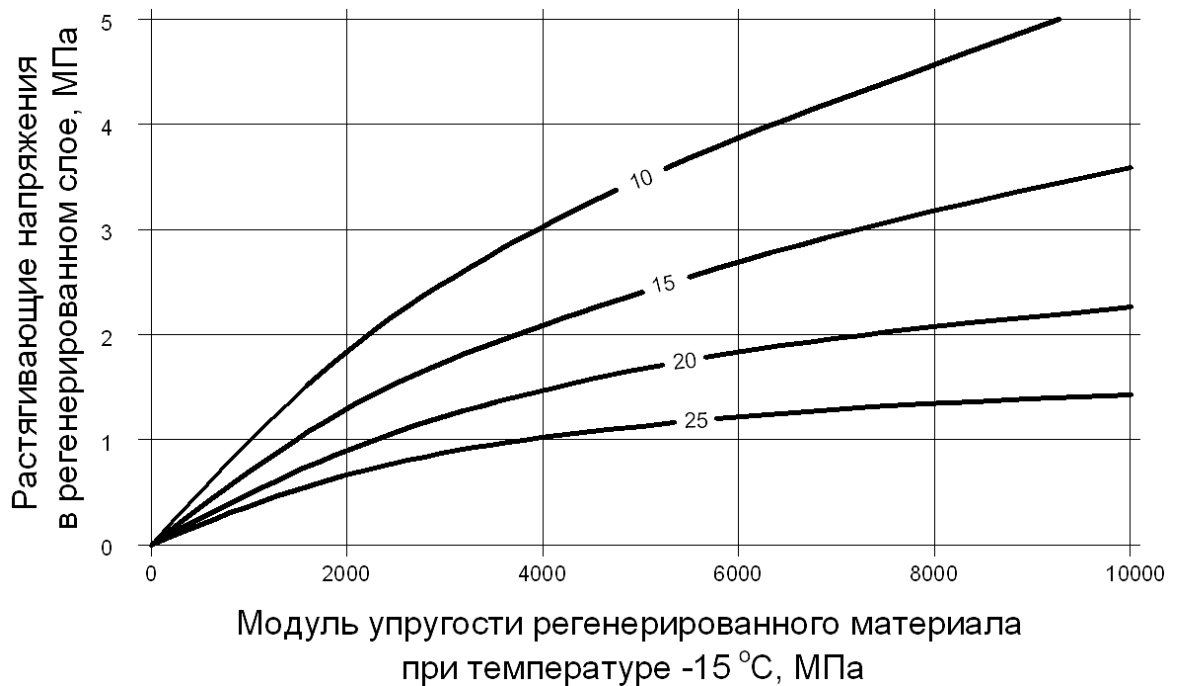


Рис. 2. Зависимость растягивающих напряжений на регенерированном слое от его толщины и модуля упругости, на кривых – толщина регенерированного слоя, см

Таблица 1 - Значения коэффициента  $K_h$

Общая толщина защитных слоев, см	Коэффициент $K_h$ , МПа
4	1,1
5	1,0
10	0,8
15	

УТВЕРЖДАЮ

Ст. преподаватель \_\_\_\_\_ Е.П. Ходан

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

**Перечень вопросов, выносимых на экзамен по дисциплине  
«Изыскание и проектирование автомобильных дорог» 2 часть,  
для студентов дневной и заочной формы обучения специальности  
1-70 03 01**

1. Дорожные одежды. Назначение, характеристика и классификация.
2. Виды материалов для устройства конструктивных слоев дорожных одежд.
3. Физико-механические свойства материалов дорожных одежд.
4. Расчетные характеристики материалов и методы их определения.
5. Влияние погодно-климатических факторов на работу дорожной одежды.
6. Транспортные нагрузки, их характеристика и классификация.
7. Понятие о расчетном автомобиле и его характеристики.
8. Понятие о коэффициентах приведения. Методика приведения автомобиля к расчетному.
9. Деформация и разрушение дорожных одежд. Причины их появления.
10. Учет надежности при конструировании и расчете дорожной одежды.
11. Понятие об эквивалентных слоях.
12. Методика выбора материалов для устройства конструктивных слоев.
13. Основные принципы конструирования нежесткой дорожной одежды.
14. Основные положения и критерии прочности и надежности дорожных одежд.
15. Основы теории расчета дорожной одежды по критерию упругого прогиба.
16. Методика оптимизации конструкции дорожной одежды.
17. Основы теории расчета на сдвигустойчивость грунта земляного полотна и несвязных слоев основания.
18. Основы теории расчета на сдвигустойчивость материалов покрытия.
19. Основы теории расчета дорожной одежды на устойчивость усталостным деформациям от действия транспортных нагрузок.
20. Расчет дорожной одежды на устойчивость усталостным деформациям от действия погодно-климатических факторов.
21. Осушение дорожной одежды. Расчет толщины дренирующего слоя.
22. Расчет дорожной одежды на морозоустойчивость.
23. Проектирование проезжей части и составление карточки дорожной одежды.
24. Общие положения. Способы реконструкции земляного полотна проезжей части.
25. Диагностика материалов дорожного покрытия дорожной одежды.

26. Общие понятия об отраженных дефектах и причинах их появления.
27. Ликвидация отраженных дефектов путем фрезерования покрытия.
28. Ликвидация отраженных дефектов путем разделки трещин.
29. Комбинированные способы ликвидации отраженных дефектов.
30. Конструирование дорожной одежды при реконструкции и капитальном ремонте.
31. Расчет толщины усиления дорожной одежды при реконструкции и капитальном ремонте.
32. Расчет дорожной одежды на прочность при реконструкции и капитальном ремонте.
34. Конструирование и расчет дорожной одежды при применении технологии ресайклинга.
35. Зарубежные методы расчета нежестких дорожных одежд.
36. Конструирование жестких дорожных одежд.
37. Расчет жестких дорожных одежд на температурное воздействие.

**Задачи:**

Задача №1. Определить интенсивность движения расчетных автомобилей ( $N_p$ ) и суммарное число воздействий расчетного автомобиля за срок службы ( $\Sigma N_p$ ).

Задача №2. Выбрать материал для устройства конструктивного слоя.

Задача №3. Проверить условие прочности дорожной одежды по упругому прогибу.

Задача №4. Определить толщину конструктивного слоя №2 дорожной одежды.

Задача №5. Проверить условие сдвигоустойчивости грунта земляного полотна.

Задача №6. Проверить условие устойчивости монолитного слоя к усталостным деформациям.

Задача №7. Определить толщину дренирующего слоя и проверить условие морозоустойчивости дорожной одежды.

Задача №8. Принять решение о целесообразности использования материала старого покрытия в новой дорожной одежде и назначить конструкцию слоев усиления.

Задача №9. Определить глубину фрезерования старого покрытия из условия предотвращения отраженных дефектов.

Задача №10. Определить ширину разделки трещин из условия предотвращения появления отраженных дефектов.

Задача №11. Проверить условие сдвигоустойчивости верхнего слоя асфальтобетонного покрытия.

Задача №12. Проверить условие сдвигоустойчивости нижнего слоя асфальтобетонного покрытия.

**Методические указания по курсовому проекту для дисциплины  
«Изыскание и проектирование автомобильных дорог» 2 часть,  
для студентов дневной и заочной формы обучения специальности  
1-70 03 01**

1. Веренько, В. А. Проект дорожной одежды нежесткого типа : учебно-методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проекта для студентов специальности 1-70 03 01 "Автомобильные дороги" / В. А. Веренько ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Проектирование дорог". – Минск : БНТУ, 2019. – 299 с.

[офиц. сайт]. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/54724> (дата обращения: 29.06.2021).

**Вспомогательный материал (литература и нормативы) для дисциплины «Изыскание и проектирование автомобильных дорог» 2 часть, для студентов дневной и заочной формы обучения специальности 1-70 03 01**

1. Веренько В.А. Долговечные асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог, мостов и улиц / В.А. Веренько. – Минск: АртДизайн. Беларусь, 2015. – 291 с.
2. Веренько, В. А. Проект дорожной одежды нежесткого типа : учебно-методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проекта для студентов специальности 1-70 03 01 "Автомобильные дороги" / В. А. Веренько ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Проектирование дорог". – Минск : БНТУ, 2019. – 299 с.
3. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия: СТБ 1033–2016. – Мн: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2016. – 36 с.
4. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний: СТБ 1115 – 2013. – Введ. 07.01.2014. – Мн.: БелдорНИИ: Госстандарт Беларуси, 2014. – 39 с.
5. В.А. Веренько Деформации и разрушения дорожных покрытий: причины и пути устранения / В.А. Веренько. – Минск: Беларусь. Энцикл. імя П. Броўкі, 2008. – 304 с.: ил.
6. СН 3.03.04-2019 «Автомобильные дороги», Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск : 2019. – 61 с.
7. ТКП 45-3.03-112-2008 «Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования», Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск : 2008. – 96 с.
8. И.В. Галдина. Модифицированные битумы. Учебное пособие, Омск, СибАДИ, 2009г— 219 с.
9. СТБ 1220-2009. «Битумы модифицированные дорожные. Технические условия». – Введён 30.07.2009. №37., с изменениями №1 от 07.01.2012. – Мн.: Госстандарт Беларуси, 2009. – 18с.
10. СТБ EN 12591-2010. «Битумы дорожные. Технические требования и методы испытаний». – Введён 28.04.2010. №18. – Мн.: Госстандарт Беларуси, 2010. – 22с.
11. СТБ 1115–2013 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Методы испытаний». – Введ. 07.01.2014. – Мн.: БелдорНИИ: Госстандарт Беларуси, 2014. – 39с.