ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ И УСТРАНЕНИЮ КОЛЕЙ НА НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДАХ

**Издание официальное**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

**Москва 2002**

gost.e-ecolog.ru

**ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ**

Утверждено
распоряжением Росавтодора
№ОС-556-р от 24.06.2002

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ И УСТРАНЕНИЮ КОЛЕЙ НА НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДАХ

**Издание официальное**

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА**
**(РОСАВТОДОР)**

**Москва 2002**

***Рекомендации по выявлению и устранению колей на нежестких дорожных одеждах***

Рекомендации по устранению колей на нежестких дорожных одеждах разработаны по заданию Государственной службы дорожного хозяйства и предназначены для использования дорожными проектными и производственными организациями при определении и оценке степени колееобразования, расчете и прогнозировании возможной динамики этого процесса, а также при выборе методов и технологии работ по устранению и предупреждению образования колей.

Рекомендации состоят из 3 частей, каждая из которых имеет самостоятельное значение.

Первая часть – содержит методику измерений и оценки эксплуатационного состояния дорог по глубине колеи. Ввиду отсутствия в дорожных организациях специальных передвижных дорожных лабораторий, оснащенных современным измерительным оборудованием, предлагается производить измерение глубины и параметров колеи с использованием укороченной двухметровой рейки. Дается шкала оценки глубины колеи по степени ее опасности для движения автомобилей.

Вторая часть – содержит методику расчета и прогнозирования возможного развития процесса колееобразования на перспективу 5 лет и более с учетом интенсивности, состава движения и доли тяжелых грузовых автомобилей исходя из прочности дорожной конструкции, свойств материалов слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна, природно-климатических условий и других эксплуатационных факторов.

Третья часть – содержит непосредственно практические методы и рекомендации по ликвидации и предупреждению образования колеи.

Все методы борьбы с колееобразованием разделены на четыре группы:

- организационно-технические мероприятия по снижению темпов колееобразования;
- методы ликвидации колей без устранения или с частичным устранением причин образования колей;
- методы ликвидации с устранением причин образования колей;
- методы предупреждения образования колей.

Конкретный метод и технологию борьбы с колееобразованием выбирают в каждом случае на основе анализа результатов обследования общего состояния дороги, выявления причин образования колей, их глубины, геометрических параметров и протяженности, интенсивности и состава движения, с учетом финансовых и материально-технических возможностей, сроков выполнения работ и других факторов.

Утверждено:
распоряжением Государственной
службы дорожного хозяйства
Министерства транспорта
Российской Федерации
№ ОС-441-Р от 17.05.2002 г.

# Часть 1
# МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОГ ПО ГЛУБИНЕ КОЛЕИ

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА**
**(РОСАВТОДОР)**

**Москва 2002**

Под совместным воздействием движения тяжёлых и многоосных автомобилей и природно-климатических факторов на покрытиях дорожных одежд могут накапливаться дефекты и деформации, одним из видов которых является колея.

Получение полных и достоверных данных о параметрах колееобразования требует большого количества измерений специальными автоматизированными передвижными лабораториями с лазерным, ультразвуковым и другим оборудованием, широко применяемым во многих странах мира.

В настоящей работе рассматриваются методы ручного измерения глубины колеи, которые могут быть использованы при отсутствии указанных лабораторий.

При их разработке одновременно учитывались два принципиальных требования: обеспечить достаточную точность измерений для решения практических задач и максимально снизить затраты ручного труда в процессе полевых измерений.

Методика измерения глубины колеи с использованием укороченной рейки предназначена для оценки состояния поверхности проезжей части по ровности в поперечном направлении и позволяет выполнять измерение основных параметров колеи с целью планирования и организации работ по её устранению.

Методика разработана коллективом авторов МАДИ (ГТУ) в составе: д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева, д-ра техн. наук, проф. Ю.М. Яковлева, канд. техн. наук, доц. М.Г. Горячева, инж. М.Ю. Расторгуева и инж. С.В. Лугова.

## 1. Определения

**Рейка укороченная** – жёсткая прямолинейная рейка длиной 2000 мм, прикладываемая на подставочные стаканы, которые устанавливают на поверхности автомобильной дороги (проезжей части и обочине) с целью измерения просветов между рейкой и поверхностью проезжей части, а также расстояний между измеренными просветами.

**Просвет под рейкой** – зазор между нижней гранью рейки и поверхностью проезжей части дороги.

**Подставочный стакан** – приспособление в виде цилиндра постоянной (подставочный стакан постоянной высоты) и переменной (подставочный стакан переменной высоты) высоты, на которые прикладывают рейку в процессе определения параметров ровности в поперечном направлении.

**Измерительный щуп** – приспособление с измерительной шкалой заданной точности для определения просвета между рейкой и поверхностью проезжей части.

**Общая глубина колеи относительно правого выпора** – параметр колеи, определяемый расстоянием по вертикали от дна колеи до гребня правого выпора колеи.

**Общая глубина колеи относительно левого выпора** – параметр колеи, определяемый расстоянием по вертикали от дна колеи до гребня левого выпора колеи.

**Глубина колеи** – параметр колеи, определяемый расстоянием по вертикали от дна колеи до опорной грани рейки, уложенной в поперечном направлении на проезжую часть.

**Дно колеи** – параметр колеи, соответствующий самой нижней точке колеи.

**Гребень выпора** – параметр колеи, соответствующий самой верхней точке на выпоре.

**Расстояние между гребнем колеи и дном колеи** – расстояние по горизонтали между этими точками.

## 2. Организация работ по измерению параметров и глубины колеи на автомобильных дорогах

2.1. Измерение параметров и глубины колеи производят на автомобильных дорогах с нежёсткими дорожными одеждами, имеющими покрытия из асфальтобетона или из материалов, обработанных органическими вяжущими.

Работы по измерению глубины колеи производят в тёплый период года при отсутствии воды на поверхности дороги. Измерение параметров колеи может выполняться как в составе общих работ по диагностике, так и самостоятельно. Для планирования работ на следующий год измерения выполняют в осенний период года после снижения высоких положительных температур воздуха на открытой местности до + 15°С в дневное время. Завершить измерения следует до наступления устойчивых отрицательных температур.

2.2. Различают два способа измерения параметров колеи с применением укороченной рейки: упрощённый способ и измерение по методу вертикальных отметок.

Упрощённый способ рекомендуется для использования в процессе общей диагностики состояния дорог для предварительной оценки характера колееобразования, выявления участков, требующих устранения колеи, назначения вида работ и определения их ориентировочных объёмов.

Способ определения параметров колеи путём измерения по методу вертикальных отметок рекомендуется для использования в процессе проектно-изыскательских работ для детальной оценки характера колееобразования и разработки проектно-сметной документации по устранению колеи.

2.3. Измерение параметров колей выполняется бригадой в рекомендуемом составе: инженер – 1; техник – 2; рабочий – 1.

Оснащение бригады по измерению параметров колей включает:

- передвижную дорожную лабораторию или автомобиль «Дорожная служба» или любой другой автомобиль, позволяющий перевозить бригаду, измерительные приборы и дорожные знаки;
- рейку укороченную с уровнем, подставочные стаканы и измерительный щуп;
- курвиметр и измерительные ленты;
- защитные жилеты;

- набор дорожных знаков «Дорожные работы», «Объезд препятствия слева», «Ограничение максимальной скорости» и конусов.

2.4. Технологический процесс измерения глубины колеи может быть разбит на этапы:

- подготовительный;
- полевые обследования и измерения;
- обработка материалов полевых обследований и измерений и оформление документов.

2.5. Подготовительные работы включают:

- комплектование бригады;
- подготовку и оснащение передвижной лаборатории или другого автомобиля, средств измерения и защитных средств;
- заготовку форм журналов и таблиц;
- сбор информации об обследуемой дороге из технического паспорта дороги, АБДД, проекта, данных предыдущей диагностики или обследований;
- уточнение титула и категории дороги, интенсивности и состава движения, предварительное выявление участков с колеёй;
- определение объёмов работ по измерению параметров колеи, места дислокации бригады в период полевых работ;
- согласование работ с органами управления дорогой и органами ГИБДД;
- инструктаж исполнителей по правилам техники безопасности и охране труда в процессе выполнения полевых работ и измерений.

2.6. Полевые работы включают осмотр и оценку состояния поверхности дороги, а также измерения параметров колеи в установленном порядке.

2.6.1. Визуальный осмотр производят из автомобиля, движущегося со скоростью, позволяющей фиксировать дефекты состояния покрытия, но не более 20 км/ч или пешком. В местах, требующих детального осмотра и обследования, делаются остановки. Визуальное обследование дорог с раздельными проезжими частями производится в прямом и обратном направлениях.

2.6.2. В процессе визуального осмотра уточняют местоположение начала и конца самостоятельных участков с колеёй в прямом и обратном направлениях и привязывают эти положения к километражу.

2.6.3. В местах измерения параметров колеи разбивают поперечник (створ), местоположение которого заносят в ведомость.

До начала измерений с поверхности проезжей части и краевых укреплённых полос очищают пыль и грязь, чтобы были чётко видны границы покрытия и обочин.

2.6.4. На каждом самостоятельном участке производят измерения параметров колеи в соответствии с указаниями раздела 4.

2.6.5. Измерения производят под защитой автомобиля, располагающегося так, чтобы знаки «Дорожные работы», «Объезд препятствия слева» и «Ограничение максимальной скорости» были обращены навстречу движению отображённой на них информацией.

2.6.6. Результаты полевых измерений параметров колеи заносят в ведомость установленной формы и обрабатывают статистическим методами.

2.7. Работы по визуальному осмотру и измерению параметров колеи относятся к категории опасных. Все лица, участвующие в этой работе, должны строго соблюдать действующие «Правила техники безопасности при строительстве, ремонте и содержании дорог», а также другие ведомственные правила и инструкции. При выполнении работ непосредственно на дороге должны соблюдаться требования «Инструкции по организации движения и ограждению мест производства работ», а также специально разработанных для таких случаев инструкций и указаний.

## 3. Требования к измерительному оборудованию

3.1. Рейка укороченная и измерительный щуп (рис. 1): длина рейки должна быть 2000 $\pm$ 2 мм;

- прогиб рейки от собственного веса в середине пролёта не должен превышать 0,2 мм;
- ширина опорной грани рейки - 50 $\pm$ 2 мм;
- отклонение опорной грани рейки от плоскости не должно превышать 0,2 мм; допускается вместо отклонения от плоскости измерять отклонение от прямолинейности продольного профиля поверхности опорной грани рейки, которое не должно превышать 0,2 мм;
- отклонение боковой грани рейки от прямолинейности не должно превышать 5 мм по длине рейки;
- рейка должна быть оснащена устройством для измерения уклона приложения рейки с точностью $\pm$ 0,001 ($\pm$ 1,0‰);

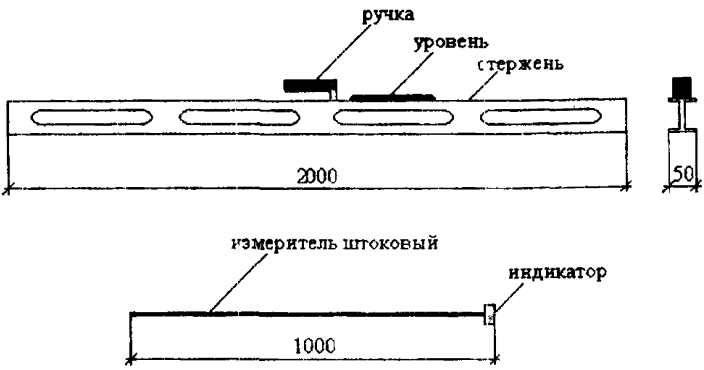



***Рис. 1. Рейка укороченная и измерительный щуп для оценки состояния поперечной ровности (колеи)***

- на боковые грани рейки наносится шкала, оцифрованная через 10 см от 0 до 200; шкала должна иметь сантиметровые деления;
- длина измерительного щупа должна быть 1000 ± 2 мм, не считая держателя;
- диаметр измерительного щупа должен быть 5 ± 0,5 мм;
- шкала на измерительном щупе должна обеспечивать возможность измерения параметров колеи до 30 см; шкала должна иметь миллиметровые деления;
- отклонение продольности измерительного щупа не должно превышать 1,0 мм.

3.2. Подставочные стаканы (рис. 2):

- подставочные стаканы изготавливаются из стойкого к износу материала;
- высота подставочных стаканов постоянной высоты должна составлять 70 ± 0,5 мм; 100 ± 0,5 мм; 120 ± 0,5 мм; 150 ± 0,5 мм;
- диаметр подставочных стаканов постоянной высоты должен быть 50 ± 1 мм;
- высота подставочного стакана переменной высоты должна быть: наибольшая – 150 ± 0,5 мм; наименьшая – 70 ± 0,5 мм.

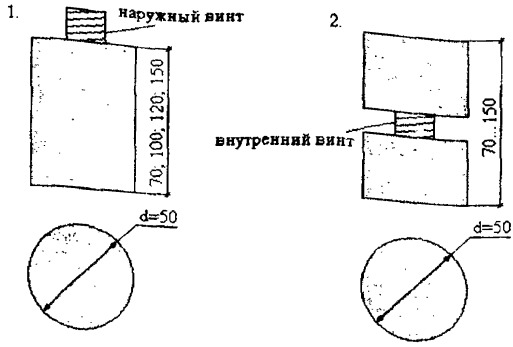



***Рис. 2. Подставочные стаканы под рейку:***
***1 – постоянной высоты; 2 – переменной высоты***

## 4. Проведение измерений

4.1. При проведении измерений следует разделять колеи по видам:

по расположению в пределах полосы движения (рис. 3):

- внешняя (справа по направлению движения);
- внутренняя (слева по направлению движения).




***Рис. 3. Виды колеи по расположению в пределах полосы движения***

Измерения проводят на всём протяжении оцениваемого участка, при необходимости в обоих направлениях, за исключением мест прерывания колеи. В этом случае каждый из участков (как по направлению, так до и после прерывания колеи в одном направлении) выделяют в самостоятельный.

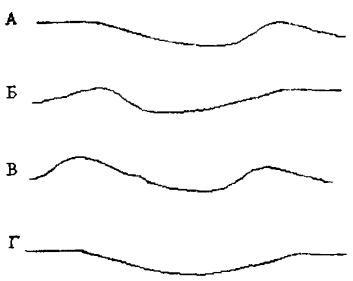



***Рис. 4. Виды колеи по очертанию в поперечном профиле:***
***А, Б – с одним выпором;***
***В – с двумя выпорами;***
***Г – без выпоров***

По очертанию в поперечном профиле (рис. 4):

- колея с одним выпором;
- колея с двумя выпорами;
- колея без выпоров.

4.2. Измерения глубины колеи по упрощённой методике выполняют по внешней колее с соблюдением требований к количеству створов измерения на каждом самостоятельном участке.

4.2.1. Рейку укладывают на выпоры внешней колеи и берут один отсчёт $h_к$ в точке, соответствующей наибольшему углублению колеи в каждом створе (рис. 5), при помощи измерительного щупа, устанавливаемого вертикально, с точностью до 1 мм; при отсутствии выпоров рейку укладывают на проезжую часть таким образом, чтобы перекрыть измеряемую колею.

Если в створе измерения имеется дефект покрытия (выбоина, трещина и т.п.), створ измерения может быть перемещён вперёд или назад на расстояние до 0,5 м, чтобы исключить влияние данного дефекта на считываемый параметр.

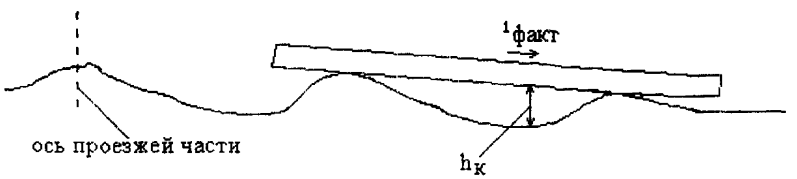



***Рис. 5. Схема измерения глубины колеи по упрощённой методике***

4.2.2. Количество створов измерения и расстояния между створами принимают в зависимости от длины самостоятельного и измерительного участков. Самостоятельным считается участок, на котором по визуальной оценке параметры колеи примерно одинаковы. Протяжённость такого участка может колебаться от 20 м до нескольких километров.

Самостоятельный участок разбивается на измерительные участки, длиной до 100 м (рис. 6).

4.2.3. Если общая длина самостоятельного участка не равна целому количеству измерительных участков по 100 м каждый, выделяется дополнительный укороченный измерительный участок.

Также назначается укороченный измерительный участок, если длина всего самостоятельного участка меньше 100 м.

4.2.4. На каждом измерительном участке выделяются 5 створов измерения на равном расстоянии один от другого (на 100-метровом участке через каждые 20 м), которым присваиваются номера от 1 до 5. При этом последний створ предыдущего измерительного участка становится первым створом последующего и имеет номер 5/1.

Укороченный измерительный участок также разбивается на 5 створов, расположенных на равном расстоянии один от другого (рис. 6).

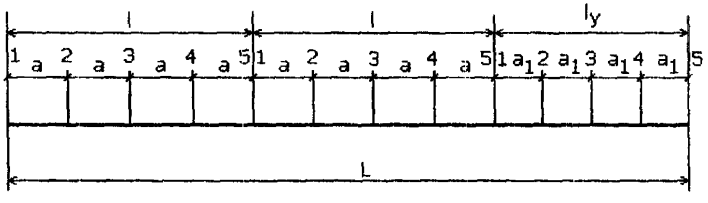



***Рис. 6. Схема самостоятельного и измерительного участков: L – длина самостоятельного участка, м; l – длина измерительного участка, м; $l_y$ – длина укороченного измерительного участка, м; a, $a_1$ – расстояния между створами измерения, м; 1, 2, 3, 4, 5/1 – номера створов измерения***

4.2.5. Глубина колеи измеряется в наиболее глубоком месте каждого створа и записывается в ведомость. Форма ведомости с примером заполнения приведена в табл. 1.

По каждому измерительному участку определяют расчётную глубину колеи. Для этого анализируют результаты измерений в 5 створах измерительного участка, отбрасывают самую большую

величину, а следующую за ней величину глубины колеи в убывающем ряде принимают за расчётную на данном измерительном участке ($h_{кн}$).

4.2.6. Расчётную глубину колеи для самостоятельного участка определяют как среднеарифметическую из всех значений расчётной глубины колеи на измерительных участках:

$$h_{кс} = \frac{\sum_{1}^{n} h_{кн}}{n}, \text{ мм.}$$

Результаты расчётов заносят в ведомость (табл. 1).

Таблица 1

**Ведомость измерения глубины колеи по упрощённому способу**

Участок дороги _____ Направление _____
Номер полосы _____
Положение начала участка _____Положение конца участка _____
Дата измерения _____

| Номер самостоятельного участка | Привязка к километражу и протяжённость | Длина измерительного участка l, м | Глубина колеи по створам | | Расчётная глубина колеи $h_{кн}$, мм | Средняя расчётная глубина колеи $h_{кс}$, мм |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | номер створа | глубина колеи $h_к$, мм | | |
| 1 | От км 20+150 до км 20+380, L=230 м | 100 | 1 | 11 | 13 | 12,7 |
| | | | 2 | 8 | | |
| | | | 3 | 12 | | |
| | | | 4 | 17 | | |
| | | | 5/1 | 13 | | |
| | | 100 | 2 | 16 | 13 | |
| | | | 3 | 10 | | |
| | | | 4 | 13 | | |
| | | | 5/1 | 11 | | |
| | | 30 | 2 | 9 | 12 | |
| | | | 3 | 14 | | |
| | | | 4 | 12 | | |
| | | | 5 | 7 | | |

4.3. Для детальной оценки параметров колееобразования рекомендуется использовать способ измерения вертикальных отметок с применением укороченной рейки и подставочных стаканов.

Измерения рекомендуется выполнять в каждом створе по внешней и внутренней полосам наката каждого направления движения. При отсутствии явно выраженной колеи по внутренней полосе наката измерения производятся только по внешней колее.

4.4. Измерения параметров колеи производят в намеченных створах, причём первый и последний створы на каждом самостоятельном участке должны быть расположены на расстоянии 2...5 м от начала и конца участка.

4.4.1. Количество створов измерений и расстояния между створами назначают в зависимости от длины оцениваемого участка с учётом требуемой точности и надёжности измерений (табл. 2).

Таблица 2

Расстояния между приложениями рейки при оценке состояния дорог по глубине колеи

| Расстояния между створами измерений, м, при длине оцениваемого участка, м | | | |
|---|---|---|---|
| 100...199 | 200...499 | 500...999 | ≥ 1000 |
| 5 | 10 | 15 | 20 |

***Примечание.*** При длине оцениваемого участка менее 100 м расстояние между створами измерений принимать равным 2 м для любых случаев.

Если в створе измерения расположен дефект верхнего слоя покрытия (трещина, выбоина и т.п.), то створ измерения следует вынести за зону влияния данного дефекта.

4.5. Измерение параметров внешней колеи выполняют в намеченном створе, прикладывая рейку к верхней грани подставочных стаканов в поперечном направлении.

4.5.1. Подставочный стакан постоянной высоты устанавливают на кромку проезжей части, кромку краевой полосы или обочину. Подставочный стакан переменной высоты устанавливают в одном створе с подставочным стаканом постоянной высоты. Ширина зазора под укладываемой рейкой, ограниченная подставочными стаканами, должна перекрывать считываемые параметры внешней колеи (рис. 7.1).

4.5.2. Рейку следует выводить в положение нулевого поперечного уклона проезжей части (горизонтальное положение) с помощью подставочного стакана переменной высоты.

4.5.3. При каждом приложении рейки следует измерять:

- величины одного наибольшего – $\delta_1$ и двух наименьших – $\delta_2$ и $\delta_3$ просветов под рейкой (рис. 7.1) при помощи измерительного щупа, устанавливаемого вертикально, с точностью до 1 мм; при отсутствии выпоров величины $\delta_2$ и $\delta_3$ измеряют на выходе из колеи, определяемом визуально.

4.5.4. В процессе измерений заполняют ведомость, в которую заносят полученные результаты (табл. 3).

4.6.При оценке параметров внутренней колеи измерение проводят в тех же створах, в которых выполняли измерение внешней колеи.

4.6.1. Рейку прикладывают к верхней грани подставочных стаканов, выводя её в положение нулевого поперечного уклона проезжей части (горизонтальное положение). Ширина зазора под укладываемой рейкой, ограниченная подставочными стаканами, должна перекрывать считываемые параметры внутренней колеи (рис. 7.2).

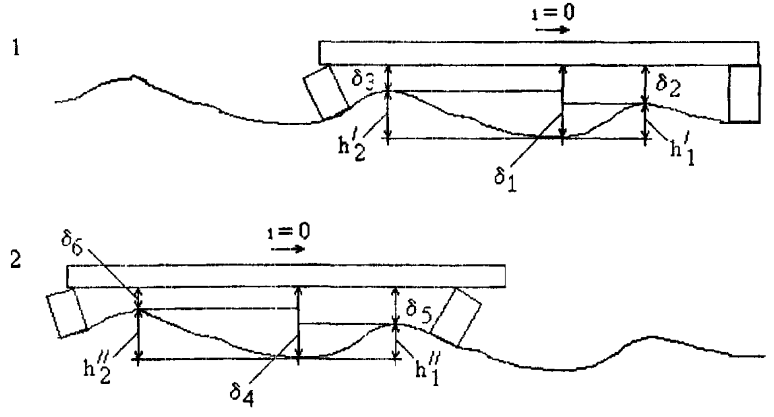



***Рис. 7. Схема измерения параметров поперечной ровности проезжей части по методу вертикальных отметок:***
***1 – по внешней колее; 2 – по внутренней колее***

4.6.2. При каждом приложении рейки следует измерять величины одного наибольшего – $\delta_4$ и двух наименьших – $\delta_5$ и $\delta_6$ просветов под рейкой (рис. 7.2) при помощи измерительного щупа, устанавливаемого вертикально, с точностью до 1 мм; при отсутствии выпоров величины $\delta_5$ и $\delta_6$ измеряют на выходе из колеи, определяемом визуально.

4.6.3. В процессе измерений заполняют ведомость, в которую заносят полученные результаты (табл. 3).

Таблица 3

**Ведомость измерения параметров поперечной ровности (колеи) по методу вертикальных отметок**

Участок дороги _____ Направление _____
Номер полосы _____
Положение начала участка _____Положение конца участка _____
Дата измерения _____

| №№ ство-ра | Привязка к начальному километражу | Измерение параметров внешней колеи | | | Измерение параметров внутренней колеи | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\delta_1$, мм | $\delta_2$, мм | $\delta_3$, мм | $\delta_4$, мм | $\delta_5$, мм | $\delta_6$, мм |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| ... | | | | | | | |
| n | | | | | | | |

## 5. Обработка результатов измерений

5.1. Обработку результатов измерений по методу вертикальных отметок выполняют в следующей последовательности.

5.1.1. Рассчитывают суммарную неровность поверхности проезжей части в каждом створе по внешней колее (рис 7) по формулам:

общая глубина колеи по отношению к правому выпору

$$h_1' = \delta_1 - \delta_2, мм;$$

общая глубина колеи по отношению к левому выпору

$$h'_2 = \delta_1 - \delta_3, \text{ мм.}$$

5.1.2. Рассчитывают суммарную неровность поверхности проезжей части в каждом створе по внутренней колее (рис. 7) по формулам:

общая глубина колеи по отношению к правому выпору

$$h''_1 = \delta_4 - \delta_5, \text{ мм;}$$

общая глубина колеи по отношению к левому выпору

$$h''_2 = \delta_4 - \delta_6, \text{ мм.}$$

5.1.3. Вычисление среднего значения общей (суммарной) неровности выполняют по формулам:

$$\bar{h}'_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} h'_{1i}}{n}, \text{ мм;}$$

$$\bar{h}'_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} h'_{2i}}{n}, \text{ мм;}$$

$$\bar{h}''_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} h''_{1i}}{n}, \text{ мм;}$$

$$\bar{h}''_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} h''_{2i}}{n}, \text{ мм,}$$

где n – количество замеров на участке.

5.1.4. Среднеквадратическое отклонение общей неровности поверхности проезжей части определяют по формулам:

$$\sigma'_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(h'_{1i} - \bar{h}'_1\right)^2}{n-1}}, \text{ мм;}$$

$$\sigma'_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(h'_{2i} - \bar{h}'_2\right)^2}{n-1}}, \text{ мм;}$$

$$\sigma_1'' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(h_{1i}'' - \bar{h}_1''\right)^2}{n-1}}, \text{ мм;}$$

$$\sigma_2'' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(h_{2i}'' - \bar{h}_2''\right)^2}{n-1}}, \text{ мм.}$$

5.1.5. Расчётное значение общей неровности поверхности проезжей части, сопоставляемое с оценочной шкалой, определяют по формулам:

$$h'_{1\text{РАСЧ}} = \bar{h}_1' + t \cdot \sigma_1', \text{ мм;}$$

$$h'_{2\text{РАСЧ}} = \bar{h}_2' + t \cdot \sigma_2', \text{ мм;}$$

$$h''_{1\text{РАСЧ}} = \bar{h}_1'' + t \cdot \sigma_1'', \text{ мм;}$$

$$h''_{2\text{РАСЧ}} = \bar{h}_2'' + t \cdot \sigma_2'', \text{ мм,}$$

где t – коэффициент нормированного отклонения, зависящий от гарантийной вероятности (принимать равным 1,04).

5.1.6. Выполнение расчётов сопровождают заполнением ведомости (табл. 4).

Таблица 4

## Ведомость расчётных параметров поперечной ровности (колеи)

Участок дороги _____ Направление _____
Номер полосы _____ Положение начала участка _____ Положение конца участка _____
Дата измерения _____

| №№ ство-ра | Привязка к километражу | Параметры внешней колеи, мм | | | | | Параметры внутренней колеи. мм | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\delta_1$ | $\delta_2$ | $\delta_3$ | $h_1'$ | $h_2'$ | $\delta_4$ | $\delta_5$ | $\delta_6$ | $h_1''$ | $h_2''$ |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | | | | |
| n | | | | | | | | | | | |
| $\bar{h}_{1(2)}^{I(II)}$ | | - | - | - | | | - | - | - | | |
| $\sigma_{1(2)}^{I(II)}$ | | - | - | - | | | - | - | - | | |
| $h_{1(2)\,РАСЧ}^{I(II)}$ | | - | - | - | | | - | - | - | | |

## 6. Требования к состоянию дорог по глубине колеи

Полученные расчётные значения параметров и глубины колеи сопоставляют с их допустимыми и предельно допустимыми величинами, значения которых определены из условия обеспечения безопасности движения автомобилей на мокром покрытии со скоростью ниже расчётной на 25 % для допустимой глубины колеи и на 50 % для предельно допустимой глубины колеи, а также с учётом влияния колеи на условия очистки покрытия от снежных отложений и борьбы с зимней скользкостью (табл. 5 и 6).

Таблица 5

Шкала оценки состояния дорог по параметрам колеи, измеренным по упрощённой методике

| Расчётная скорость движения, км/ч | Глубина колеи $h_к$, мм | |
|---|---|---|
| | допустимая | предельно допустимая |
| > 120 | 4 | 20 |
| 120 | 7 | 20 |
| 100 | 12 | 20 |
| 80 | 25 | 30 |
| 60 и меньше | 30 | 35 |

Таблица 6

Шкала оценки состояния дорог по параметрам колеи, установленным по способу измерения вертикальных отметок

| Расчётная скорость движения, км/ч | Общая глубина колеи относительно правого выпора $h_{пр}$, мм | | Общая глубина колеи относительно левого выпора $h_л$, мм | |
|---|---|---|---|---|
| | допустимая | предельно допустимая | допустимая | предельно допустимая |
| > 120 | Не допускается | 4 | 9 | 20 |
| 120 | 3 | 5 | 16 | 25 |
| 100 | 6 | 9 | 27 | 40 |
| 80 | 15 | 18 | 50 | 50 |
| 60 и меньше | 50 | 50 | 50 | 50 |

Участки дорог с глубиной колеи больше предельно допустимых значений относятся к опасным для движения автомобилей и требуют немедленного проведения работ по устранению колеи.

Утверждено
распоряжением Росавтодора
№ОС-441-р от 17.05.2002

# Часть 2
# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЯ НА НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДАХ

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

**Москва 2002**

**УДК** 625.731.8.033.373.4.001.18

***Методические рекомендации по расчету и прогнозированию колееобразования на нежестких дорожных одеждах***

Методические рекомендации предназначены для расчета и прогнозирования колееобразования на нежестких дорожных одеждах вследствие накопления остаточных деформаций в грунте земляного полотна, слоях основания и покрытия, а также структурного разрушения каменного материала. Рекомендации следует применять для вновь проектируемых и эксплуатируемых дорог.

Методика основывается на результатах теоретических и экспериментальных исследований, выполненных на кафедре строительства и эксплуатации дорог МАДИ (ГТУ), с использованием данных исследований Союздорнии, ГУП Росдорнии и др.

Методика разработана временным творческим коллективом, созданным при ООО «МАДИ-Путь», в составе. д-ра техн. наук А.П.Васильева (научный руководитель), д-ра техн. наук Ю.М.Яковлева (ответственный исполнитель), канд. техн. наук М.Г.Горячева, инж. С.В.Лугова, инж. М.Ю.Расторгуева (МАДИ ГТУ); д-ра техн. наук А.В.Руденского (ГУП Росдорнии).

## 1. Общие положения

1.1. Методические рекомендации предназначены для расчета и прогнозирования колееобразования на нежестких дорожных одеждах вследствие накопления остаточных деформаций в грунте земляного полотна, слоях основания и покрытия, а также структурного разрушения каменного материала. Рекомендации следует применять для вновь проектируемых и эксплуатируемых дорог.

1.2. Методика расчета и прогнозирования колееобразования предусматривает:

1.2.1. Сбор и обработку исходных данных.

1.2.2. Расчет и прогнозирование накопления остаточных деформаций в земляном полотне.

1.2.3. Расчет и прогнозирование накопления остаточных деформаций в слоях основания, не содержащих органическое вяжущее.

1.2.4. Расчет и прогнозирование накопления остаточных деформаций в слоях асфальтобетона и других битумосодержащих слоях.

1.2.5. Определение общей глубины колеи на основе результатов, полученных в п.п. 1.2.2.-1.2.4.

## 2. Сбор и обработка исходных данных

2.1. Сбор исходных данных включает получение сведений об интенсивности движения, конструкции дорожной одежды и фактической влажности грунта земляного полотна.

2.1.1. Фактическую интенсивность и состав движения в первый год после сдачи дороги в эксплуатацию определяют по окончании строительства или реконструкции путем непосредственных наблюдений на дороге в теплый период года (устойчивая положительная температура воздуха). При этом следует использовать методику, изложенную в приложении 6 Правил диагностики и оценки состояния автомобильных дорог ВСН 6-90.

Полученные результаты заносят в табл. 2.1.

Те же измерения производят во второй год эксплуатации.

Таблица 2.1.

Результаты учета движения на дороге ..... км.....

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2т | |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5т | |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8т | |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8т | |
| Автобусы | |
| Тягачи с прицепами | |

2.1.2. Конструкцию дорожной одежды (материалы слоев, их толщины и тип грунта земляного полотна) определяют по данным проекта либо бурения дорожной одежды.

2.1.3. Расчетные характеристики грунта земляного полотна (влажность, угол внутреннего трения, модуль упругости) определяют по данным полевых и лабораторных испытаний или по проектной документации.

Влажность грунта, принимаемую за расчетную, определяют путем отбора проб грунта при бурении, которое производят в весенний период наибольшего увлажнения грунта в местах нулевых отметок или выемок (при их наличии). При невозможности получения фактических данных о влажности грунта допускается ориентировочное определение расчетной влажности по приложению 2. Для полученного значения расчетной влажности по приложению 2 назначают угол внутреннего трения грунта, используемый в дальнейших расчетах.

2.2. Интенсивность движения грузовых автомобилей, приведенную к расчетной нагрузке 100 кН на ось (50 кН на колесо), вычисляют по формуле:

$$N_p = \sum_{i=1}^{m} N_i \cdot S_i = N_1 \cdot S_1 + N_2 \cdot S_2 + ..... + N_m \cdot S_m, \qquad (2.1)$$

где $N_i$ или $N_1$, $N_2$ .... $N_m$ – количество автомобилей в сутки по типам из табл. 2.1, авт./сут;

$S_i$ или $S_1$, $S_2$ ... $S_m$ – коэффициенты приведения автомобилей различного типа к расчетной нагрузке (см. табл. 2.2).

Таблица 2.2

Коэффициенты приведения автомобилей различных типов к расчетной нагрузке

| № п/п | Типы автомобилей | Значение $S_i$ |
|---|---|---|
| 1 | Легковые автомобили | 0 |
| 2 | Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2т | 0.005 |
| 3 | Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5т | 0,2 |
| 4 | Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8т | 0,7 |
| 5 | Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8т | 1,25 |
| 6 | Автобусы | 0,7 |
| 7 | Тягачи с прицепами | 1,5 |

2.3. По данным об интенсивности движения, приведенной к расчетной нагрузке, в первый и второй годы эксплуатации вычисляют показатель изменения интенсивности движения грузовых автомобилей q, используя формулу:

$$q = \frac{N_{p2}}{N_{p1}}, \qquad (2.2)$$

где $N_{p1}$ и $N_{p2}$ – расчетная интенсивность движения в первый и во второй годы наблюдений.

При определении величины q можно воспользоваться данными проектной документации.

## 3. Расчет и прогнозирование остаточных деформаций в грунте земляного полотна

3.1. Вычисление ожидаемого суммарного числа приложений расчетных нагрузок по годам эксплуатации дороги при определении остаточных деформаций в грунте земляного полотна осуществляют по формуле:

$$N_C = 0{,}6 \cdot f_{пол} \cdot N_{p1} \cdot K_c \cdot T_{рсг}, \qquad (3.1)$$

где $f_{пол}$ – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним (см. табл. 3.1);

$N_{p1}$ – суточная интенсивность движения автомобилей, приведенных к расчетной нагрузке, в первый год службы дорожной одежды, авт./сут;

$K_c$ – коэффициент суммирования, определяемый по графику рис. 3.1.

q – показатель изменения интенсивности движения по годам;

$T_{рсг}$ – расчетное количество дней в году, соответствующее определенному состоянию дорожной одежды (см. табл. 3.2);

$T_{сл}$ – срок службы дорожной одежды (см. табл. 3.3.), годы.

Если дорожная одежда рассчитана по Инструкции ВСН 46-83, то определена перспективная интенсивность движения на одну полосу, приведенная к расчетному автомобилю $N_p$. В этом случае для расчета величины $N_c$ следует пользоваться формулой:

$$N_C = 0{,}6 \cdot \frac{N_p}{q^{T_{сл}-1}} \cdot K_c \cdot T_{рсг} \qquad (3.2)$$

Таблица 3.1

Значения коэффициента, учитывающего число полос движения $f_{пол}$

| Число полос движения | Значения коэффициента $f_{пол}$ для полосы номер | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1,0 | - | - |
| 2 | 0,55 | - | - |
| 3 | 0,5 | 0,5 | - |
| 4 | 0.35 | 0,2 | - |
| 6 | 0,3 | 0,2 | 0,05 |

Таблица 3.2

Количество расчетных дней в году $T_{рсг}$

| Примерные географические границы | Расчетные значения $T_{рсг}$ |
|---|---|
| Зона распространения вечномерзлых грунтов севернее семидесятой параллели | 70 |
| Севернее линии, соединяющей Онегу – Архангельск – Мезень – Нарьян-Мар, до Европейской части побережья | 145 |
| Южнее линии, указанной выше, и севернее сорок восьмого меридиана – Ульяновск – Ижевск – Пермь – шестидесятый меридиан | 135 |
| Южнее линии, соединяющей Онегу – Архангельск – Мезень – Нарьян-Мар, и севернее линии, соединяющей Смоленск – Калугу – Рязань – Саранск – сорок восьмой меридиан | 125 |
| Севернее линии, соединяющей Белгород – Воронеж – Саратов – Куйбышев – Оренбург, до линии, указанной выше | 135 |
| Севернее линии, соединяющей Ростов-на-Дону – Элисту – Астрахань, до линии, указанной выше | 145 |
| Южнее линии, указанной выше (для Европейской части), южнее сорок шестой параллели (для остальных территорий) | 205 |
| Восточная и Западная Сибирь, Дальний Восток (кроме Хабаровского и Приморского краев), ограниченные с севера семидесятой широтой, с юга - сорок шестой широтой | 130-150 (меньшие значения для центральной части) |
| Хабаровский и Приморский края | 140 |

Таблица 3.3

Срок службы дорожной одежды $T_{сл}$

| Категория дороги | Тип дорожной одежды | Срок службы дорожной одежды $T_{сл}$ (лет) в различных дорожно-климатических зонах | | |
|---|---|---|---|---|
| | | I, II | III | IV, V |
| I | Капитальный | 15 | 18 | 20 |
| II | | 15 | 15 | 15 |
| III | Капитальный | 15 | 15 | 15 |
| | Облегченный | 12 | 13 | 14 |
| | Переходный | 8 | 8 | 8 |
| IV | Капитальный | 15 | 15 | 15 |
| | Облегченный | 10 | 10 | 11 |
| | Переходный | 8 | 8 | 8 |
| V | Облегченный | 10 | 10 | 11 |
| | Переходный | 8 | 8 | 8 |

Для расчета суммарного числа приложений расчетной нагрузки $N_c$ в различные годы эксплуатации дорожной одежды в формулы (3.1) или (3.2) подставляют различные величины коэффициентов суммирования $K_c$, которые определяют по графику (см. рис. 3.1) для соответствующего срока службы одежды $T_{сл}$.

3.2. Вычисление остаточных деформаций в грунте по годам t производят по формуле:

$$h_{зпt} = h_{грt} \cdot K_E \cdot K_{ha}, \qquad (3.3)$$

где $h_{зпt}$ – остаточная осадка в грунте земляного полотна, м;

$h_{грt}$ – исходное значение остаточной осадки, определяемое по графику (см. рис. 3.2), который построен для $E_д/E_г = 30$, $h/D = 2$ ($E_д$ – средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды, МПа; $E_г$ – модуль упругости грунта, МПа; h – общая толщина слоев дорожной одежды, м; D – диаметр круга, равновеликого отпечатку колеса расчетного автомобиля, равный 0,37 м):

$$E_д = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} = \frac{E_1 \cdot h_1 + E_2 \cdot h_2 + ..... + E_n \cdot h_n}{h_1 + h_2 + ..... + h_n}, \qquad (3.4)$$

n – число слоев в дорожной одежде;

$E_i$ и $h_i$ – модуль упругости материала и толщина i-того слоя;

$K_E$ – коэффициент, учитывающий поправку на фактическое соотношение $E_д/E_г$, определяемый по табл. 3.4 (при $E_д/E_г$=30, принятом при построении графика на рис. 2 – $K_E$=1,0);

$K_{ha}$ – коэффициент, учитывающий поправку на фактическую относительную толщину дорожной одежды h/D, определяемый по табл.3.5 (при h/D = 2, принятом при построении графика на рис. 2 – $K_{ha}$ = 1,0).

Таблица 3.4

Значения коэффициента $K_E$

| $E_д/E_г$ | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_E$ | 2,04 | 1,67 | 1,5 | 1,38 | 1,25 | 1,17 | 1,08 | 1,04 | 1,0 | 1,0 | 0,96 | 0,95 |

***Примечание.*** Для промежуточных значений $E_д/E_г$ величину $K_E$ следует определять способом линейной интерполяции.

Таблица 3.5

Значения коэффициента $K_{ha}$ при различных h/D

| h/D | 0,75 | 0,8 | 1,0 | 1,15 | 1,25 | 1,5 | 1,75 | 2,0 | 2,25 | 2,6 | 3,25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_{ha}$ | 2,34 | 2,08 | 1,54 | 1,33 | 1,25 | 1,13 | 1,04 | 1,0 | 0,96 | 0,94 | 0,91 |

***Примечание.*** Для промежуточных значений h/D величину $K_{ha}$ следует определять способом линейной интерполяции.

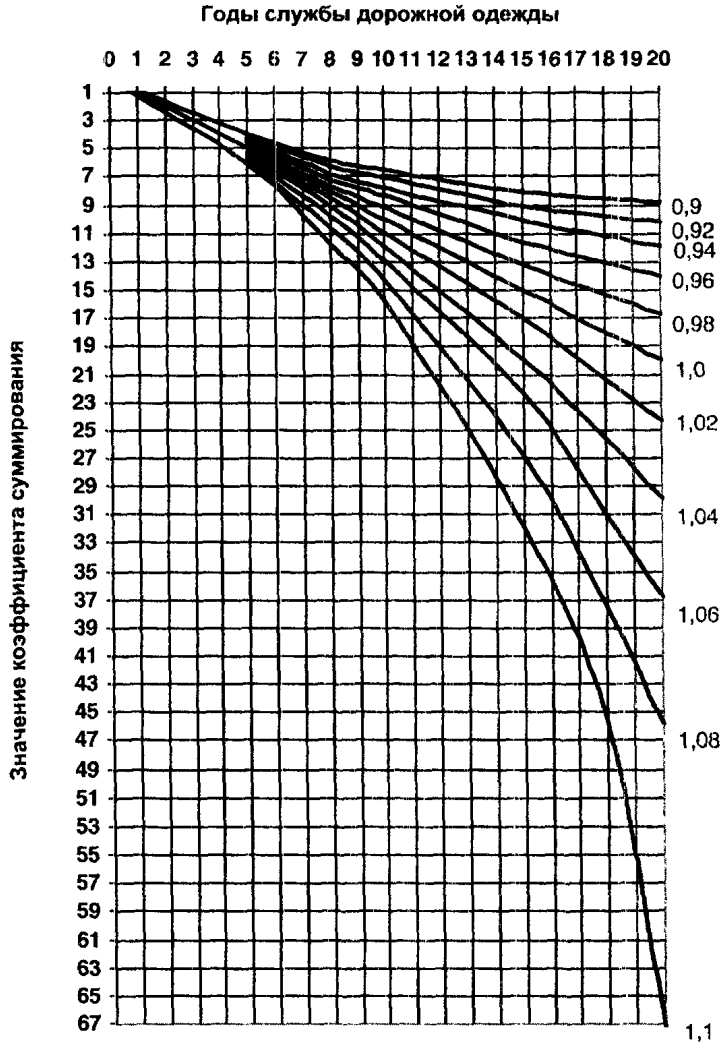



***Рис. 3.1. График зависимости коэффициента суммирования $K_c$ от срока службы дорожной одежды;***
***цифры на кривых – значения показателя изменения интенсивности движения по годам q***

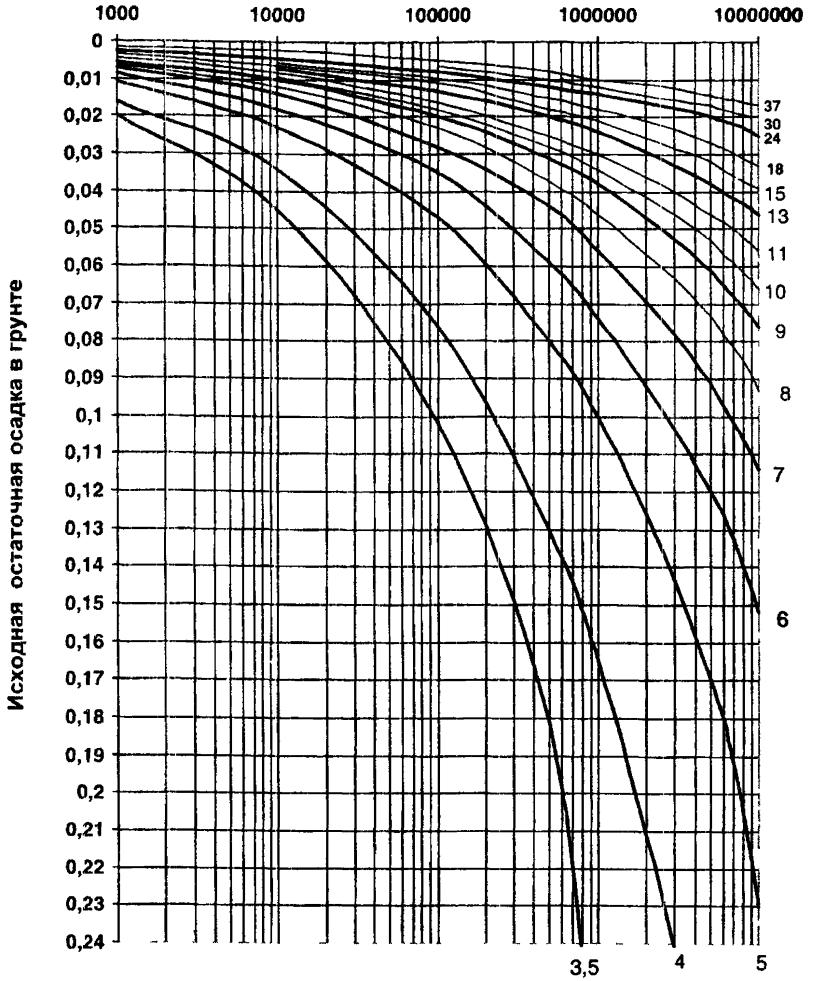



*Рис. 3.2. График для определения исходной остаточной осадки в грунте; цифры на кривых – угол внутреннего трения грунта, зависящий от его влажности, град.*

## 4. Расчет и прогнозирование остаточных деформаций в слоях основания, не содержащих органическое вяжущее

Расчет абсолютной остаточной деформации в слоях основания $\varepsilon_{осн}^{абс}$ (за исключением битумосодержащих слоев) производят с помощью графиков (рис. 4.1...4.3), определяя по ним отношение:

$$\varepsilon_{мi}/\varepsilon_{г} = \varepsilon_{отнi}, \qquad (4.1)$$

$\varepsilon_{отнi}$ – относительная деформация i-того слоя основания;

$\varepsilon_{мi}$ – абсолютная остаточная деформация материала i-слоя, м;

$\varepsilon_{зпт}$ – остаточная деформация грунта земляного полотна, м.

Отсюда:

$$\varepsilon_{мi} = \varepsilon_{отнi} \cdot \varepsilon_{г}. \qquad (4.2)$$

Абсолютную остаточную деформацию, накопленную в слоях основания, определяют по формуле:

$$h_{осн}^{абс} = \sum_{i=1}^{m} \varepsilon_{мi}, \qquad (4.3)$$

где m – число слоев основания.

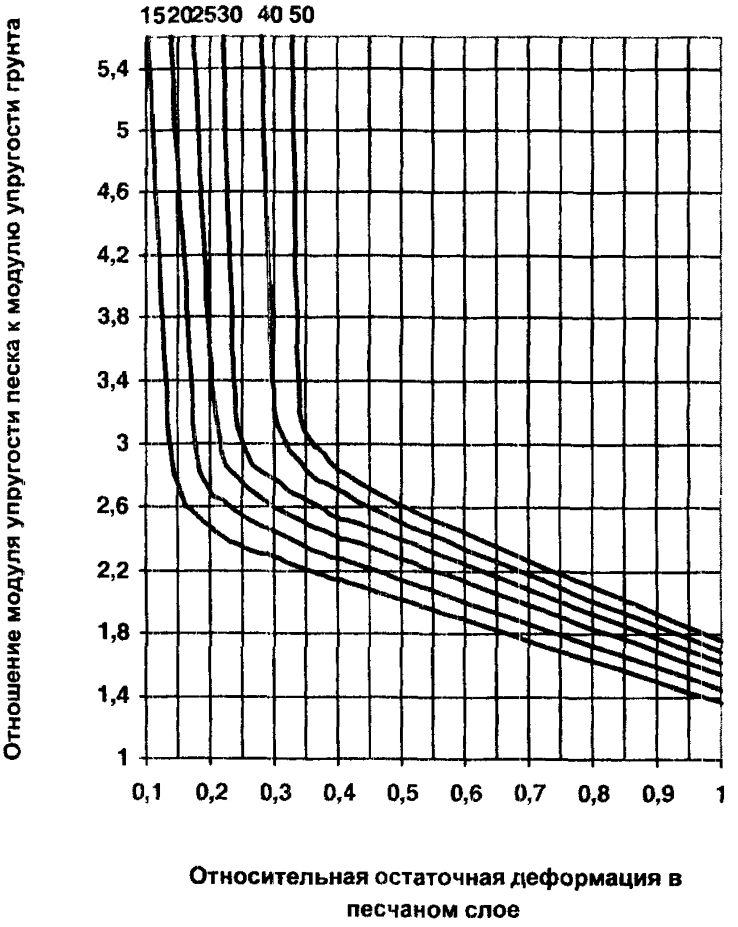



*Рис. 4.1. График для определения относительных остаточных деформаций в песчаных слоях; цифры на кривых – толщины песчаных слоев, см*

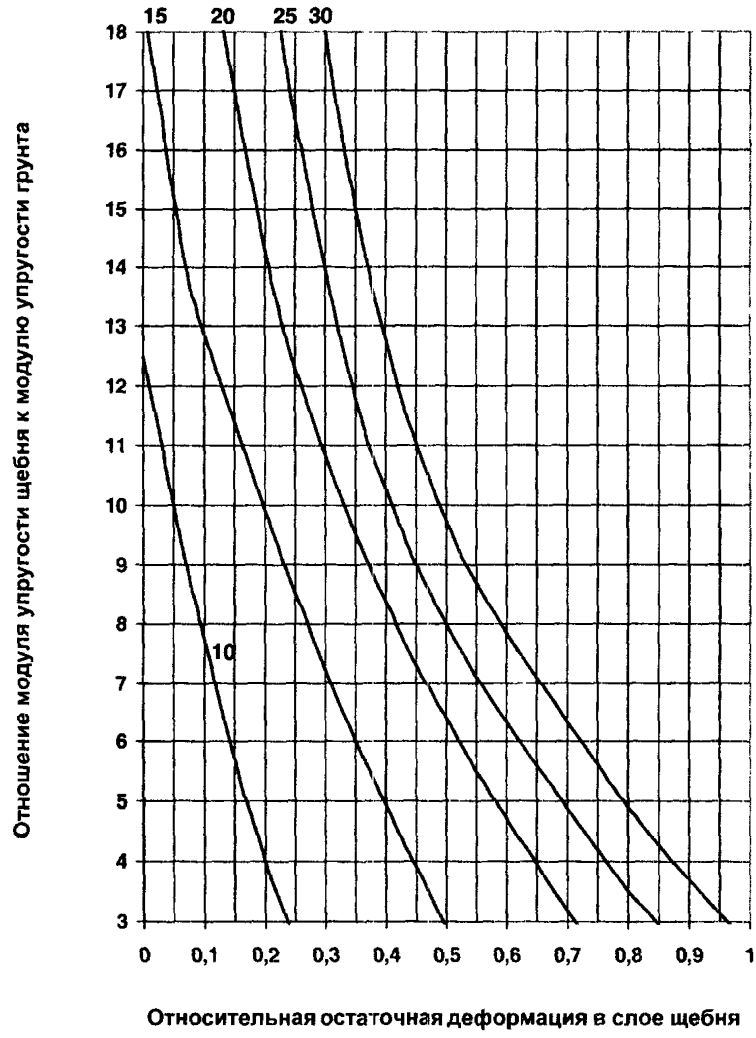



***Рис. 4.2. График для определения относительных остаточных деформаций в щебеночных слоях;***
***цифры на кривых – толщины щебеночных слоев, см***

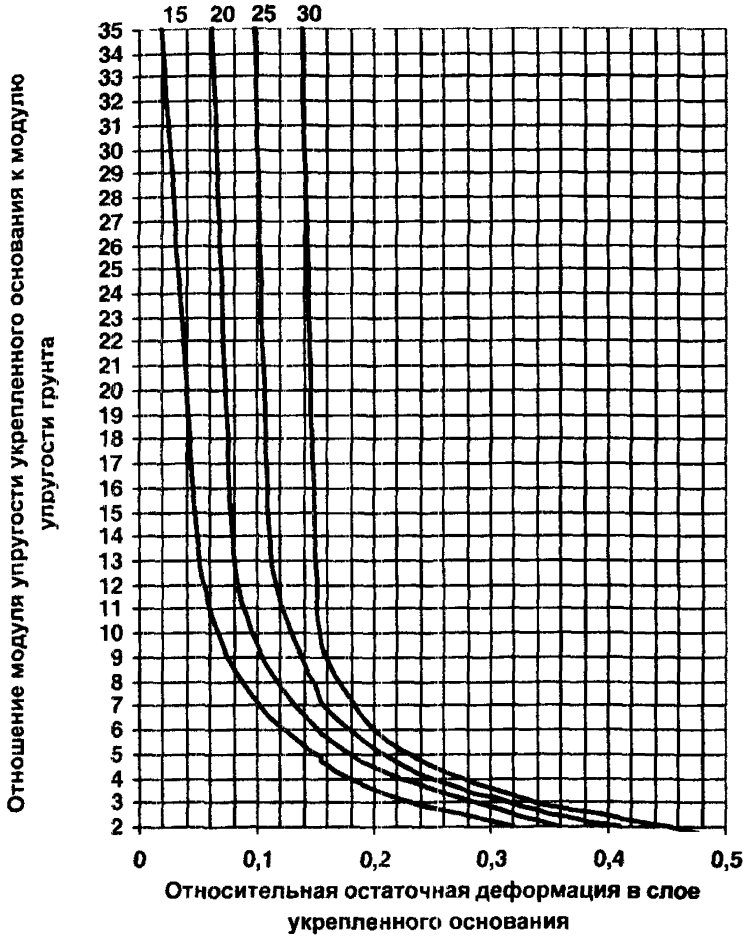



***Рис. 4.3. График для определения относительных остаточных деформаций в слоях основания из цементогрунта или щебня, укрепленного цементом;***
***цифры на кривых – толщины слоя укрепленного основания, см***

## 5. Расчет и прогнозирование остаточных деформаций в слоях асфальтобетона и других битумосодержащих слоях

5.1. Расчет остаточных деформаций в асфальтобетонных и других битумосодержащих слоях производят исходя из суммарного числа приложений расчетной нагрузки $N_{рс}$ по формуле (3.1). Расчетное количество сдвигоопасных дней в году (приведенное к температуре +50°С) $T_{рсг}$ определяют по табл. 5.1 в зависимости от среднегодовой положительной температуры воздуха:

$$t^{+}_{срг} = \frac{\sum_{i=1}^{n_м} t_{срi}}{n_м}, \qquad (5.1)$$

где $n_м$ – количество месяцев в году с устойчивой положительной температурой;

$t_{срi}$ – средняя температура i-го месяца (по данным метеостанции или климатического справочника), °С.

Таблица 5.1

Приведенное количество дней в году с температурой покрытия +50°С

| $t^{+}_{срг}$, °С | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_{рсг}$, дни | 0,5 | 1,1 | 3,5 | 10,5 | 19 | 34 | 62 | 104 |

***Примечание.*** Промежуточные значения следует определять линейной интерполяцией.

По графикам рис. 5.1 или 5.2 (построенным при коэффициенте вязкого сопротивления $\eta$ = 100 МПа·с, времени воздействия одного цикла приложения расчетной нагрузки $t_ц$ = 0,01 с) определяют исходную величину остаточной деформации в битумосодержащих слоях $\varepsilon_б^{исх}$ при толщине сдвигоопасной зоны, назначенной по табл.5.2.

Таблица 5.2

Толщина сдвигоопасной зоны Н

| Общая толщина битумосодержащих слоев, м | 0,06...0,1 | 0,11...0,15 | 0,16...0,2 | 0,21...0,25 | Более 0,25 |
|---|---|---|---|---|---|
| Н, м | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 |

Фактическое суммарное число приложений расчетной нагрузки, приведенное к $t_ц = 0,01$, необходимое для пользования графиками на рис. 5.1 и 5.2, вычисляют по формуле:

$$N_{сф} = \frac{N_{рс} \cdot t_ц}{0,01} \qquad (5.2)$$

где $t_ц$ – фактическая длительность воздействия транспортной нагрузки (см. табл. 5.3), с.

Таблица 5.3

Длительность воздействия транспортной нагрузки $t_ц$ при движении на подъем

| Характер местности | Категория дороги | Длительность воздействия транспортной нагрузки $t_ц$, с при продольном уклоне ‰ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | <30 | 30...40 | 41...50 | 51...60 | 61...70 | 71...80 | >80 |
| Равнинный | Iа | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 0,014 | 0,015 | 0,018 |
| | Iб | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 0,017 | 0,018 | 0,019 | 0,022 |
| | II | 0,016 | 0,017 | 0,02 | 0,021 | 0,022 | 0,024 | 0,028 |
| | III | 0,02 | 0,021 | 0,024 | 0,025 | 0,027 | 0,029 | 0,035 |
| | IV | 0,025 | 0,027 | 0,03 | 0,033 | 0,035 | 0,039 | 0,047 |
| | V | 0,035 | 0,038 | 0,044 | 0,047 | 0,052 | 0,057 | 0,073 |
| Пересеченный | Iа | 0,013 | 0,014 | 0,016 | 0,017 | 0,018 | 0,019 | 0,022 |
| | Iб | 0,016 | 0,017 | 0,018 | 0,02 | 0,021 | 0,022 | 0,026 |
| | II | 0,02 | 0,021 | 0,024 | 0,025 | 0,027 | 0,029 | 0,035 |
| | III | 0,025 | 0,027 | 0,03 | 0,033 | 0,035 | 0,039 | 0,047 |
| | IV | 0,035 | 0,038 | 0,044 | 0,047 | 0,052 | 0,057 | 0,073 |
| | V | 0,062 | 0,067 | 0,08 | 0,089 | 0,101 | 0,116 | 0,165 |
| Горный | Iа | 0,019 | 0,02 | 0,023 | 0,024 | 0,026 | 0,027 | 0,032 |
| | Iб | 0,026 | 0,027 | 0,03 | 0,032 | 0,034 | 0,036 | 0,042 |
| | II | 0,035 | 0,038 | 0,044 | 0,047 | 0,052 | 0,057 | 0,073 |
| | III | 0,045 | 0,048 | 0,056 | 0,062 | 0,068 | 0,076 | 0,101 |
| | IV | 0,062 | 0,067 | 0,08 | 0,089 | 0,101 | 0,116 | 0,165 |
| | V | 0,101 | 0,110 | 0,14 | 0,165 | 0,197 | 0,244 | 0,471 |

***Примечание.*** При движении на спуск, во всех случаях, значения $t_ц$ принимают по столбцу «<30» с понижением на 20% (умножив на 0,8).

**Расчетное значение остаточной деформации в битумосодержащих слоях вычисляют** по формуле:

$$h_{кр}^{б} = \varepsilon_{б}^{исх} \cdot К_{\eta} \cdot К_{вып}. \qquad (5.3)$$

где $\varepsilon_{б}^{исх}$ – **исходная остаточная деформация** (по графику рис. 5 1 или 5.2), м;

$К_{\eta}$ – поправка на фактический коэффициент вязкого сопротивления $\eta_{ф}$, назначаемая по табл. 5.4 (фактический коэффициент вязкого сопротивления $\eta_{ф}$ определяется в соответствии с приложением 3, ориентировочно величину $\eta_{ф}$ допустимо назначать по табл. 5.5);

$К_{вып}$ – коэффициент, учитывающий выпор асфальтобетона по краям колеи, в среднем можно принять 1,3.

Таблица 5.4

Поправка $К_{\eta}$ на фактический коэффициент вязкого сопротивления $\eta_{ф}$

| $\eta_{ф}$, МПа·с | 10 | 20 | 30 | 50 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $К_{\eta}$ | 9,94 | 4,97 | 3,33 | 2,0 | 1.25 | 1,0 | 0,67 | 0 5 | 0,4 | 0,33 |

Таблица 5.5

Ориентировочные значения коэффициентов вязкого сопротивления для плотных асфальтобетонов при температуре +50°С на различных марках битума, МПа·с

| БНД40/60 | БНД60/90 | БНД90/130 | БНД130/200 | БНД200/300 |
|---|---|---|---|---|
| 130…250 | 70…130 | 50…70 | 30…50 | 10…30 |

***Примечание.*** Большие значения при большем содержании щебня и минерального порошка.

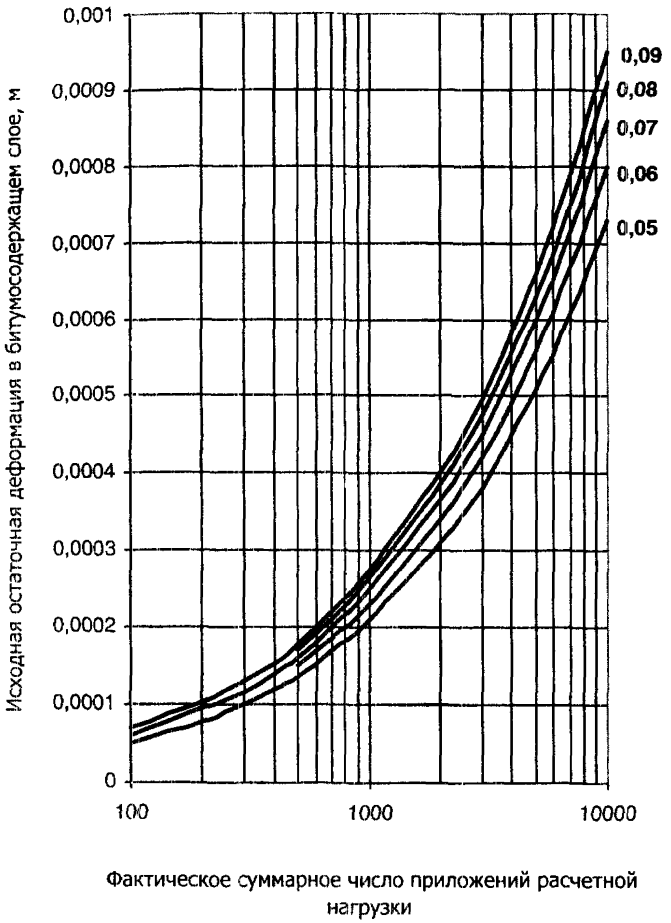



***Рис. 5.1. График для определения исходной остаточной деформации в битумосодержащем слое*** $\varepsilon_{б}^{исх}$***;***
***цифры на кривых – толщина сдвигоопасной зоны*** $H$ ***(по табл. 5.2 в зависимости от суммарной толщины битумосодержащих слоев), м***

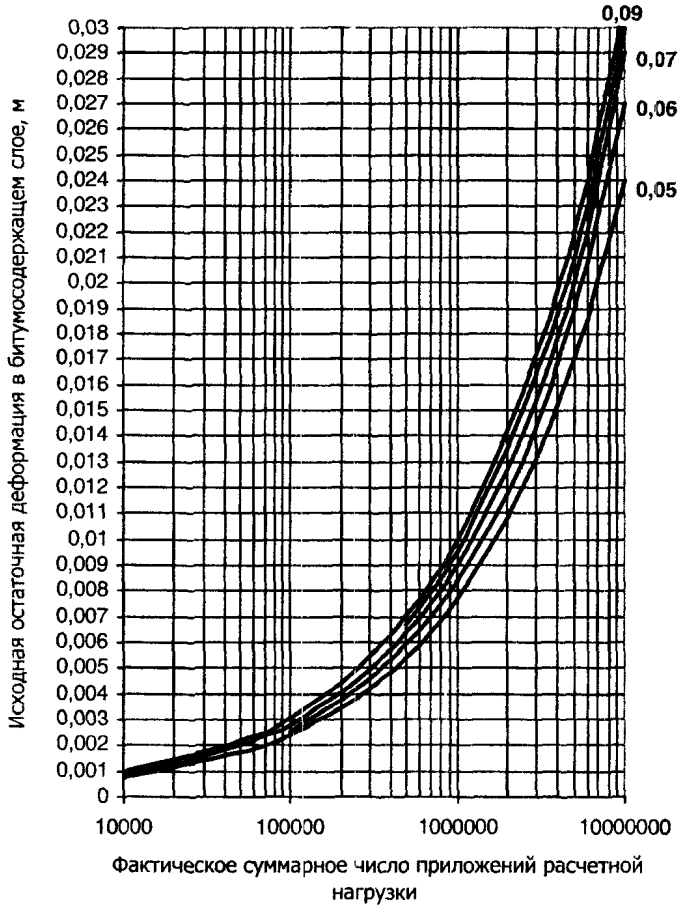



***Рис 5.2. График для определения исходной остаточной деформации в битумосодержащем слое*** $\varepsilon_{б}^{исх.}$ ***;***
***цифры на кривых – толщина сдвигоопасной зоны H (по табл. 5.2 в зависимости от суммарной толщины битумосодержащих слоев), м***

5.4. Для определения среднего годового износа покрытия, влияющего на общую глубину колеи, необходимо располагать данными об общей фактической интенсивности (средней за $t_л$) движения на полосу:

$$N^{ср.ф}_{общ} = f_{пол} \cdot N^{ф}_{общ.1} \cdot q_o^{0,5 \cdot t_л - 1} = f_{пол} \cdot N^{ф}_{общ} \cdot K_q, \qquad (5.4)$$

где $N^{ср.ф}_{общ}$ – общая фактическая интенсивность движения на полосу средняя за $t_л$, авт./сут;

$N^{ф}_{общ.1}$ – общая фактическая интенсивность движения в первый год эксплуатации (определяется путем непосредственных наблюдений);

$q_o$ – показатель изменения общей фактической интенсивности движения (определяется по формуле (2.2), но для общей интенсивности движения);

$K_q$ – коэффициент, назначаемый по табл. 5.7 в зависимости от $q_o$ и $t_л$.

Износ покрытия за t лет составит:

$$\Delta_{ит} = \Delta_{и.ср} \cdot t_л, \qquad (5.5)$$

где $\Delta_{и.ср.}$ – средний годовой износ покрытия (см. табл. 5.6), мм;

$t_л$ – количество лет службы покрытия, годы.

Таблица 5.6

Средний годовой износ асфальтобетонных покрытий

| Общая фактическая интенсивность движения на полосу (средняя за $t_л$), авт./сут | Среднее значение износа асфальтобетонного покрытия за год, мм (м) | Общая фактическая интенсивность движения на полосу (средняя за $t_л$), авт./сут | Среднее значение износа асфальтобетонного покрытия за год, мм (м) |
|---|---|---|---|
| 500 | 0,38 (0,00038) | 4000 | 0,98 (0,00098) |
| 1000 | 0,45 (0,00045) | 4500 | 1,01 (0,00101) |
| 1500 | 0,54 (0,00054) | 5000 | 1,15 (0,00115) |
| 2000 | 0,63 (0,00063) | 5500 | 1,24 (0,00124) |
| 2500 | 0,72 (0,00072) | 6000 | 1,33 (0,00133) |
| 3000 | 0,8 (0,0008) | 6500 | 1,42 (0,00142) |
| 3500 | 0,89 (0,00089) | 7000 | 1,5 (0,0015) |

***Примечание.*** Данные табл. 5.6 соответствуют значениям износа для известнякового щебня, в случае применения в покрытии гранитного щебня значения табл. 5.6 следует уменьшить на 50%.

Таблица 5.7

Значения коэффициента $K_q$

| $t_д$, годы | Значения $K_q$ при $q_o$ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,9 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1,02 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,1 |
| 3 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 | 1,01 | 1,02 | 1,03 | 1,04 | 1,05 |
| 4 | 0,90 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1,02 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,10 |
| 5 | 0,85 | 0,88 | 0,91 | 0,94 | 0,97 | 1,03 | 1,06 | 1,09 | 1,12 | 1,15 |
| 6 | 0,81 | 0,85 | 0,88 | 0,92 | 0,96 | 1,04 | 1,08 | 1,12 | 1,17 | 1,21 |
| 7 | 0,77 | 0,81 | 0,86 | 0,9 | 0,95 | 1,05 | 1,10 | 1,16 | 1,21 | 1,27 |
| 8 | 0,73 | 0,78 | 0,83 | 0,88 | 0,94 | 1,06 | 1,12 | 1,19 | 1,26 | 1,33 |
| 9 | 0,69 | 0,75 | 0,81 | 0,87 | 0,93 | 1,07 | 1,15 | 1,23 | 1,31 | 1,40 |
| 10 | 0,66 | 0,72 | 0,78 | 0,85 | 0,92 | 1,08 | 1,17 | 1,26 | 1,36 | 1,46 |
| 11 | 0,62 | 0,69 | 0,76 | 0,83 | 0,91 | 1,09 | 1,19 | 1,30 | 1,41 | 1,54 |
| 12 | 0,59 | 0,66 | 0,73 | 0,82 | 0,9 | 1,1 | 1,22 | 1,34 | 1,47 | 1,61 |
| 13 | 0,56 | 0,63 | 0,71 | 0,8 | 0,89 | 1,12 | 1,24 | 1,38 | 1,53 | 1,69 |
| 14 | 0,53 | 0,61 | 0,69 | 0,78 | 0,89 | 1,13 | 1,27 | 1,42 | 1,59 | 1,77 |
| 15 | 0,5 | 0,58 | 0,67 | 0,77 | 0,88 | 1,14 | 1,29 | 1,46 | 1,65 | 1,86 |
| 16 | 0,48 | 0,56 | 0,65 | 0,75 | 0,87 | 1,15 | 1,32 | 1,50 | 1,71 | 1,95 |
| 17 | 0,45 | 0,54 | 0,63 | 0,74 | 0,86 | 1,16 | 1,34 | 1,55 | 1,78 | 2,04 |
| 18 | 0,43 | 0,51 | 0,61 | 0,72 | 0,85 | 1,17 | 1,37 | 1,59 | 1,85 | 2,14 |
| 19 | 0,41 | 0,49 | 0,59 | 0,71 | 0,84 | 1,18 | 1,40 | 1,64 | 1,92 | 2,25 |
| 20 | 0,39 | 0,47 | 0,57 | 0,69 | 0,83 | 1,2 | 1,42 | 1,69 | 2,0 | 2,36 |

***Примечание.*** Для промежуточных значений $q_o$ следует применять линейную интерполяцию. Для $q_o$ = 1,0 $K_q$ = 1,0 при всех $t_д$.

## 6. Определение общей глубины колеи

6.1. Среднюю величину общей глубины колеи вычисляют на основе результатов расчета остаточных деформаций в грунте земляного полотна и слоях дорожной одежды (см. разделы 3; 4; 5):

$$h_{общ}^{ср} = \left((\varepsilon_{зш} + \varepsilon_{осн}^{абс}) \cdot К_{но} + \varepsilon_{кр}^{б}\right) \cdot К_{п} + \Delta_{ит}, \qquad (6.1)$$

где $К_{но}$ – коэффициент, учитывающий долю неравномерной остаточной деформации от общей осадки, в среднем может быть принят 0,15;

$К_{п}$ – коэффициент перехода от средней величины остаточной деформации в продольном направлении к средней глубине колеи, равный 2,56.

6.2. Максимальную глубину колеи с 85%-ной обеспеченностью рассчитывают по формуле:

$$h_{общ}^{max} = h_{общ}^{ср} \cdot (1 + t \cdot C_{v}), \qquad (6.2)$$

где t – коэффициент доверительной вероятности при 85%-ной обеспеченности, равный 1,04;

$C_{v}$ – коэффициент вариации глубины колеи ($C_{v}$ = 0,25...0,35 большие значения для дорог низких категорий).

6.3. В процессе эксплуатации дороги, не реже одного раза в два года, для уточнения расчета глубины колеи целесообразно производить поверочный учет движения и расчет величины q в соответствии с п.п. 2.1....2.3., а также определение фактической влажности грунта.

**Приложение 1**

**Примеры расчета и прогнозирования глубины колеи**

## ПРИМЕР 1

Требуется определить ожидаемую глубину колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы (при отсутствии ремонтных мероприятий) на дороге II категории, расположенной в Пензенской области.

Исходные данные для расчета (см. п. 2.1):

- грунт земляного полотна – супесь легкая $E_г$ = 50 МПа;
- конструкция дорожной одежды включает: песок мелкий $E_п$ = 100 МПа, h = 20 см; щебень, укрепленный цементом, $E_щ$ = 700 МПа, h=15см; асфальтобетон крупнозернистый пористый E = 2000 МПа, h=10 см; плотный асфальтобетон (на БНД 60/90) мелкозернистый типа Б (щебня 42%) E = 3200 МПа на гранитном щебне, h =5 см;
- расчетная влажность грунта земляного полотна 0,69 в долях от границы текучести (угол внутреннего трения 35 град);
- характер местности – равнинный;
- среднемесячные температуры воздуха месяцев с устойчивой положительной температурой: 12,9; 17,3; 19,3; 17,7; 11,4 °С.
- продольный уклон дороги не превышает 30‰.

Данные учета интенсивности движения на дороге в первый год эксплуатации дорожной одежды

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 2500 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 120 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 445 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 180 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 180 |
| Автобусы | 100 |
| Тягачи с прицепами | 110 |

Σ = 3635 авт./сут

**Данные учета интенсивности движения на дороге во второй год службы дорожной одежды**

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 2650 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 125 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 440 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 180 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 185 |
| Автобусы | 100 |
| Тягачи с прицепами | 115 |
| | Σ = 3795 авт./сут |

Показатель изменения общей интенсивности движения вычисляют по формуле (2.2):

$$q_o = \frac{3795}{3635} = 1{,}04.$$

Интенсивность движения, приведенную к расчетной нагрузке (авт./сут), рассчитывают в первый и второй годы службы по формуле (2.1), при этом значения коэффициентов приведения назначают согласно табл. 2.2:

$$N_{p1} = 120 \times 0{,}005 + 445 \times 0{,}2 + 180 \times 0{,}7 + 180 \times 1{,}25 + 100 \times 0{,}7 +$$

$$+ 110 \times 1{,}5 = 676;$$

$$N_{p2} = 125 \times 0{,}005 + 440 \times 0{,}2 + 180 \times 0{,}7 + 185 \times 1{,}25 + 100 \times 0{,}7 +$$

$$+ 115 \times 1{,}5 = 688.$$

Показатель изменения приведенной интенсивности движения вычисляем по формуле (2.2):

$$q = \frac{688}{676} = 1{,}02.$$

Ожидаемое суммарное число приложений расчетной нагрузки при определении остаточных деформаций в грунте земляного полотна рассчитываем по формуле (3.1). Значения коэффициента суммирования на 5-й, 10-й и 15-й годы находят по графику рис. 3.1. $K_c$ = 5,2; 11; 17 соответственно. Количество расчетных дней в году назначают по табл. 3.2. и для Пензенской области оно составляет 135, коэффициент полосности находим в табл. 3.1, для двухполосных дорог он равен 0,55.

$N_{C5} = 0,6 \times 0,55 \times 676 \times 5,2 \times 135 = 1,56 \times 10^5$;

$N_{C10} = 0,6 \times 0,55 \times 676 \times 11 \times 135 = 3,3 \times 10^5$;

$N_{C15} = 0,6 \times 0,55 \times 676 \times 17 \times 135 = 5,12 \times 10^5$.

Остаточную деформацию в грунте земляного полотна вычисляют по выражению (3.3), при этом исходные значения остаточной осадки определяем по графику (рис. 3.2) для соответствующих значений $N_c$ и при угле внутреннего трения 35 град: $h_{гр5} = 0,005$; $h_{гр10} = 0,007$; $h_{гр15} = 0,009$. По формуле (3.4) вычисляем средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды:

$$E_Д = \frac{3200 \times 5 + 2000 \times 10 + 700 \times 15 + 100 \times 20}{50} = 970 \text{ МПа}.$$

Для отношения $E_д/E_г = 970/50 = 19,4$ по табл. 3.4 назначаем $K_E = 1,05$, а для отношения $h/D = 49/37 = 1,32$ по табл. 3.5 определяем $K_{ha} = 1,2$.

Определив все величины, входящие в выражение (3.3), вычисляем остаточные деформации в грунте земляного полотна на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$h_{эп5} = 0,005 \times 1,05 \times 1,2 = 0,006$ м;

$h_{эп10} = 0,007 \times 1,05 \times 1,2 = 0,009$ м;

$h_{эп15} = 0,009 \times 1,05 \times 1,2 = 0,011$ м.

Относительные значения остаточных деформаций в слоях основания определяем по графикам (рис. 4.1; 4.3). Для песчаного слоя при $E_п/E_г = 100/50 = 2$ и $h_п = 20$ см, а для слоя укрепленного щебня при $E_щ/E_г = 700/50 = 14$ и $h_щ = 15$ см.

По графикам (рис.4.1 и 4.2) получаем:

$\varepsilon_п/\varepsilon_г = 0,6$, $\varepsilon_щ/\varepsilon_г = 0,045$.

Абсолютные значения остаточных деформаций в слоях основания составят:

$\varepsilon_{п5} = 0,6 \times \varepsilon_{г5} = 0,6 \times 0,006 = 0,004$ м;

$\varepsilon_{щ5} = 0,04 \times \varepsilon_{г5} = 0,045 \times 0,006 \approx 0$;

$$\varepsilon_{п10} = 0,6 \times \varepsilon_{г10} = 0,6 \times 0,009 = 0,005 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{щ10} = 0,04 \times \varepsilon_{г10} = 0,045 \times 0,009 \approx 0;$$
$$\varepsilon_{п15} = 0,6 \times \varepsilon_{г15} = 0,6 \times 0,011 = 0,007 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{щ15} = 0,04 \times \varepsilon_{г15} = 0,045 \times 0,011 \approx 0.$$

Общие абсолютные остаточные деформации в слоях основания на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$$h^{абс}_{осн5} = 0,004 + 0 = 0,004 \text{ м}; \quad h^{абс}_{осн10} = 0,005 + 0 = 0,005 \text{ м};$$

$$h^{абс}_{осн15} = 0,007 + 0 = 0,007 \text{ м}.$$

Для вычисления остаточных деформаций в слоях асфальтобетона по табл. 5.1 определяем расчетное количество сдвигоопасных дней в году в зависимости от среднегодовой положительной температуры воздуха, вычисляемой по формуле (5.1):

$$t^{+}_{срг} = \frac{12,9 + 17,3 + 19,3 + 17,7 + 11,4}{5} = 15,7\,^{\circ}\text{C}.$$

По табл. 5.1. определяем $T_{рсг} = 7$ дней.

Тогда суммарное число приложений расчетной нагрузки по формуле (3.1) составляет:

$$N_{С5} = 0,6 \times 0,55 \times 676 \times 5,2 \times 7 = 8120;$$
$$N_{С10} = 0,6 \times 0,55 \times 676 \times 11 \times 7 = 17177;$$
$$N_{С15} = 0,6 \times 0,55 \times 676 \times 17 \times 7 = 26546.$$

Для вычисления по формуле (5.2) фактического суммарного числа приложений расчетной нагрузки приведенного к $t_ц = 0,01$ с при равнинном характере местности и продольном уклоне менее 30‰, по табл. 5.2, находим фактическое $t_ц = 0,016$ с.

$$N_{СР5} = \frac{8120 \times 0,016}{0,01} = 12992; \quad N_{СР10} = \frac{17177 \times 0,016}{0,01} = 27483;$$

$$N_{СР15} = \frac{26546 \times 0,016}{0,01} = 42474.$$

По графику (рис. 5.2) для соответствующих значений фактического числа приложений расчетной нагрузки и толщины сдвигоопасной зоны, равной (при суммарной толщине слоев асфальтобетона 15 см) согласно табл. 5.2 0,06 м, находим исходные значения остаточной деформации:

$$\varepsilon^{исх}_{б(5)} = 0,001 \text{ м}; \qquad \varepsilon^{исх}_{б(10)} = 0,0013 \text{ м}; \qquad \varepsilon^{исх}_{б(15)} = 0,0018 \text{ м}.$$

Расчетные значения остаточных деформаций в слоях асфальтобетона вычисляют по формуле (5.3), с учетом поправки на фактический коэффициент вязкого сопротивления (по табл. 5.5 и 5.4), применения в покрытии асфальтобетона типа Б (щебня 42%) на БНД 60/90 и выпора по краям колеи окончательно получим:

$$h_{кр5} = 0{,}001 \times 1{,}1 \times 1{,}3 = 0{,}001 \text{ м};$$
$$h_{кр10} = 0{,}0013 \times 1{,}1 \times 1{,}3 = 0{,}002 \text{ м};$$
$$h_{кр15} = 0{,}0018 \times 1{,}1 \times 1{,}3 = 0{,}003 \text{ м}.$$

Для определения величины износа покрытия необходимо вычислить по формуле (5.4) общую фактическую интенсивность движения на полосу среднюю за 15 лет при $q_0 = 1{,}04$; $N^{ф}_{общ1} = 3635$ авт./сут:

$$N^{ср\,ф}_{общ} = 0{,}55 \times 3635 \times 1{,}04^{0{,}5 \times 15-1} = 2580 \text{ авт./сут}.$$

По табл. 5.6 определяем средний годовой износ покрытия при $N^{ср\,ф}_{общ} = 2580$, равный 0,73 мм. С учетом применения в покрытии гранитного щебня уменьшаем полученное значение на 50%, тогда средний годовой износ 0,37 мм. Составляющая глубины колеи за счет износа покрытия на 5-й, 10-й и 15-й годы составит:

$$\Delta_{и5} = 0{,}37 \times 5 = 1{,}9 \text{ мм } (0{,}002 \text{ м});$$
$$\Delta_{и10} = 0{,}37 \times 10 = 3{,}7 \text{ мм } (0{,}004 \text{ м});$$
$$\Delta_{и15} = 0{,}37 \times 15 = 5{,}6 \text{ мм } (0{,}006 \text{ м}).$$

Общая средняя глубина колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы службы дорожной одежды определяется по формуле (6.1):

$$h^{ср}_{общ5} = (0{,}15 \cdot (0{,}006 + 0{,}004) + 0{,}001) \cdot 2{,}56 + 0{,}002 = 0{,}008 \text{ м};$$

$$h^{ср}_{общ10} = (0{,}15 \cdot (0{,}009 + 0{,}005) + 0{,}002) \cdot 2{,}56 + 0{,}004 = 0{,}014 \text{ м};$$

$$h^{ср}_{общ15} = (0{,}15 \cdot (0{,}011 + 0{,}007) + 0{,}003) \cdot 2{,}56 + 0{,}006 = 0{,}021 \text{ м}.$$

Максимальная глубина колеи с 85%-ной обеспеченностью составит (см. формулу (6.2)):

$$h^{max}_{общ5} = 0{,}008 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}27) = 0{,}01 \text{ м};$$

$$h^{max}_{общ10} = 0{,}014 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}27) = 0{,}018 \text{ м};$$

$$h^{max}_{общ15} = 0{,}021 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}27) = 0{,}027 \text{ м}.$$

## ПРИМЕР 2

Требуется определить ожидаемую глубину колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы (при отсутствии ремонтных мероприятий) на дороге II категории, расположенной в Псковской области.

Исходные данные для расчета:

- грунт земляного полотна – суглинок легкий $E_г$ = 33 МПа;
- конструкция дорожной одежды включает: песок средний $E_п$ = 120 МПа, h=25 см; щебень, укрепленный цементом, $E_ш$ = 990 МПа, h=15см; асфальтобетон крупнозернистый пористый, E = 1400 МПа, h=12см; асфальтобетон плотный (на БНД 90/130) мелкозернистый типа Б (щебня 47%) E = 2400 МПа на гранитном щебне, h =5 см;
- расчетная влажность грунта земляного полотна 0,76 в долях от границы текучести (угол внутреннего трения 15 град);
- среднемесячные температуры воздуха месяцев с устойчивой положительной температурой: 11; 15; 17,4; 15,5; 10,4 °С.
- характер местности – равнинный;
- продольный уклон дороги не превышает 30‰.

Данные учета интенсивности движения на дороге в первый год эксплуатации дорожной одежды

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 3050 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 80 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 290 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 400 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 330 |
| Автобусы | 55 |
| Тягачи с прицепами | 130 |
| | Σ = 4335 авт./сут |

Данные учета интенсивности движения на дороге во второй год службы дорожной одежды

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 3060 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 80 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 270 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 415 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 325 |
| Автобусы | 60 |
| Тягачи с прицепами | 135 |
| | Σ = 4345 авт./сут |

Показатель изменения общей интенсивности движения вычисляют по формуле (2.2):

$$q_o = \frac{4345}{4335} \approx 1{,}0.$$

Интенсивность движения, приведенную к расчетной нагрузке (авт./сут), рассчитывают в первый и второй годы службы по формуле (2.1), при этом значения коэффициентов приведения назначают согласно табл. 2.2:

$$N_{p1} = 80 \times 0{,}005 + 290 \times 0{,}2 + 400 \times 0{,}7 + 330 \times 1{,}25 + 55 \times 0{,}7 +$$

$$+ 130 \times 1{,}5 = 985;$$

$$N_{p2} = 80 \times 0{,}005 + 270 \times 0{,}2 + 415 \times 0{,}7 + 325 \times 1{,}25 + 60 \times 0{,}7 +$$

$$+ 135 \times 1{,}5 = 996.$$

Показатель изменения приведенной интенсивности движения вычисляем по формуле (2.2):

$$q = \frac{996}{985} = 1{,}01.$$

Ожидаемое суммарное число приложений расчетной нагрузки при определении остаточных деформаций в грунте земляного полотна рассчитываем по формуле (3.1). Значения коэффициента суммирования на 5-й, 10-й и 15-й годы находят по графику рис. 3.1. $K_c = 5,1$; 10,5; 16,1 соответственно. Количество расчетных дней в году назначают по табл. 3.2 и для Псковской области оно составляет 125, коэффициент полосности находим в табл. 3.1, для двухполосных дорог он равен 0,55.

$$N_{C5} = 0,6 \times 0,55 \times 985 \times 5,1 \times 125 = 2,07 \times 10^5;$$
$$N_{C10} = 0,6 \times 0,55 \times 985 \times 10,5 \times 125 = 4,27 \times 10^5;$$
$$N_{C15} = 0,6 \times 0,55 \times 985 \times 16,1 \times 125 = 6,54 \times 10^5.$$

Остаточные деформации в грунте земляного полотна вычисляют по выражению (3.3), при этом исходные значения остаточной осадки определяем по графику (рис. 3.2) для соответствующих значений $N_c$ и при угле внутреннего трения 15 град: $h_{гр5} = 0,012$; $h_{гр10} = 0,017$; $h_{гр15} = 0,019$. По формуле (3.4) вычисляем средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды:

$$E_д = \frac{2400 \times 5 + 1400 \times 12 + 900 \times 15 + 120 \times 25}{57} = 795 \text{ МПа}.$$

Для отношения $E_д/E_г = 795/33 = 24$ по табл. 3.4 назначаем $K_E = 1,01$, а для отношения $h/D = 55/37 = 1,48$ по табл. 3.5 определяем $K_{ha} = 1,14$.

Определив все величины, входящие в выражение (3.3.), вычисляем остаточные деформации в грунте земляного полотна на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$$h_{эп5} = 0,012 \times 1,01 \times 1,14 = 0,014 \text{ м};$$
$$h_{эп10} = 0,017 \times 1,01 \times 1,14 = 0,02 \text{ м};$$
$$h_{эп15} = 0,019 \times 1,01 \times 1,14 = 0,022 \text{ м}.$$

Относительные значения остаточных деформаций в слоях основания определяем по графикам (рис. 4.1; 4.3). Для песчаного слоя при $E_п/E_г = 120/33 = 3,6$ и $h_п = 25$см, а для слоя укрепленного цементом щебня при $E_щ/E_г = 900/33 = 27$ и $h_щ = 15$ см.

По графикам (рис.4.1 и 4.2) получаем:

$\varepsilon_п/\varepsilon_г = 0,19$, $\varepsilon_щ/\varepsilon_г = 0,03$.

Абсолютные значения остаточных деформаций в слоях основания составят:

$$\varepsilon_{п5} = 0,19 \times \varepsilon_{г5} = 0,19 \times 0,014 = 0,003 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{щ5} = 0,03 \times \varepsilon_{г5} = 0,03 \times 0,014 \approx 0;$$
$$\varepsilon_{п10} = 0,19 \times \varepsilon_{г10} = 0,19 \times 0,02 = 0,004 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{щ10} = 0,03 \times \varepsilon_{г10} = 0,03 \times 0,02 \approx 0;$$

$$\varepsilon_{п15} = 0,19 \times \varepsilon_{г15} = 0,19 \times 0,022 = 0,004 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{щ15} = 0,03 \times \varepsilon_{г15} = 0,03 \times 0,022 \approx 0.$$

Общие абсолютные остаточные деформации в слоях основания на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$$h^{абс}_{осн5} = 0,003 + 0 = 0,003 \text{ м}; \qquad h^{абс}_{осн10} = 0,004 + 0 = 0,004 \text{ м};$$

$$h^{абс}_{осн15} = 0,004 + 0 = 0,004 \text{ м}.$$

Для вычисления остаточных деформаций в слоях асфальтобетона по табл. 5.1 определяем расчетное количество сдвигоопасных дней в году в зависимости от среднегодовой положительной температуры воздуха, вычисляемой по формуле (5.1):

$$t^{+}_{срг} = \frac{11 + 15 + 17,4 + 15,5 + 10,4}{5} = 13,9^{\circ}\text{C}.$$

По табл. 5.1. определяем $T_{рсг} = 2,3$ дня.

Тогда суммарное число приложений расчетной нагрузки по формуле (3.1) составляет:

$N_{С5} = 0,6 \times 0,55 \times 985 \times 5,1 \times 2,3 = 3813;$
$N_{С10} = 0,6 \times 0,55 \times 985 \times 10,5 \times 2,3 = 7850;$
$N_{С15} = 0,6 \times 0,55 \times 985 \times 16,1 \times 2,3 = 12037.$

Для вычисления по формуле (5.2) фактического суммарного числа приложений расчетной нагрузки, приведенного к $t_ц = 0,01$ с при равнинном характере местности и продольном уклоне менее 30‰, по табл. 5.2, находим фактическое $t_ц = 0,016$ с.

$$N_{СР5} = \frac{3813 \times 0,016}{0,01} = 6101; \; N_{СР10} = \frac{7850 \times 0,016}{0,01} = 12560;$$

$$N_{СР15} = \frac{12037 \times 0,016}{0,01} = 19691.$$

По графикам рис. 5.1 и 5.2 для соответствующих значений фактического числа приложений расчетной нагрузки и толщины сдвигоопасной зоны, равной (при суммарной толщине слоев асфальтобетона 17 см), согласно табл. 5.2 0,07 м находим исходные значения остаточной деформации:

$$\varepsilon^{исх}_{б(5)} = 0,00067 \text{ м}; \qquad \varepsilon^{исх}_{б(10)} = 0,001 \text{ м};$$

$$\varepsilon^{исх}_{б(15)} = 0,0014 \text{ м}.$$

Расчетные значения остаточных деформаций в слоях асфальтобетона вычисляют по формуле (5.3), с учетом поправки на фактический коэффициент вязкого сопротивления (по табл. 5.5 и 5.4), применения в покрытии асфальтобетона типа Б (щебня 48%) на БНД90/130 и выпора по краям колеи окончательно получим:

$$h_{кр5} = 0{,}00067 \times 1{,}6 \times 1{,}3 = 0{,}001 \text{ м};$$
$$h_{кр10} = 0{,}001 \times 1.6 \times 1{,}3 = 0{,}002 \text{ м};$$
$$h_{кр15} = 0{,}0014 \times 1{,}6 \times 1{,}3 = 0{,}003 \text{ м}.$$

Для определения величины износа покрытия необходимо вычислить по формуле (5.4) общую фактическую интенсивность движения на полосу среднюю за 15 лет при $q_o = 1{,}0$; $N^{ф}_{общ1} = 4335$ авт./сут:

$$N^{ср\,ф}_{общ} = 0{,}55 \times 4335 \times 1{,}0^{0{,}5 \times 15 - 1} = 2384 \text{ авт./сут.}$$

По табл. 5.6. определяем средний годовой износ покрытия при $N^{ср\,ф}_{общ} = 2384$, равный 0,68 мм. С учетом применения в покрытии гранитного щебня уменьшаем полученное значение на 50%, тогда средний годовой износ равен 0,34 мм. Составляющая глубины колеи за счет износа покрытия на 5-й, 10-й и 15-й годы составит:

$$\Delta_{и5} = 0{,}34 \times 5 = 1{,}7 \text{ мм } (0{,}002 \text{ м});$$
$$\Delta_{и10} = 0{,}34 \times 10 = 3{,}4 \text{ мм } (0{,}003 \text{ м});$$
$$\Delta_{и15} = 0{,}34 \times 15 = 5{,}1 \text{ мм } (0{,}005 \text{ м}).$$

Общая ожидаемая глубина колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы службы дорожной одежды определяется по формуле (6.1):

$$h^{ср}_{общ5} = (0{,}15 \cdot (0{,}014 + 0{,}003) + 0{,}001) \cdot 2{,}56 + 0{,}002 = 0{,}011 \text{ м};$$

$$h^{ср}_{общ10} = (0{,}015 \cdot (0{,}02 + 0{,}004) + 0{,}002) \cdot 2{,}56 + 0{,}003 = 0{,}017 \text{ м};$$

$$h^{ср}_{общ15} = (0{,}15 \cdot (0{,}022 + 0{,}004) + 0{,}003) \cdot 2{,}56 + 0{,}005 = 0{,}023 \text{ м}.$$

Максимальная глубина колеи с 85% обеспеченностью составит (см. формулу (6.2)):

$$h^{max}_{общ5} = 0{,}011 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}27) = 0{,}014 \text{ м};$$

$$h^{max}_{общ10} = 0{,}017 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}27) = 0{,}022 \text{ м};$$

$$h^{max}_{общ15} = 0{,}023 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}27) = 0{,}029 \text{ м}.$$

## ПРИМЕР 3

Требуется определить ожидаемую глубину колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы (при отсутствии ремонтных мероприятий) на дороге Iб категории, расположенной в Московской области.

Исходные данные для расчета (см. п. 2.1):

- грунт земляного полотна – супесь пылеватая $E_г$ = 54 МПа;
- конструкция дорожной одежды включает: песок крупный $E_п$ = 130 МПа, h = 30 см; щебень, укрепленный цементом, $E_ш$ = 1000 МПа, h = 17см; асфальтобетон крупнозернистый высокопористый E = 2000 МПа, h = 7 см; асфальтобетон крупнозернистый пористый E = 2000 МПа, h = 6 см; плотный асфальтобетон (на БНД 60/90) мелкозернистый типа Б (щебня 49%) E = 3200 МПа на гранитном щебне, h = 5 см;
- расчетная влажность грунта земляного полотна 0,65 в долях от границы текучести (угол внутреннего трения 21 град);
- среднемесячные температуры воздуха месяцев с устойчивой положительной температурой: 11,2; 15,3; 17,5; 15,6; 10,1 °С;
- характер местности – равнинный;
- продольный уклон дороги не превышает 30‰.

Данные учета интенсивности движения на дороге в первый год эксплуатации дорожной одежды

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 8000 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 500 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5т | 1150 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8т | 220 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8т | 740 |
| Автобусы | 350 |
| Тягачи с прицепами | 450 |

Σ = 11410 авт./сут

**Данные учета интенсивности движения на дороге во второй год службы дорожной одежды**

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 8200 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 580 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 1000 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 300 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 760 |
| Автобусы | 350 |
| Тягачи с прицепами | 450 |

$\Sigma = 11665$ авт./сут

Показатель изменения общей интенсивности движения вычисляют по формуле (2.2):

$$q_o = \frac{11665}{11410} = 1{,}02.$$

Интенсивность движения, приведенную к расчетной нагрузке (авт./сут), рассчитывают в первый и второй годы службы по формуле (2.1), при этом значения коэффициентов приведения назначают согласно табл. 2.2:

$$N_{p1} = 500 \times 0{,}005 + 1150 \times 0{,}2 + 220 \times 0{,}7 + 740 \times 1{,}25 + 350 \times 0{,}7 +$$

$$+ 450 \times 1{,}5 = 2232;$$

$$N_{p2} = 580 \times 0{,}005 + 1000 \times 0{,}2 + 300 \times 0{,}7 + 760 \times 1{,}25 + 350 \times 0{,}7 +$$

$$+ 450 \times 1{,}5 = 2283.$$

Показатель изменения приведенной интенсивности движения вычисляем по формуле (2.2):

$$q = \frac{2283}{2232} = 1{,}02.$$

Ожидаемое суммарное число приложений расчетной нагрузки при определении остаточных деформаций в грунте земляного полотна рассчитываем по формуле (3.1). Значения коэффициента суммирования на 5-й, 10-й и 15-й годы находят по графику рис. 3.1. $K_c = 5,2$; 11; 17 соответственно. Количество расчетных дней в году назначают по табл. 3.2 и для Московской области оно составляет 125, коэффициент полосности находим в табл. 3.1, для четырехполосных дорог он равен 0,35.

$$N_{C5} = 0.6 \times 0,35 \times 2232 \times 5,2 \times 125 = 3,04 \times 10^5;$$

$$N_{C10} = 0,6 \times 0,35 \times 2232 \times 11 \times 125 = 6,45 \times 10^5.$$

$$N_{C15} = 0,6 \times 0,35 \times 2232 \times 17 \times 125 = 0,99 \times 10^5$$

Остаточные деформации в грунте земляного полотна вычисляют по выражению (3.3), при этом исходные значения остаточной осадки определяем по графику (рис. 3.2) для соответствующих значений $N_c$ и при угле внутреннего трения 21 град: $h_{гр5} = 0,011$; $h_{гр10} = 0,013$; $h_{гр15} = 0,015$. По формуле (3.4) вычисляем средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды:

$$E_д = \frac{3200 \times 5 + 2000 \times 6 + 2000 \times 7 + 1000 \times 17 + 130 \times 30}{65} = = 968 \text{ МПа}.$$

Для отношения $E_д/E_г = 968/54 = 17,9$ по табл. 3.4 назначаем $K_E = 1,06$, а для отношения $h/D = 65/37 = 1,8$ по табл. 3.5 определяем $K_{ha} = 1,02$.

Определив все величины, входящие в выражение (3.3), вычисляем остаточные деформации в грунте земляного полотна на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$$h_{эп5} = 0,011 \text{ x } 1,06 \text{ x } 1,02 = 0,012 \text{ м};$$
$$h_{эп10} = 0,013 \text{ x } 1,06 \text{ x } 1,02 = 0,014 \text{ м};$$
$$h_{эп15} = 0,015 \text{ x } 1,06 \text{ x } 1,02 = 0,016 \text{ м}.$$

Относительные значения остаточных деформаций в слоях основания определяем по графикам (рис. 4.1; 4.3). Для песчаного слоя при $E_п/E_г = 130/54 = 2,4$ и $h_п = 30$ см, а для слоя, укрепленного цементом, щебня при $E_щ/E_г = 1000/54 = 18,5$ и $h_щ = 17$ см.

По графикам (рис.4.1 и 4.3) получаем:

$$\varepsilon_п/\varepsilon_г = 0,5, \; \varepsilon_щ/\varepsilon_г = 0,06.$$

Абсолютные значения остаточных деформаций в слоях основания составят:

$$\varepsilon_{п5} = 0,5 \text{ x } \varepsilon_{г5} = 0,5 \text{ x } 0,012 = 0,006 \text{ м};$$

$\varepsilon_{ш5} = 0{,}06 \times \varepsilon_{г5} = 0{,}06 \times 0{,}012 \approx 0;$

$\varepsilon_{г10} = 0{,}5 \times \varepsilon_{г10} = 0{,}5 \times 0{,}013 = 0{,}007$ м;

$\varepsilon_{ш10} = 0{,}06 \times \varepsilon_{г10} = 0{,}06 \times 0{,}013 = 0{,}001$ м;

$\varepsilon_{г15} = 0{,}5 \times \varepsilon_{г15} = 0{,}5 \times 0{,}015 = 0{,}008$ м;

$\varepsilon_{ш15} = 0{,}06 \times \varepsilon_{г15} = 0{,}06 \times 0{,}015 = 0{,}001$ м.

Общие абсолютные остаточные деформации в слоях основания на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$$h^{абс}_{осн5} = 0{,}006 + 0 = 0{,}006\,м;\ h^{абс}_{осн10} = 0{,}007 + 0{,}001 = 0{,}008\,м;$$

$$h^{абс}_{осн15} = 0{,}008 + 0{,}001 = 0{,}009\,м.$$

Для вычисления остаточных деформаций в слоях асфальтобетона по табл. 5.1 определяем расчетное количество сдвигоопасных дней в году в зависимости от среднегодовой положительной температуры воздуха, вычисляемой по формуле (5.1):

$$t^{+}_{срI} = \frac{11{,}2 + 15{,}3 + 17{,}5 + 15{,}6 + 10{,}1}{5} = 13{,}9\ ^{\circ}C.$$

По табл. 5.1. определяем $T_{рст} = 2{,}3$ дней.

Тогда суммарное число приложений расчетной нагрузки по формуле (3.1) составляет:

$$N_{С5} = 0{,}6 \times 0{,}35 \times 2232 \times 5{,}2 \times 2{,}3 = 5606;$$

$$N_{С10} = 0{,}6 \times 0{,}35 \times 2232 \times 11 \times 2{,}3 = 11859;$$

$$N_{С15} = 0{,}6 \times 0{,}35 \times 2232 \times 17 \times 2{,}3 = 18327.$$

Для вычисления по формуле (5.2) фактического суммарного числа приложений расчетной нагрузки, приведенного к $t_ц = 0{,}01$ с при равнинном характере местности и продольном уклоне менее 30‰ по табл. 5.2, находим фактическое $t_ц = 0{,}013$ с.

$$N_{СР5} = \frac{5606 \times 0{,}013}{0{,}01} = 7288;\ N_{СР10} = \frac{11859 \times 0{,}013}{0{,}01} = 15417;$$

$$N_{СР15} = \frac{18327 \times 0{,}013}{0{,}01} = 23825.$$

По графикам рис. 5.1 и 5.2 для соответствующих значений фактического числа приложений расчетной нагрузки и толщины сдвигоопасной зоны, равной (при суммарной толщине слоев асфальтобетона 18 см) согласно табл. 5.2 0,07 м, находим исходные значения остаточной деформации:

$$\varepsilon^{исх}_{б(5)} = 0{,}00072 \text{ м};\ \varepsilon^{исх}_{б(10)} = 0{,}0012 \text{ м};\ \varepsilon^{исх}_{о(15)} = 0{,}0015 \text{ м}.$$

Расчетные значения остаточных деформаций в слоях асфальтобетона вычисляют по формуле (5.3), с учетом поправки на фактический коэффициент вязкого сопротивления (по табл. 5.5 и 5.4), применения в покрытии асфальтобетона типа Б (щебня 49%) на БНД 60/90 и выпора по краям колеи окончательно получим:

$$h_{кр5} = 0{,}00072 \text{ x } 0{,}9 \text{ x } 1{,}3 = 0{,}001 \text{ м};$$
$$h_{кр10} = 0{,}0012 \text{ x } 0{,}9 \text{ x } 1{,}3 = 0{,}001 \text{ м};$$
$$h_{кр15} = 0{,}0015 \text{ x } 0{,}9 \text{ x } 1{,}3 = 0{,}002 \text{ м}.$$

Для определения величины износа покрытия необходимо вычислить по формуле (5.4) общую фактическую интенсивность движения на полосу среднюю за 15 лет при $q_o = 1{,}02$; $N^{ф}_{общ1} = 11410$ авт./сут:

$$N^{ср.ф}_{общ} = 0{,}35 \times 11410 \times 1{,}02^{0{,}5 \times 15 - 1} = 4840 \text{ авт./сут}.$$

По табл. 5.6 определяем средний годовой износ покрытия при $N^{ср.ф}_{общ} = 4840$, равный 1,1 мм. С учетом применения в покрытии гранитного щебня уменьшаем полученное значение на 50%, тогда средний годовой износ 0,55 мм. Составляющая глубины колеи за счет износа покрытия на 5-й, 10-й и 15-й годы составит:

$$\Delta_{и5} = 0{,}55 \text{ x } 5 = 2{,}8 \text{ мм } (0{,}003 \text{ м});$$
$$\Delta_{и10} = 0{,}55 \text{ x } 10 = 5{,}5 \text{ мм } (0{,}006 \text{ м});$$
$$\Delta_{и15} = 0{,}55 \text{ x } 15 = 8{,}3 \text{ мм } (0{,}008 \text{ м}).$$

Общая средняя глубина колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы службы дорожной одежды определяется по формуле (6.1):

$$h^{ср}_{общ5} = (0{,}015 \cdot (0{,}012 + 0{,}006) + 0{,}001) \cdot 2{,}56 + 0{,}003 = 0{,}012 \text{ м};$$

$$h^{ср}_{общ10} = (0{,}15 \cdot (0{,}013 + 0{,}008) + 0{,}001) \cdot 2{,}56 + 0{,}006 = 0{,}017 \text{ м};$$

$$h^{ср}_{общ15} = (0{,}15 \cdot (0{,}015 + 0{,}009) + 0{,}002) \cdot 2{,}56 + 0{,}008 = 0{,}022 \text{ м}.$$

Максимальная глубина колеи с 85%-ной обеспеченностью составит (см. формулу (6.2):

$$h^{max}_{общ5} = 0{,}012 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}25) = 0{,}015 \text{ м};$$

$$h^{max}_{общ10} = 0{,}017 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}25) = 0{,}021 \text{ м};$$

$$h^{max}_{общ15} = 0{,}023 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}25) = 0{,}029 \text{ м}.$$

## ПРИМЕР 4

Требуется определить ожидаемую глубину колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы (при отсутствии ремонтных мероприятий) на дороге III категории, расположенной в Красноярском крае.

Исходные данные для расчета:

- грунт земляного полотна – супесь пылеватая $E_г = 29$ МПа;
- конструкция дорожной одежды включает: песок мелкий $E_п = 100$ МПа, h = 40 см; щебень $E_{щ} = 400$ МПа, h = 21 см; асфальтобетон крупнозернистый пористый E = 1400 МПа, h=8 см; плотный асфальтобетон (на БНД 90/130) мелкозернистый типа В (щебня 32%) E = 2400 МПа на известняковом щебне, h = 4 см;
- расчетная влажность грунта земляного полотна 0,82 в долях от границы текучести (угол внутреннего трения 12 град);
- характер местности – равнинный;
- среднемесячные температуры воздуха месяцев с устойчивой положительной температурой: 8,3; 15,3; 18,2; 14,9; 8,6 °С.
- продольный уклон дороги не превышает 30‰.

Данные учета интенсивности движения на дороге в первый год эксплуатации дорожной одежды

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 800 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 60 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 75 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 195 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 70 |
| Автобусы | 40 |
| Тягачи с прицепами | 35 |
| | Σ = 1275 авт./сут |

Данные учета интенсивности движения на дороге во второй год службы дорожной одежды

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 805 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 55 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 75 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 200 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 75 |
| Автобусы | 40 |
| Тягачи с прицепами | 40 |
| | Σ = 1290 авт./сут |

Показатель изменения общей интенсивности движения вычисляют по формуле (2.2):

$$q_o = \frac{1290}{1275} = 1{,}01.$$

Интенсивность движения, приведенную к расчетной нагрузке (авт./сут), рассчитывают в первый и второй годы службы по формуле (2.1), при этом значения коэффициентов приведения назначают согласно табл. 2.2:

$$N_{p1} = 60 \times 0{,}005 + 75 \times 0{,}2 + 195 \times 0{,}7 + 70 \times 1{,}25 + 40 \times 0{,}7 +$$
$$+ 35 \times 1{,}5 = 320;$$
$$N_{p2} = 55 \times 0{,}005 + 75 \times 0{,}2 + 200 \times 0{,}7 + 75 \times 1{,}25 + 40 \times 0{,}7 +$$
$$+ 40 \times 1{,}5 = 337.$$

Показатель изменения приведенной интенсивности движения вычисляем по формуле (2.2):

$$q = \frac{337}{320} = 1{,}05.$$

Ожидаемое суммарное число приложений расчетной нагрузки при определении остаточных деформаций в грунте земляного полотна рассчитываем по формуле (3.1), значение коэффициента суммирования на 5-й, 10-й и 15-й годы находят по графику рис. 3.1. $K_c$ = 5,5; 12,6; 21,6 соответственно, количество расчетных дней в году назначают по табл. 3.2 и для Красноярского края оно составляет 140, коэффициент полосности находим в табл. 3.1, для двухполосных дорог он равен 0,55.

$$N_{C5} = 0{,}6 \times 0{,}55 \times 320 \times 5{,}5 \times 140 = 8{,}14 \times 10^4.$$

$$N_{C10} = 0{,}6 \times 0{,}55 \times 320 \times 12{,}6 \times 140 = 1{,}46 \times 10^5;$$

$$N_{C15} = 0{,}6 \times 0{,}55 \times 320 \times 21{,}6 \times 140 = 3{,}17 \times 10^5.$$

Остаточные деформации в грунте земляного полотна вычисляют по выражению (3.3), при этом исходные значения остаточной осадки определяем по графику (рис. 3.2.) для соответствующих значений $N_c$ и при угле внутреннего трения 12 град: $h_{гр5}$ = 0,012; $h_{гр10}$ = 0,016; $h_{гр15}$ = 0,021. По формуле (3.4) вычисляем средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды:

$$E_д = \frac{2400 \times 4 + 1400 \times 8 + 400 \times 21 + 100 \times 40}{73} = 455 \text{ МПа}.$$

Для отношения $E_д/E_г$ = 455/29 = 15,7 по табл. 3.4. назначаем $K_E$ = 1,07, а для отношения h/D = 73/37 = 1,97 по табл. 3.5 определяем $K_{на}$ = 1,01.

Определив все величины, входящие в выражение (3.3), вычисляем остаточные деформации в грунте земляного полотна на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$h_{зп5}$ = 0,012 x 1,07 x 1,01 = 0,013 м;
$h_{зп10}$ = 0,016 x 1,07 x 1,01 = 0,017 м;
$h_{зп15}$ = 0,021 x 1,07 x 1,01 = 0,023 м.

Относительные значения остаточных деформаций в слоях основания определяем по графикам (рис. 4; 5). Для песчаного слоя при $E_п/E_г$ = 120/29 = 4,1 и $h_п$ = 40 см, а для слоя щебня при $E_щ/E_г$ = 400/29 = 13,8 и $h_щ$ = 21 см.

По графикам (рис.4.1 и 4.2) получаем:

$\varepsilon_п/\varepsilon_г$ = 0,29, $\varepsilon_щ/\varepsilon_г$ = 0,2.

Абсолютные значения остаточных деформаций в слоях основания составят:

$\varepsilon_{п5} = 0{,}29 \text{ x } \varepsilon_{г5} = 0{,}29 \text{ x } 0{,}012 = 0{,}003$ м;
$\varepsilon_{щ5} = 0{,}2 \text{ x } \varepsilon_{г5} = 0{,}2 \text{ x } 0{,}012 = 0{,}002$ м;

$\varepsilon_{п10} = 0,29 \times \varepsilon_{г10} = 0,29 \times 0,016 = 0,005$ м;
$\varepsilon_{ш10} = 0,2 \times \varepsilon_{г10} = 0,2 \times 0,016 = 0,003$ м;
$\varepsilon_{п15} = 0,29 \times \varepsilon_{г15} = 0,29 \times 0,021 = 0,006$ м;
$\varepsilon_{ш15} = 0,2 \times \varepsilon_{г15} = 0,2 \times 0,021 = 0,004$ м.

Общие абсолютные остаточные деформации в слоях основания на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$$h^{абс}_{осн5} = 0,003 + 0,002 = 0,005 \text{ м};$$

$$h^{абс}_{осн10} = 0,005 + 0,003 = 0,008 \text{ м};$$

$$h^{абс}_{осн15} = 0,006 + 0,004 = 0,01 \text{ м}.$$

Для вычисления остаточных деформаций в слоях асфальтобетона по табл. 5.1 определяем расчетное количество сдвигоопасных дней в году в зависимости от среднегодовой положительной температуры воздуха, вычисляемой по формуле (5.1):

$$t^{+}_{срг} = \frac{8,3 + 15,3 + 18,2 + 14,9 + 8,6}{5} = 13,1\ ^{\circ}C.$$

По табл. 5.1. определяем $T_{рсг} = 1,2$ дня.

Тогда суммарное число приложений расчетной нагрузки по формуле (3.1) составляет:

$N_{c5} = 0,6 \times 0,55 \times 320 \times 5,5 \times 1,2 = 697;$
$N_{c10} = 0,6 \times 0,55 \times 320 \times 12,6 \times 1,2 = 1597;$
$N_{c15} = 0,6 \times 0,55 \times 320 \times 21,6 \times 1,2 = 2737.$

Для вычисления по формуле (5.2) фактического суммарного числа приложений расчетной нагрузки, приведенного к $t_ц = 0,01$ с при равнинном характере местности и продольном уклоне менее 30‰ по табл. 5 2, находим фактическое $t_ц = 0,02$ с.

$$N_{СР5} = \frac{697 \times 0,02}{0,01} = 1394; \qquad N_{СР10} = \frac{1597 \times 0,02}{0,01} = 3194;$$

$$N_{СР15} = \frac{2737 \times 0,02}{0,01} = 5474.$$

По графику рис. 5.1. для соответствующих значений фактического числа приложений расчетной нагрузки и толщины сдвигоопасной зоны, равной (при суммарной толщине слоев асфальтобетона 12 см) согласно табл. 5.2 0,06 м, находим исходные значения остаточной деформации:

$$\varepsilon_{65}^{исх} = 0{,}00025\,м; \qquad \varepsilon_{610}^{исх} = 0{,}00042\,м;$$

$$\varepsilon_{615}^{исх} = 0{,}00056\,м.$$

Расчетные значения остаточных деформаций в слоях асфальтобетона вычисляют по формуле (5.3), с учетом поправки на фактический коэффициент вязкого сопротивления (по табл. 5.5 и 5.4), применения в покрытии асфальтобетона типа В (щебня 32%) на БНД 90/130 и выпора по краям колеи окончательно получим:

$h_{кр5} = 0{,}00025 \times 2 \times 1{,}3 = 0{,}001$ м;
$h_{кр10} = 0{,}00042 \times 2 \times 1{,}3 = 0{,}001$ м;
$h_{кр15} = 0{,}00056 \times 2 \times 1{,}3 = 0{,}001$ м.

Для определения величины износа покрытия необходимо вычислить по формуле (5.4) общую фактическую интенсивность движения на полосу среднюю за 15 лет при $q_o$ = 1,01;

$N_{общ1}^{ф} = 1275$ авт./сут:

$$N_{общ}^{ср.ф} = 0{,}55 \times 1275 \times 1{,}01^{0{,}5 \times 15 - 1} = 748 \text{ авт./сут.}$$

По табл. 5.6 определяем средний годовой износ покрытия при $N_{общ}^{ср.ф} = 748$, равный 0,42 мм. Составляющая глубины колеи за счет износа покрытия на 5-й, 10-й и 15-й годы составит:

$\Delta_{и5} = 0{,}42 \times 5 = 2{,}1$ мм (0,002 м);
$\Delta_{и10} = 0{,}42 \times 10 = 4{,}2$ мм (0,004 м);
$\Delta_{и15} = 0{,}42 \times 15 = 6{,}3$ мм (0,006 м).

Общая средняя глубина колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы службы дорожной одежды определяется по формуле 6.1:

$$h_{общ5}^{ср} = (0{,}15 \cdot (0{,}012 + 0{,}005) + 0{,}001) \cdot 2{,}56 + 0{,}002 = 0{,}011\,м;$$

$$h_{общ10}^{ср} = (0{,}015 \cdot (0{,}016 + 0{,}008) + 0{,}001) \cdot 2{,}56 + 0{,}004 = 0{,}016\,м;$$

$$h_{общ15}^{ср} = (0{,}15 \cdot (0{,}021 + 0{,}01) + 0{,}001) \cdot 2{,}56 + 0{,}006 = 0{,}02\,м.$$

Максимальная глубина колеи с 85%-ной обеспеченностью составит (см. формулу (6.2)):

$$h_{общ5}^{max} = 0{,}011 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}3) = 0{,}014\,м;$$

$$h_{общ10}^{max} = 0{,}016 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}3) = 0{,}021\,м;$$

$$h_{общ15}^{max} = 0{,}02 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}3) = 0{,}026\,м.$$

## ПРИМЕР 5

Требуется определить ожидаемую глубину колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы (при отсутствии ремонтных мероприятий) на дороге III категории, расположенной в Ставропольском крае.

Исходные данные для расчета (см. пункт 2.1):

- грунт земляного полотна – суглинок легкий $E_г = 72$ МПа;
- конструкция дорожной одежды включает: песок мелкий $E_п = 100$ МПа, $h = 20$ см; щебень $E_ш = 350$ МПа, $h = 19$ см; асфальтобетон крупнозернистый пористый, $E = 2800$ МПа, $h = 6$ см; асфальтобетон плотный (на БНД 40/60) мелкозернистый типа А (щебня 52%) $E = 4400$ МПа на известняковом щебне, $h = 4$ см;
- расчетная влажность грунта земляного полотна 0,6 в долях от границы текучести (угол внутреннего трения 24 град);
- среднемесячные температуры воздуха месяцев с устойчивой положительной температурой: 16,7; 21,7; 23,4; 22,6; 15,9 °С.
- характер местности – пересеченный;
- продольный уклон дороги 30...40‰.

Данные учета интенсивности движения на дороге в первый год эксплуатации дорожной одежды

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 1000 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 100 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 150 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 70 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 90 |
| Автобусы | 70 |
| Тягачи с прицепами | 85 |

$\Sigma = 1565$ авт./сут

Данные учета интенсивности движения на дороге во второй год службы дорожной одежды

| Типы автомобилей | Количество автомобилей в сутки |
|---|---|
| Легковые автомобили | 1050 |
| Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т | 100 |
| Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т | 140 |
| Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т | 75 |
| Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т | 90 |
| Автобусы | 70 |
| Тягачи с прицепами | 90 |

$\Sigma = 1615$ авт./сут

Показатель изменения общей интенсивности движения вычисляют по формуле (2.2):

$$q_o = \frac{1615}{1565} = 1{,}03.$$

Интенсивность движения, приведенную к расчетной нагрузке (авт./сут), рассчитывают в первый и второй годы службы по формуле (2.1), при этом значения коэффициентов приведения назначают согласно табл. 2.2.:

$$N_{p1} = 100 \times 0{,}005 + 150 \times 0{,}2 + 70 \times 0{,}7 + 90 \times 1{,}25 + 70 \times 0{,}7 +$$

$$+ 85 \times 1{,}5 = 369;$$

$$N_{p2} = 100 \times 0{,}005 + 140 \times 0{,}2 + 75 \times 0{,}7 + 90 \times 1{,}25 + 70 \times 0{,}7 +$$

$$+ 90 \times 1{,}5 = 378.$$

Показатель изменения приведенной интенсивности движения вычисляем по формуле (2.2):

$$q = \frac{378}{369} = 1{,}02.$$

Ожидаемое суммарное число приложений расчетной нагрузки при определения остаточных деформаций в грунте земляного полотна

рассчитываем по формуле (3.1). Значения коэффициента суммирования на 5-й, 10-й и 15-й годы находят по графику рис. 3.1. $K_c = 5,2$; 11; 17 соответственно. Количество расчетных дней в году назначают по табл. 3.2 и для Ставропольского края составляет 145, коэффициент полосности находим в табл. 3.1, для двухполосных дорог он равен 0,55.

$$N_{C5} = 0,6 \times 0,55 \times 369 \times 5,2 \times 145 = 9,17 \times 10^4;$$
$$N_{C10} = 0,6 \times 0,55 \times 369 \times 11 \times 145 = 1,9 \times 10^5.$$
$$N_{C15} = 0,6 \times 0,55 \times 369 \times 17 \times 145 = 3,0 \times 10^5.$$

Остаточные деформации в грунте земляного полотна вычисляют по выражению (3.3), при этом исходные значения остаточной осадки определяем по графику (рис. 3.2) для соответствующих значений $N_c$ и при угле внутреннего трения 24 град: $h_{гр5} = 0,008$; $h_{гр10} = 0,009$; $h_{гр15} = 0,01$. По формуле (3.4) вычисляем средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды:

$$E_д = \frac{4400 \times 4 + 2800 \times 6 + 350 \times 19 + 100 \times 20}{49} = 879 \text{ МПа}.$$

Для отношения $E_д/E_г = 879/72 = 12,2$ по табл. 3.4 назначаем $K_E = 1,13$, а для отношения $h/D = 49/37 = 1,32$ по табл. 3.5 определяем $K_{ha} = 1,2$.

Определив все величины, входящие в выражение (3.3), вычисляем остаточные деформации в грунте земляного полотна на 5-й, 10-й и 15-й годы:

$$h_{эл5} = 0,008 \times 1,13 \times 1,2 = 0,011 \text{ м};$$
$$h_{эл10} = 0,009 \times 1,13 \times 1,2 = 0,012 \text{ м};$$
$$h_{эл15} = 0,01 \times 1,13 \times 1,2 = 0,014 \text{ м}.$$

Относительные значения остаточных деформаций в слоях основания определяем по графикам (рис. 4.1; 4.2). Для песчаного слоя при $E_п/E_г = 100/72 = 1,4$ и $h_п = 20$ см, а для слоя щебня при $E_щ/E_г = 350/72 = 4,9$ и $h_щ = 19$см.

По графикам (рис.4.1 и 4.2) получаем:

$$\varepsilon_п/\varepsilon_г = 1,0, \ \varepsilon_щ/\varepsilon_г = 0,58.$$

Абсолютные значения остаточных деформаций в слоях основания составят:

$$\varepsilon_{п5} = 1,0 \times \varepsilon_{г5} = 1,0 \times 0,011 = 0,011 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{щ5} = 0,58 \times \varepsilon_{г5} = 0,58 \times 0,011 = 0,006 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{п10} = 1,0 \times \varepsilon_{г10} = 1,0 \times 0,012 = 0,012 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{щ10} = 0,58 \times \varepsilon_{г10} = 0,58 \times 0,012 = 0,007 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{п15} = 1,0 \times \varepsilon_{г15} = 1,0 \times 0,014 = 0,014 \text{ м};$$
$$\varepsilon_{щ15} = 0,58 \times \varepsilon_{г15} = 0,58 \times 0,014 = 0,008 \text{ м}.$$

**Общие абсолютные остаточные деформации в слоях основания:**

$$h^{абс}_{осн5} = 0{,}011 + 0{,}006 = 0{,}017\ м;$$

$$h^{абс}_{осн10} = 0{,}012 + 0{,}007 = 0{,}019\ м;$$

$$h^{абс}_{осн15} = 0{,}014 + 0{,}008 = 0{,}022\ м.$$

Для вычисления остаточных деформаций в слоях асфальтобетона по табл. 5.1 определяем расчетное количество сдвигоопасных дней в году в зависимости от среднегодовой положительной температуры воздуха, вычисляемой по формуле (5.1):

$$t^{+}_{срг} = \frac{16{,}7 + 21{,}7 + 23{,}4 + 22{,}6 + 15{,}9}{5} = 20{,}1^{\circ}C.$$

По табл. 5.1. определяем $T_{рсг} = 28$ дней.

Тогда суммарное число приложений расчетной нагрузки по формуле (3.1) составляет:

$N_{c5} = 0{,}6 \times 0{,}55 \times 369 \times 5{,}2 \times 28 = 17730;$

$N_{c10} = 0{,}6 \times 0{,}55 \times 369 \times 11 \times 28 = 37505;$

$N_{c15} = 0{,}6 \times 0{,}55 \times 369 \times 17 \times 28 = 57962.$

Для вычисления по формуле (5.2) фактического суммарного числа приложений расчетной нагрузки, приведенного к $t_ц = 0{,}01$ с при пересеченном характере местности и продольном уклоне 30...40‰ по табл. 5.3, находим фактическое $t_ц = 0{,}027$ с.

$$N_{СР5} = \frac{17730 \times 0{,}027}{0{,}01} = 47871; \quad N_{СР10} = \frac{37505 \times 0{,}027}{0{,}01} = 101263;$$

$$N_{СР15} = \frac{57962 \times 0{,}027}{0{,}01} = 156497.$$

По графику рис. 5.2 для соответствующих значений фактического числа приложений расчетной нагрузки и толщины сдвигоопасной зоны, равной (при суммарной толщине слоев асфальтобетона 10 см) согласно табл. 5.2. 0,05 м, находим исходные значения остаточной деформации:

$$\varepsilon^{исх}_{б(5)} = 0{,}0017\ м; \quad \varepsilon^{исх}_{б(10)} = 0{,}0024\ м; \quad \varepsilon^{исх}_{б(15)} = 0{,}003\ м.$$

Расчетные значения остаточных деформаций в слоях асфальтобетона вычисляют по формуле (5.3), с учетом поправки на фактический коэффициент вязкого сопротивления (по табл. 5.5 и 5.4),

применения в покрытии асфальтобетона типа А (щебня 52%) на БНД40/60 и выпора по краям колеи окончательно получим:

$$h_{кр5} = 0{,}0017 \times 0{,}7 \times 1{,}3 = 0{,}0015 \approx 0{,}002 \text{ м};$$
$$h_{кр10} = 0{,}0024 \times 0{,}7 \times 1{,}3 = 0{,}002 \text{ м};$$
$$h_{кр15} = 0{,}003 \times 0{,}7 \times 1{,}3 = 0{,}003 \text{ м}.$$

В случае применения битума марки БНД 90/130 составляющая глубины колеи в слоях асфальтобетона составит:

$$h_{кр5} = 0{,}002 \times 1{,}6 \times 1{,}3 = 0{,}004 \text{ м};$$
$$h_{кр10} = 0{,}0024 \times 1{,}6 \times 1{,}3 = 0{,}005 \text{ м};$$
$$h_{кр15} = 0{,}003 \times 1{,}6 \times 1{,}3 = 0{,}006 \text{ м}.$$

Для определения величины износа покрытия необходимо вычислить по формуле (5.4) и табл. 5.7 общую фактическую интенсивность движения на полосу среднюю за 15 лет при $q_o = 1{,}03$;

$N^{ф}_{общ1} = 1565$ авт./сут:

$$N^{ср\,ф}_{общ} = 0{,}55 \times 1565 \times 1{,}03^{0{,}5 \times 15 - 1} = 1043 \text{ авт./сут}.$$

По табл. 5.6 определяем средний годовой износ покрытия при $N^{ср\,ф}_{общ} = 1043$ равный 0,46 мм. Составляющая глубины колеи за счет износа покрытия на 5-й, 10-й и 15-й годы составит:

$$\Delta_{и5} = 0{,}46 \times 5 = 2{,}3 \text{ мм } (0{,}002 \text{ м});$$
$$\Delta_{и10} = 0{,}46 \times 10 = 4{,}6 \text{ мм } (0{,}005 \text{ м});$$
$$\Delta_{и15} = 0{,}46 \times 15 = 6{,}9 \text{ мм } (0{,}007 \text{ м}).$$

Общая средняя глубина колеи на 5-й, 10-й и 15-й годы службы дорожной одежды определяется по формуле 6 1 и в случае применения БНД 40/60 составляет:

$$h^{ср}_{общ5} = (0{,}15 \cdot (0{,}011 + 0{,}016) + 0{,}002) \cdot 2{,}56 + 0{,}002 = 0{,}017 \text{ м};$$

$$h^{ср}_{общ10} = (0{,}015 \cdot (0{,}012 + 0{,}018) + 0{,}002) \cdot 2{,}56 + 0{,}005 = 0{,}022 \text{ м};$$

$$h^{ср}_{общ15} = (0{,}15 \cdot (0{,}014 + 0{,}021) + 0{,}003) \cdot 2{,}56 + 0{,}007 = 0{,}028 \text{ м}.$$

Максимальная глубина колеи с 85%-ной обеспеченностью составит (см. формулу (6.2)):

$$h^{max}_{общ5} = 0{,}017 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}3) = 0{,}022 \text{ м};$$

$$h^{max}_{общ10} = 0{,}022 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}3) = 0{,}029 \text{ м};$$

$$h^{max}_{общ15} = 0{,}028 \cdot (1 + 1{,}04 \cdot 0{,}3) = 0{,}037 \text{ м}.$$

**Приложение 2**

**Расчетные характеристики дорожно-строительных материалов**

Таблица П.2.1

Средние значения влажности грунта

| ДКЗ | Подзоны | Схема увлажнения | Среднее значение влажности грунта в долях от границы текучести | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Супесь легкая | Песок пылеватый | Суглинок легкий | Супесь пылеватая и суглинок пылеватый |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| I | $I_1$ | 1 | 0,53 | 0,57 | 0,62 | 0,65 |
| | | 2 | 0,55 | 0,59 | 0,65 | 0,67 |
| | | 3 | 0,57 | 0,62 | 0,67 | 0,7 |
| | $I_2$ | 1 | 0,57 | 0,57 | 0,62 | 0,65 |
| | | 2 | 0,59 | 0,62 | 0,67 | 0,7 |
| | | 3 | 0,62 | 0,65 | 0,7 | 0,75 |
| | $I_3$ | 1 | 0,6 | 0,62 | 0,65 | 0,7 |
| | | 2 | 0,62 | 0,65 | 0,7 | 0,75 |
| | | 3 | 0,65 | 0,7 | 0,75 | 0,8 |
| II | $II_1$ | 1 | 0,6 | 0,62 | 0,65 | 0,7 |
| | | 2 | 0,63 | 0,65 | 0,68 | 0,73 |
| | | 3 | 0,65 | 0,67 | 0,7 | 0,75 |
| | $II_2$ | 1 | 0,57 | 0,59 | 0,62 | 0,67 |
| | | 2 | 0,6 | 0,62 | 0,65 | 0,7 |
| | | 3 | 0,62 | 0,64 | 0,67 | 0,72 |
| | $II_3$ | 1 | 0,63 | 0,65 | 0,68 | 0,73 |
| | | 2 | 0,66 | 0,68 | 0,71 | 0,76 |
| | | 3 | 0,68 | 0,7 | 0,73 | 0,78 |
| | $II_4$ | 1 | 0,6 | 0,62 | 0,65 | 0,7 |
| | | 2 | 0,63 | 0,65 | 0,68 | 0,73 |
| | | 3 | 0,65 | 0,67 | 0,7 | 0,75 |
| | $II_5$ | 1 | 0,65 | 0,67 | 0,7 | 0,75 |
| | | 2 | 0,68 | 0,7 | 0,73 | 0,78 |
| | | 3 | 0,7 | 0,72 | 0,75 | 0,8 |
| | $II_6$ | 1 | 0,62 | 0,64 | 0,67 | 0,72 |
| | | 2 | 0,65 | 0,67 | 0,7 | 0,75 |
| | | 3 | 0,67 | 0,69 | 0,72 | 0,77 |

Продолжение таблицы П.2.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| III | $III_1$ | 1 | 0,55 | 0,57 | 0,6 | 0,63 |
| | | 2-3 | 0,59 | 0,61 | 0,63 | 0,67 |
| | $III_2$ | 1 | 0,58 | 0,6 | 0,63 | 0,66 |
| | | 2-3 | 0,62 | 0,64 | 0,66 | 0,7 |
| | $III_3$ | 1 | 0,55 | 0,57 | 0,63 | 0,63 |
| | | 2-3 | 0,59 | 0,61 | 0,67 | 0,67 |
| IV | | 1 | 0,53 | 0,55 | 0,57 | 0,6 |
| | | 2-3 | 0,57 | 0,58 | 0,6 | 0,64 |
| V | | 1 | 0,52 | 0,53 | 0,54 | 0,57 |
| | | 2-3 | 0,53 | 0,56 | 0,57 | 0,6 |

***Примечание.*** На участках, где возвышение земляного полотна в соответствии со СНиП не обеспечено (нулевые места и выемки с близким залеганием грунтовых вод), табличную влажность увеличить не менее чем на 0,03. Подзоны принимают в соответствии с ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд».

Таблица П.2.2

## Модули упругости и углы внутреннего трения грунтов

| Грунт | Обозначение | Значения модуля упругости и угла внутреннего трения в зависимости от относительной влажности | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0,5 | 0,55 | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 | 0,95 |
| Супесь легкая | $E_{гр}$, МПа | 70 | 60 | 56 | 53 | 49 | 45 | 43 | 42 | 41 | 40 |
| | $\varphi_{гр}°$ | 37 | 36 | | | 35 | | 34 | | 33 | |
| Суглинок легкий и тяжелый, глина, супесь пылеватая, суглинок легкий пылеватый | $E_{гр}$, МПа | 108 | 90 | 72 | 54 | 42 | 35 | 29 | 25 | 24 | 23 |
| | $\varphi_{гр}°$ | 32 | 27 | 24 | 21 | 18 | 15 | 13 | 11 | 10 | 8 |

Таблица П.2.3

Нормативные значения кратковременного модуля упругости асфальтобетонов

| Материал | Марка битума | Кратковременный модуль упругости при температуре +10 °С |
|---|---|---|
| Плотный и высокоплотный асфальтобетон | Вязкого БНД и БН<br>40/60; 60/90; 90/130<br>130/200; 200/300 | <br>4400; 3200; 2400<br>1500; 1200 |
| | Жидкого<br>БГ-70/130; СГ-130/200<br>СГ-70/130; МГ-70/130 | 1000; 1000<br>800; 800 |
| Холодный асфальтобетон<br>Бх<br>Вх<br>Гх<br>Дх | - | <br>1300<br>1100<br>900<br>750 |
| Плотный дегтебетон | - | 3800 |
| Пористый дегтебетон | - | 2000 |

**Таблица П. 2.4**

## Материалы, обработанные битумом

| № п/п | Материал | Модуль упругости, МПа |
|---|---|---|
| 1 | Щебеночно-гравийно-песчаные и крупнообломочные грунты (оптимального/неоптимального состава) обработанные:<br>- жидким или вязким органическим вяжущим, в том числе эмульгированные органическим вяжущим<br>- жидкими органическими вяжущими или эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральным | 450/350<br>950/700 |
| 2 | Пески гравелистые, крупные, средние / пески мелкие, супесь легкая и пылеватая, суглинки легкие, обработанные:<br>- жидкими или вязкими органическими вяжущими, в том числе эмульгированными органическими вяжущими<br>- жидкими органическими вяжущими или эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральным | **430/280**<br>700/600 |
| 3 | Черный щебень, уложенный по способу заклинки | 600-900 |
| 4 | Щебень, устроенный по способу пропитки вязким битумом и битумной эмульсией | 400-600 |

***Примечание.*** В пп. 3 и 4 большие значения – для покрытий, меньшие – для оснований.

Таблица П. 2.5

Материалы, обработанные битумом

| № п/п | Материал | | Модуль упругости, МПа |
|---|---|---|---|
| 1 | Щебеночно-гравийно-песчаные и крупнообломочные грунты (оптимального/неоптимального состава), обработанные цементом: | | |
| | - соответствующие марке | 20 | 500/400 |
| | | 40 | 600/350 |
| | | 60 | 800/700 |
| | | 75 | 870/830 |
| | | 100 | 1000/950 |
| 2 | То же, обработанные зольным или шлаковым вяжущим: | | |
| | - соответствующие марке | 20 | 450/350 |
| | | 40 | 550/500 |
| | | 60 | 750/650 |
| | | 75 | 870/780 |
| | | 100 | 950/910 |
| 3 | Пески гравелистые, крупные средние / пески мелкие и пылеватые, супесь легкая и тяжелая, суглинки легкие, обработанные цементом: | | 400/250 |
| | соответствующие марке | 20 | 550/400 |
| | | 40 | 700/550 |
| | | 60 | 870/75 |
| | | 75 | 950/870 |
| | | 100 | |
| 4 | То же, обработанные зольными или шлаковым вяжущим: | | |
| | - соответствующим марке | 20 | 300/200 |
| | | 40 | 450/300 |
| | | 60 | 600/450 |
| | | 75 | 730/600 |
| | | 100 | 870/750 |

Таблица П.2.6

Щебеночно-гравийно-песчаные смеси

| Материал слоя | | Модуль упругости, МПа |
|---|---|---|
| Щебеночные/ гравийные смеси (С) непрерывной гранулометрии для оснований при максимальном размере зерен | $С_3$ – 80 мм | 280/240 |
| | $С_4$ – 80 мм | 275/230 |
| | $С_5$ – 40 мм | 260/220 |
| | $С_6$ – 20 мм | 240/200 |
| | $С_7$ – 20 мм | 260/180 |
| Шлаковая щебеночно-песчаная смесь из неактивных и слабоактивных шлаков | $С_1$ – 80 мм | 275 |
| | $С_2$ – 40 мм | 260 |
| | $С_4$ – 20 мм | 250 |
| | $С_6$ – 20 мм | 210 |

Таблица П. 2.7

Щебеночные основания, устроенные по способу заклинки

| Материал слоя | Модуль упругости, МПа |
|---|---|
| Щебень фракционированный 40-80 (80-120) мм с заклинкой: | |
| - фракционированным мелким щебнем | 450/250 |
| - известняковой мелкой смесью или активным мелким шлаком | 400/300 |
| - мелким высокоактивным шлаком | 450/400 |
| - асфальтобетонной смесью | 500/450 |
| - цементопесчаной смесью М75 при глубине пропитки 0,25…0,75h слоя | 450-700/350-600 |

***Примечание.*** Для слоя: в числителе – легкоуплотняемого щебня; в знаменателе – из трудноуплотняемого щебня.

**Приложение 3**

## Методика определения вязкости асфальтобетона

П.2.1. *Средства для проведения испытания:*

Пресс рычажный, обеспечивающий величину постоянной нагрузки, передаваемой на штамп диаметром 50 мм, не менее 1 кН (100 кгс).

Индикатор перемещений, обеспечивающий измерение величины вдавливания с точностью не менее 0,01 мм.

Секундомер.

Термометр химический ртутный стеклянный с ценой деления шкалы 1°С по ГОСТ 400.

Сосуд для термостатирования образцов вместимостью 7-8 л.

Термостатирующее устройство, поддерживающее температуру воды 50±2°С.

Гири для нагружения рычажного пресса.

П.2.2. *Порядок подготовки к проведению испытания:*

Непосредственно после строительства покрытия необходимо отобрать керны или вырубки общей массой не менее 2 кг. В лабораторных условиях производится переформовка вырубок или кернов. Для испытания асфальтобетона на вдавливание штампа готовят образцы диаметром 50 мм (по стандартной технологии) в количестве не менее 3-х штук.

Перед испытанием образцы выдерживают в течение 1 ч при температуре 50°С в воде.

П. 2.3. *Порядок проведения испытания:*

Для испытания асфальтобетона методом вдавливания штампа образец, извлеченный из термостатирующего устройства, устанавливают на рычажном прессе и строго по оси образца устанавливают жесткий металлический штамп, начальное положение которого фиксируется индикатором. Затем через рычажное устройство передается нагрузка 1 кН. Одновременно с приложением нагрузки

включается секундомер. Через 10 мин нагрузка снимается и через 1 мин индикатором фиксируется вдавливание штампа.

В зависимости от сопротивления образца и величины перемещения штампа за время испытания допускается использовать нагрузку на образец больше или меньше 1 кН с тем, чтобы величина перемещения за время испытания была бы не менее 1 мм и не более 5 мм.

П.2.4. *Обработка результатов испытания:*

Для каждого образца, испытанного на вдавливание, вычисляют значение вязкости по формуле:

$$\eta_{50} = \frac{32 \cdot F \cdot t}{3 \cdot \pi \cdot d^4 \cdot (h^{-2} - h_0^{-2})}, \quad \text{МПа·с},$$

где F – величина постоянной нагрузки, действующей на образец, кН;

t – время действия нагрузки, с;

d – диаметр штампа, мм;

$h_o$ – начальная высота образца, мм;

h – высота образца в конце испытания, мм;

$h_o - h$ – величина перемещения штампа, мм.

За показатель вязкости асфальтобетона принимают среднее значение, полученное по результатам трех параллельных испытаний.

Утверждено
распоряжением Государственной
службы дорожного хозяйства
Министерства транспорта
Российской Федерации
№ ОС-440-Р от 17.05.2002 г.

# Часть 3
# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРАНЕНИЮ КОЛЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА**
**(РОСАВТОДОР)**

**Москва 2002**

## Введение

Настоящие Рекомендации разработаны по заданию Государственной службы дорожного хозяйства и предназначены для использования при разработке и реализации мероприятий по устранению и предупреждению колееобразования на дорогах общего пользования.

Рекомендации содержат описание методов исправления колеи, образовавшейся на дорожных покрытиях под воздействием интенсивного движения тяжелых транспортных средств, особенно в летний период с высокой температурой воздуха и в весенний период повышенного увлажнения грунтов. Под действием таких факторов в слоях дорожной одежды и земляного полотна могут накапливаться остаточные деформации и структурные разрушения, видимым отражением которых является колея.

Рекомендации по устранению колеи и предотвращению их образования разработаны в России впервые и основаны на результатах исследований, выполненных в МАДИ (ГТУ), Союздорнии, Росдорнии, а также на обобщении зарубежного опыта.

Ряд положений рекомендаций нуждается в опытной проверке и апробации, с учетом результатов которой и дальнейших исследований должен быть подготовлен документ нормативно-технического уровня.

Рекомендации разработаны временным творческим коллективом, созданным при ООО «МАДИ-Путь» в составе: д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева (научный руководитель); канд. техн. наук, доц. Т.А. Лариной (ответственный исполнитель); канд. техн. наук, доц. П.П. Петровича (МАДИ ГТУ); канд. техн. наук, с.н.с. Г. Н. Кирюхина (ФГУП Союздорнии).

## 1. Определения и понятия

**Колея** – вид деформирования поперечного профиля проезжей части с образованием углублений по полосам наката с гребнями или без гребней выпора.

**Колея внешняя** – колея, расположенная в полосе наката справа по направлению движения.

**Колея внутренняя** – колея, расположенная в полосе наката слева по направлению движения.

**Колея глубинная** – колея, причиной образования которой является накопление остаточных деформаций в нестабильных слоях дорожной одежды, расположенных ниже слоев покрытия или в земляном полотне.

**Колея поверхностная** – колея, причиной образования которой является накопление остаточных деформаций в верхних слоях покрытия с нестабильными свойствами.

**Нестабильный слой** – слой дорожной одежды или земляного полотна, физико-механические свойства которого не соответствуют требованиям по сдвигоустойчивости, прочности или другим показателям в сложившихся условиях эксплуатации дороги.

**Однородность поверхности покрытия** – равномерность распределения цвета и количества компонентов (выпотевание битума, избыток или недостаток песка или щебня) на поверхности покрытия, оцениваемая визуально.

**Регенерация асфальтобетона** – восстановление утраченных свойств старого асфальтобетона с добавлением новых каменных материалов, битума и средств регенерации.

**Ремиксинг (термосмешение)** – технология повторного использования материалов асфальтобетонного покрытия путем его переработки на месте горячим способом, включающая разогрев, фрезерование старого покрытия, перемешивание материалов старой и новой смеси либо старой смеси с добавкой щебня, обработанного битумом и добавками для регенерации старого битума.

**Ремиксинг плюс** – технология, выполняемая с применением оборудования для снятия старого покрытия, горячим способом и укладки смеси из материалов старого покрытия с последующей немедленной укладкой тонкого слоя износа из новой смеси в одну стадию при помощи машины «Ремиксер».

**Рециклинг** – технология повторного использования материалов слоев дорожной одежды с переработкой их холодным или горячим способом.

**Средство регенерации битума** – продукт переработки нефти (пластификатор), который добавляют в необходимой пропорции к смеси обновления для восстановления свойств битума.

**Смесь переработанная** – битумоминеральная смесь, предназначенная для устройства слоев покрытия, состоящая из старой и новой смеси и добавок (при необходимости) средства регенерации (пластификатора).

**Термопрофилирование** – исправление поперечной и продольной ровности покрытия, выполняемое термопрофилировщиками.

**Гранулят** – размельченный материал, полученный в результате фрезерования слоев дорожной одежды холодным способом или в результате дробления крупных кусков от разборки старого покрытия.

**Фрезерование** – способ исправления продольной и поперечной ровности или удаления слоев. Если операцию выполняют холодным способом, то получают гранулят, если горячим способом – получают смесь обновления.

**Фрезерование частичное** – снятие неровностей покрытия в пределах колей (гребней выпоров). Выполняют в целях исправления поперечной ровности полосы движения.

**Фрезерование мелкое (поверхностное)** – срезание слоев износа на всю ширину полосы движения на глубину ниже дна колей в целях удаления выступившего в колее избыточного битума.

**Холодный ресайклинг** – метод ремонта, предусматривающий глубокое (до 30 см) фрезерование слоев покрытия и основания холодным способом и повторное использование полученного материала при устройстве новой дорожной одежды с добавкой щебня, песка, цемента и воды, которые перемешивают непосредственно на дороге, распределяют и уплотняют. В качестве вяжущего, наряду с цементом, могут быть использованы катионные битумные эмульсии.

## 2. Методика обследования участков дорог с колеей

### *2.1. Общие положения*

2.1.1. В процессе эксплуатации на поверхности покрытия возможно образование различного рода деформаций, в том числе и колеи. На каждой полосе движения могут образоваться одна или две

колеи: внешняя, расположенная в полосе наката справа по направлению движения, и внутренняя, расположенная слева в полосе наката по направлению движения (рис. 2.1).

Для выяснения причин образования колеи и обоснования видов ремонта проводят обследование состояния участков дорог с колеей. Обследование выполняют в соответствии с положениями настоящих рекомендаций (п. 2.2.-2.5).

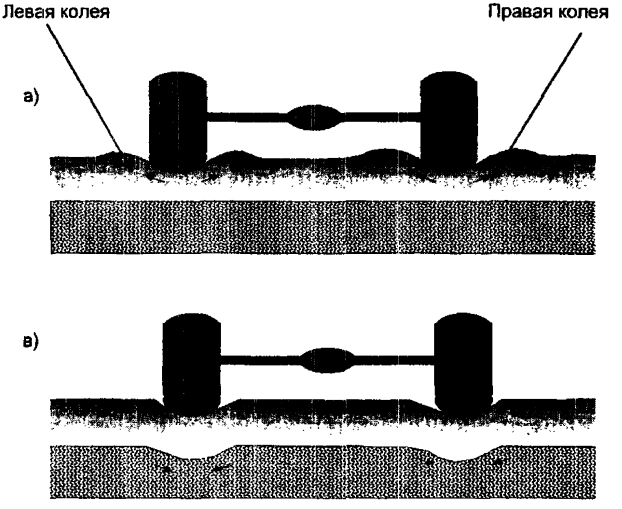



***Рис. 2.1. Основные схемы образования колеи в покрытии: а – поверхностная колея; в – глубинная колея***

Колея может быть образована в результате деформирования поперечного профиля проезжей части в виде углублений по полосам наката с гребнями (рис. 2.1, а) или без гребней выпора (рис.2.1, в).

2.1.2. Колея образуется в результате интенсивного движения транспортных средств при высокой температуре воздуха и покрытия летом и при повышенной влажности грунтов земляного полотна весной; недостаточной сдвигоустойчивости слоев асфальтобетонного покрытия или основания, а также грунтов активной зоны земляного полотна. При этом происходит истирание верхнего слоя покрытия в полосе наката, доуплотнение или переуплотнение слоев дорожной одежды (с разрушением щебня или без него), отслаивание или

выкрашивание верхнего слоя, пластическое деформирование слоев дорожной одежды.

2.1.3. Накопление остаточных деформаций и структурных разрушений может происходить в одном или сразу в нескольких слоях дорожной конструкции. Верхний слой покрытия расположен в зоне максимальных температурных воздействий и воспринимает наибольшую нагрузку от колес транспорта Поэтому он подвержен деформациям в наибольшей степени и чаще других является причиной образования колеи. Любой из нижележащих слоев может также быть причиной образования колеи.

2.1 4. Полная глубина колеи складывается из высоты выпора и глубины впадины (рис. 2.2).

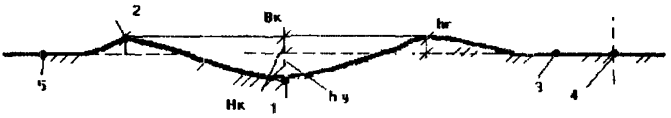



***Рис. 2.2. Общий вид внешней колеи:***
***1 – основание колеи (дно); 2 – гребень выпора колеи; 3 – проектная поверхность покрытия; $B_K$ – ширина колеи; $H_K$ – полная глубина колеи ($H_K = h_y + h_r$); $h_r$ – высота гребня выпора; $h_y$ – глубина впадины (углубления); 4 – граница полосы движения; 5 – середина одной полосы движения***

### *2.2. Состав и последовательность работ при обследовании участков дорог*

2.2.1. Процесс обследования участков может быть разделен на три этапа:

- подготовительный;
- полевые обследования;
- обработка материалов полевых обследований.

2.2.2.Подготовительные работы включают:

- комплектование бригады;
- подготовку и оснащение передвижной лаборатории или другого автомобиля приборами, оборудованием и защитными средствами;
- сбор информации общего характера о дороге;

- заготовку журналов, бланков и ведомостей для заполнения результатами;
- согласование работ с органами управления дорогой и органами ГИБДД.

2.2.3. Сбор данных общего характера о дороге осуществляют путем изучения проектных данных, паспорта дороги, результатов диагностики, оценки состояния дороги и других технических документов и материалов.

В данных общего характера должны быть указаны:

- техническая категория дороги и сроки строительства участка;
- интенсивность и состав движения, расчетные нагрузки;
- геометрические параметры дороги;
- конструкция дорожных одежд;
- качество материалов в конструктивных слоях и их составляющих компонентов;
- данные по видам и срокам ремонта каждого участка;
- срок появления колеи на участке.

### *2.3. Полевые обследования*

2.3.1. До начала полевых работ все исполнители обязаны пройти инструктаж по правилам техники безопасности и охране труда.

Все виды полевых обследований дорог относятся к категории опасных. Лица, участвующие в этой работе, должны строго соблюдать действующие «Правила техники безопасности при строительстве, ремонте и содержании дорог», а также другие ведомственные правила и инструкции. При выполнении работ непосредственно на дороге должны соблюдаться требования «Инструкции по организации движения и ограждению мест производства работ», а также специально разработанных для таких случаев инструкций и указаний.

Все виды полевых обследований выполняют под защитой автомобиля. Предупреждающие знаки «Дорожные работы» и «Объезд препятствия слева» должны быть обращены навстречу движению.

2.3.2. Полевые работы по обследованию участков с колеей наиболее целесообразно проводить в конце лета или начале осени, после прекращения высоких летних температур. Обследования должны быть завершены не менее чем за 6-8 месяцев до начала ремонта. Полевые обследования выполняют в два этапа: визуальные обследования; инструментальные обследования.

2.3.3. Методика визуального обследования колеи

Визуальный осмотр участка проводят из автомобиля, двигающегося со скоростью не более 20 км/ч, или пешком. В местах, требующих детального осмотра и обследования, делаются остановки. Обследование дорог с раздельными проезжими частями проводят в прямом и обратном направлениях. На каждом участке определяют:

- интенсивность и состав движения;
- состояние покрытия;
- состояние обочин;
- состояние водоотводных сооружений и земляного полотна.

Описание внешнего характера колеи ведут по следующим признакам:

- сведения общего характера;
- форма и очертания краев колеи (выраженные или сглаженные);
- наличие гребней выпора и их характер;
- глубина колеи (малая – менее 20 мм, средняя - от 20 до 40 мм, глубокая – более 40 мм);
- ширина колеи;
- наличие пластических деформаций или признаков истирания материалов;
- виды дефектов и разрушений на поверхности покрытия: неоднородность цвета или количества компонентов на поверхности (пятна битума, недостаток вяжущего, выступание щебня, избыток песка и т.д.);
- динамика развития колеи (колея развивается быстро или медленно);
- наличие на покрытии следов от колес автомобиля;
- сцепные качества покрытия;
- состояние покрытия вокруг колеи (сетка трещин, наплывы, шелушение и т.д.);
- пикетное положение и протяженность участка с колеей (начало и конец колеи), номер полосы и направление движения.

Форма ведомостей визуального обследования участка дороги приведена в приложении 1, табл. П.1.1.

2.3.4. Предварительное заключение о состоянии участка дороги и причинах образования колеи составляют на основании результатов визуального обследования и данных общего характера. В заключении указывают намеченные методы ликвидации колеи.

Если причина образования колеи не может быть однозначно установлена при визуальном обследовании, назначают инструментальные обследования.

### *2.4. Инструментальные обследования*

2.4.1 Исследуемые параметры и характеристики:

- состав движения;
- фактическая скорость движения автомобилей в каждой из полос движения;
- геометрические параметры колеи (глубина и ширина колеи, высота и ширина гребней выпоров);
- геометрические параметры дороги (ширина проезжей части, число полос движения и ширина каждой полосы, ширина обочин, продольные и поперечные уклоны);
- ровность дорожных покрытий;
- сцепление покрытия с колесом автомобиля;
- прочность дорожной одежды.

2.4.2. Измерение геометрических параметров дорог с колеей геодезическими методами применяют на стадии обследования и разработки технического проекта ремонта дороги (при необходимости фрезерования, устройства выравнивающих слоев или уширения проезжей части).

В каждом поперечнике получают отметки 5 точек (рис. 2.3): кромка проезжей части с двух сторон ($К_1$ и $К_2$), середина проезжей части ($С_1$ и $С_2$) с каждой стороны; ось дороги (О).

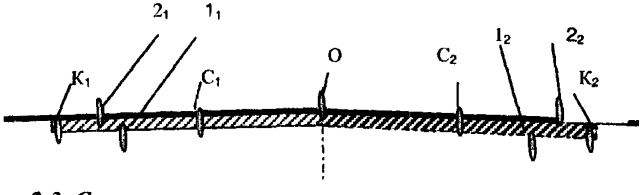



***Рис. 2.3. Схема расположения контрольных точек на покрытии: О – ось дороги; $К_1$ и $К_2$ – кромка проезжей части с каждой стороны; $С_1$ и $С_2$ – середина проезжей части с каждой стороны; $1_1$, $1_2$ – дно правой колеи в каждой полосе движения; $2_1$, $2_2$ – вершина правой колеи***

Геометрические параметры дороги замеряют через каждые 10 м по длине дороги. На участке дороги с колеёй в поперечном профиле получают две дополнительные точки, характеризующие глубину колеи: дно колеи (точка 1) и вершину колеи (точка 2). Измерения проводят по внешней, правой колее (ближе к обочине) для каждой полосы движения, на которой имеется колея. Глубину колеи рассчитывают как разность отметок точек 2 и 1.

Высотные отметки дополнительных точек 1 и 2 определяют через 20 м, для привязки колеи к продольному и поперечному профилям дороги и составления картограммы фрезерования или устройства выравнивающих слоев. При наличии данных о глубине колеи, полученных другими методами, геодезическими методами глубину колеи замеряют не реже, чем 1 раз на каждые 100 м. В пикетажном журнале отмечают координаты начала и конца участка с колеей.

2.4.3. Оценку прочности дорожной одежды проводят на участках дороги с глубиной колеи более 35 мм или при наличии сетки трещин, свидетельствующей о возможной потере прочности одним или несколькими слоями дорожной одежды. Работы выполняют по методике ВСН 52-89 [32] весной. Для составления проекта могут быть использованы данные диагностики, взятые из банка данных, полученные в результате предшествующих обследований данного участка.

2.4.4. Обследование участков дорог с колеёй методом отбора проб

2.4.4.1. Обследование покрытия и дорожной одежды ведут путем отбора проб вырубками прямоугольной формы размером 300 х 300 мм или высверливанием кернов диаметром 100 мм. Наиболее целесообразно высверливать пробы при помощи специальной буровой установки. Пробой считают не менее 2-х образцов кернов, взятых на расстоянии не более 0,5м друг от друга (два керна – одна проба).

Отбор проб проводят с целью:

определить причину образования колеи в дорожной одежде (поиск слабого слоя);

оценить возможности вторичного использования материалов.

2.4.4.2. Глубина отбора проб зависит от вида и характера колеи:

при поверхностном характере колеи – глубину отбора кернов назначают равной толщине слоев асфальтобетона в дорожной одежде;

при глубинном характере колеи – глубину отбора кернов назначают равной толщине всей дорожной одежды. В этом случае необходимо взять и пробы грунта из активной зоны земляного полотна.

2.4.4.3. Рекомендуемые места отбора проб на одной полосе движения показаны на рис. 2.4. Точка 1 расположена на дне внешней колеи (ближе к обочине) примерно в середине внешней колеи. Точка 2 удалена от оси дороги либо от линии, разделяющей полосы движения, на 0,2 – 0,3 м. Точка 3 расположена на вершине гребня выпора. Точка 3 является дополнительной. Независимо от вида колеи на каждом характерном участке отбирают одну контрольную пробу из точки 1 (рис. 2.4.) на всю толщину дорожной одежды.

2.4.4.4. При поверхностном характере колеи пробы отбирают из точек 1 и 2 (рис. 2.4.). Точка 1 расположена на дне внешней колеи, а точка 2 удалена от оси дороги либо от линии, разделяющей полосы движения, на 0,2-0,3 м. В одном сечении (створе) необходимо отобрать две пробы (4 керна). Максимальное расстояние между створами отбора проб по длине дороги составляет не более 500 м.

2.4.4.5. При глубинной колее, сопровождающейся выдавливанием материала из слоя с образованием гребней выпоров, дополнительно отбирают пробу кернов в самой высокой точке колеи (рис. 2.4.) - точке 3 (гребень выпора) через 1000 м или одну пробу на каждый характерный участок (при длине участка с колеей менее 1 км).

2.4.5. Испытания проб. Последовательность проведения испытаний.

2.4.5.1. Отобранные образцы испытывают в 4 этапа:

- испытывают не разрушенный керн;
- испытывают каждый слой керна в естественном состоянии;
- испытывают переформованные образцы асфальтобетона;
- определяют свойства смесей и их компонентов.

Испытание кернов проводят на месте отбора проб в передвижной лаборатории. При ее отсутствии, после визуального осмотра и маркировки (место взятия проб, дата отбора, номера створа, пробы и керна) образцы доставляют в лабораторию и испытывают в день отбора проб.

Если керн не удалось отобрать на всю глубину дорожной одежды целиком (один или несколько слоев могут рассыпаться), необходимо собрать весь материал разрушенного слоя в отдельный пакет и записать толщину данного слоя в конструкции (на основании замера толщины слоя в высверленном отверстии).

2.4.5.2. Толщину слоя в конструкции замеряют с помощью глубинного щупа. Испытание не переформованных кернов проводят в следующей последовательности:

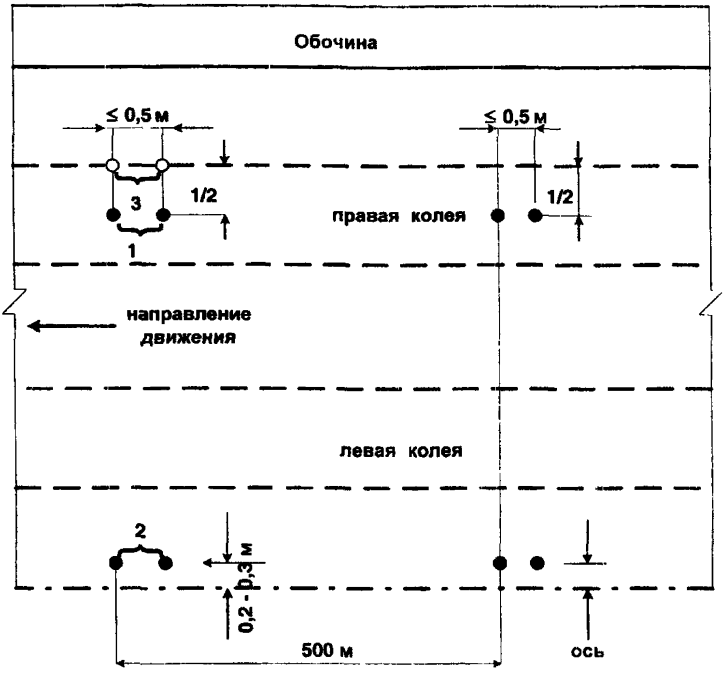



***Рис. 2.4. Схема отбора проб из покрытия:***
***1, 2, 3 – места (точки) отбора проб, расположенные в одном створе, на одной полосе движения, точка 1 расположена на дне внешней колеи (ближе к обочине); точка 2 удалена от оси дороги либо от линии, разделяющей полосы движения на 0,2-0,3 м; точка 3 расположена на вершине гребня выпора правой колеи***

- внешний осмотр керна;
- записывают в журнал маркировку пробы (место взятия проб, номера створа, пробы и керна);
- выполняют внешний осмотр образцов, описывают состояние каждого слоя в керне;
- нумеруют слои;
- определяют толщину слоя по результатам измерения толщины в 3-х точках с точностью до 0,5 мм. За толщину слоя принимают среднее арифметическое значение трех измерений;
- керны разделяют на отдельные слои и определяют:

1. прочность сцепления между слоями;

2. среднюю плотность слоев дорожной одежды в кернах:

$$\rho = \frac{m}{v},$$

где $\rho$ – средняя плотность слоя в конструкции, кг/м$^3$;

m – масса образца на воздухе (взвешивают с точностью до 0,01 г);

v – объем образца (определяют методом гидростатического взвешивания или рассчитывают), м$^3$;

- определяют влажность слоя в естественном состоянии (с точностью до 0,01%);
- рассчитывают водонасыщение и набухание слоев.

2.4.5.3. Испытание переформованных образцов

Испытания физико-механических свойств материалов в конструктивных слоях дорожной одежды проводят в соответствии с действующими нормативными документами [14].

Материал каждого из слоев асфальтобетона (одна проба – 2 керна) разогревают в термостате и изготавливают цилиндрические образцы в соответствии с ГОСТ 12801-98 п. 6.

Проводят следующие испытания:

- определяют среднюю плотность асфальтобетона по методике ГОСТ12801-98 п.7, как среднее арифметическое трех измерений;
- рассчитывают коэффициент уплотнения каждого слоя по методике ГОСТ12801-98;
- определяют водонасыщение асфальтобетона по методике ГОСТ12801-98 п. 13;
- определяют набухание в соответствии с ГОСТ12801-98 п. 14.;
- определяют предел прочности при сжатии в соответствии с методикой ГОСТ 12801-98 п. 15 при температурах +50, +20 и 0°С;
- определяют предел прочности на растяжение при расколе в соответствии с ГОСТ 12801–98 п.16;
- определяют предел прочности на растяжение при изгибе и показатели деформативности в соответствии с ГОСТ 12801–98. п.17;
- определяют характеристики сдвигоустойчивости в соответствии с ГОСТ 12801-98 п.18;
- определяют водостойкость в соответствии с методикой ГОСТ 12801-98 п.19;

- определяют водостойкость при длительном водонасыщении. Допускается проводить испытания ускоренным методом в соответствии с ГОСТ 12801-98 п.21.

2.4.5.4. Испытание смесей

После проведения испытаний (п.2.4.5.3) переформованные образцы нагревают в термостате до 80°, превращают в смесь и определяют:

- истинную плотность смесей определяют пикнометрическим методом в соответствии с ГОСТ 12801-98 п.10;
- среднюю плотность минеральной части в соответствии с ГОСТ 12801-98 п. 9 или расчетным путем в соответствии с ГОСТ 1280 -98 п. 8;
- пористость минерального остова и остаточную пористость в соответствии с методикой ГОСТ 12801-98 п. 11 п. 12 соответственно;
- качество сцепления вяжущего с минеральной частью асфальтобетонной смеси в соответствии с методикой ГОСТ 12801-98 п. 24.

2.4.5.5. Определяют состав асфальтобетонной смеси и проводят оценку качества составляющих компонентов. Для этого выполняют экстрагирование битума из асфальтобетонной смеси. Определяют количество битума в смеси и зерновой состав минеральной части асфальтобетонной смеси

Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 12801-98 п. 23. После окончания экстрагирования (извлечения битума из асфальтобетонной смеси) экстракт (растворенный битум) высушивают и взвешивают компоненты смеси:

- содержание битума в смеси из покрытия определяют с точностью до 0,1%;
- зерновой состав асфальтобетонной смеси после экстрагирования определяют в соответствии с методикой ГОСТ 12801-98 (п. 23.2);

2.4.5.6. Качество битума после экстрагирования из смеси определяют путем следующих испытаний:

- глубина проникания иглы по методике ГОСТ 11501-78*;
- растяжимость по методике ГОСТ 11505-76*;
- температура размягчения по кольцу и шару по методике ГОСТ 11506-73*.
- температура хрупкости по Фраасу по методике ГОСТ11507-78*;

- сцепление битума с мрамором или песком по методике ГОСТ 11508-74 .

2.4.5.7. Качество щебня и песка в асфальтобетонной смеси и конструктивных слоях дорожной одежды после экстрагирования определяют в соответствии с методикой [12] и в соответствии с требованиями [4]:

- определяют форму зерен щебня и рассчитывают количество зерен пластинчатой и игольчатой формы;
- определяют прочность щебня и марку по дробимости при сжатии в цилиндре в водонасыщенном состоянии;
- определяют марку по истираемости в полочном барабане;
- определяют морозостойкость щебня;
- определяют содержание пылеватых и глинистых частиц;
- определяют зерновой состав щебня.

Слои основания обследуют в соответствии с требованиями нормативных документов [4, 5, 9, 12,13].

Качество песка оценивают в соответствии с требованиями [5]:

- определяют зерновой состав песка и рассчитывают модуль крупности;
- определяют количество пылеватых и глинистых частиц;
- для песков из отсевов дробления горных пород определяют марку по прочности;
- определяют количество природного и дробленого песка в полученной пробе;
- определяют пустотность и истинную плотность.

2.4.6. Обработка результатов обследования

Составляют сводные ведомости состояния дорожной одежды и свойств материалов. в которые заносят средние арифметические значения всех испытанных свойств. Формы ведомостей приведены в приложении 1, табл. П.1.3-П.1.9.

Порядок заполнения ведомостей:

- ведомость состояния конструктивных слоев дорожной одежды (табл. П.1.3) заполняют результатами испытаний неразрушенных слоев дорожной одежды в пробах (п.2.4.5.2);
- ведомость свойств слоев дорожной одежды в кернах (табл. П.1.4) заполняют результатами испытаний неразрушенных слоев дорожной одежды в пробах (п. 2.4.5.3);
- в ведомость физико-механических свойств слоев дорожной одежды (табл. П.1.5.) заносят результаты испытания переформованных образцов проб (п. 2.4.5.4 );

- зерновой состав минеральной части асфальтобетона и количество битума в смеси определяют (п. 2.4 5.5) и заносят в ведомость (табл. П.1.6);
- строительно-технические свойства вяжущего после экстрагирования (п.2.4.5.6) заносят в табл. П.1.7;
- строительно-технические свойства щебня и песка в каждом слое дорожной одежды определяют в соответствии с п. 2.4.5.7 и заносят в табл. П.1.8 и П.1.9 соответственно.

### *2.5. Анализ состояния слоев дорожной конструкции*

2.5.1. Анализ состояния дорожной конструкции проводят в четыре стадии. На первой стадии проводят анализ однородности толщины каждого слоя в пределах одного створа в точках 1, 2 и 3. Отмечают изменения в толщине слоев (табл. П.1.3, П.1.4). Слой, в котором отмечен разброс свойств в одном створе более чем на 10%, считают нестабильным, подверженным пластическим деформациям. В таблице отмечают номер створа и слой, в котором отмечены нестабильные свойства.

2.5.2. На второй стадии проводят анализ однородности свойств нестабильного слоя по длине участка. Для этого оценивают однородность свойств в одноименных пробах (дно колеи или граница раздела полос движения, или гребень выпора колеи) по длине участка. Однородность свойств в одноименных точках по длине участка подтверждает выявленную нестабильность (п. 2.5.1) или позволяет судить о случайности полученного результата.

2.5.3. На третьей стадии определяют причины потери стабильности слоев дорожной одежды путем анализа соответствия свойств, слоев дорожной одежды и составляющих их компонентов требованиям нормативных документов [4, 5, 6, 7, 8,9, 10, 11]. Для этого проводят анализ результатов исследования табл. П.1.4 – П.1.9.

При анализе зернового состава смесей отмечают изменения в составе смесей одного створа и отклонения в составе от проектных значений. Слои, в которых отмечено дробление щебня или качество материалов (п. 2.4.2-2.4.5) не соответствует требованиям нормативных документов более чем на 5%, считают слабыми, нуждающимися в укреплении или замене (полной или частичной).

Составляют ведомость (П.1.10) нестабильных слоев дорожной одежды, в которой отмечают расположение участка на дороге, номер слоя и свойства, по которым данный слой признан нестабильным.

Составляют ведомость расположения участков, материал которых не пригоден для повторного использования.

2.5.4. Завершающим этапом обследования участков дорог с колеей является составление заключения о качестве материалов в слоях дорожной одежды и их соответствии требованиям нормативных документов. В заключение необходимо указать места колеи, на которых обнаружены нестабильные слои, возможные причины потери стабильности и возможности дальнейшей работы слоя в дорожной конструкции. Следует отметить возможности вторичного использования материалов дефектных слоев в дорожной одежде и предложить способы ремонта участка дороги с колеей.

## 3. Классификация методов борьбы с колееобразованием на автомобильных дорогах и условия их применения

### *3.1. Основные направления предупреждения и ликвидации колеи на дорогах*

3.1.1. Методы борьбы с колееобразованием можно разделить на четыре основные группы:

- организационно-технические мероприятия по снижению темпов колееобразования;
- методы ликвидации колей без устранения или с частичным устранением причин образования колеи;
- методы устранения причин образования колеи;
- методы предупреждения образования колей.

3.1.2. Метод борьбы с колееобразованием выбирают в каждом конкретном случае на основе анализа результатов обследования общего состояния дороги, выявления причин образования колей, их глубины, геометрических параметров, протяженности, интенсивности и состава движения, с учетом финансовых и материально-технических возможностей, сроков выполнения работ по ликвидации колей и других факторов.

3.1.3. Как правило, окончательное решение о выборе метода и технологии ремонта должно приниматься на основе технико-экономического сравнения вариантов. При этом одновременно должны быть рассмотрены несколько способов. Назначение вариантов методов и технологий борьбы с колееобразованием проводят с учетом состава работ и условий их применения.

### *3.2. Организационно-технические мероприятия по снижению темпов колееобразования*

Организационно-технические мероприятия по снижению темпов колеобразования включают:

- ограничения движения тяжелого грузового автотранспорта в дневное время суток при высоких положительных температурах с переводом движения на ночное время;
- ограничения движения тяжелого грузового автотранспорта в весенний период оттаивания грунтов земляного полотна;
- строгий весовой контроль за соблюдением требований по фактической величине нагрузки на ось автомобиля;
- организацию равномерного распределения движения по всей ширине проезжей части (при наличии широкой проезжей части и краевых укрепительных полос);
- ликвидацию узких мест, мест снижения скорости движения грузовых автомобилей, заторов и остановок с целью сокращения продолжительности приложения нагрузок.

Организационно-технические мероприятия целесообразно применять совместно с методами ликвидации колей без устранения или с частичным устранением причин колееобразования.

### *3.3. Методы ликвидации колей без устранения или с частичным устранением причин колееобразования*

3.3.1. Методы ликвидации колей без устранения или с частичным устранением причин колееобразования включают:

- выравнивание поперечного профиля путем заполнения колеи ремонтным материалом;
- выравнивание поперечного профиля путем срезания гребней выпора по обеим сторонам колеи, с заполнением оставшейся части колеи ремонтным материалом или без заполнения.

3.3.2. Ликвидация колей и восстановление поперечной ровности полосы движения или всей проезжей части без учета свойств нестабильных слоев покрытия или дорожной одежды позволяет достаточно просто устранить колею и обеспечить безопасное движение автомобилей на короткий срок, по истечении которого колея образуется вновь. Этот способ рекомендуется как временная мера для восстановления поперечного профиля и ликвидации колеи глубиной

до 30 мм при содержании дорог, а также для ликвидации колей глубиной до 45 мм при ремонте дорог в условиях существования ограничения по финансовым и материально-техническим ресурсам. Целесообразно сочетать указанные меры с организационно-техническими мероприятиями по снижению темпов колееобразования.

### *3.4. Методы ликвидации колей с устранением причин их образования*

Методы ликвидации колей с устранением причин их образования включают:

- стабилизацию или удаление и замену нестабильного слоя без усиления и с усилением дорожной одежды;
- повышение жесткости нижележащих слоев покрытия;
- стабилизацию или замену грунтов активной зоны земляного полотна;
- осушение и обеспечение отвода поверхностных и грунтовых вод.

Методы ликвидации колей с устранением причин их образования позволяют на длительный срок обеспечить требуемую ровность покрытия (допустимую глубину колеи) на эксплуатируемых дорогах. Метод рекомендуется для применения во всех случаях образования колей на существующих дорогах и, прежде всего, при ремонте дорог с глубиной колеи до 45 мм и при капитальном ремонте дорог с глубиной колеи более 45 мм.

### *3.5. Методы предупреждения образования колей*

Методы предупреждения образования колей включают:

- расчет и конструирование дорожных конструкций (дорожной одежды и земляного полотна) с учетом накопления остаточной деформации в допустимых пределах;
- устройство верхних слоев покрытия из материалов с высокой сдвигоустойчивостью и сопротивлением износу, а слоев основания – из материалов с высоким сопротивлением структурным разрушениям и образованию остаточных деформаций;
- использование армированных слоев в покрытиях и жестких слоев в основаниях;
- устройство земляного полотна из дренирующих материалов;
- устройство дренажей и систем отвода воды.

Мероприятия по предупреждению образования колеи должны быть предусмотрены в проектах на строительство, реконструкцию и капитальный ремонт автомобильных дорог всех категорий, когда расчеты показывают вероятность образования колеи, глубина которой в пределах расчетного срока службы покрытия и дорожной одежды может превышать допустимые пределы.

## 4. Основные виды работ по ликвидации колей без устранения или с частичным устранением причин колееобразования

### *4.1. Заполнение колей ремонтным материалом*

4.1.1. Простейший метод ликвидаций колей без устранения причин колееобразования состоит в заполнении колеи ремонтным материалом горячим или холодным способами. Метод применяют для ликвидации колей глубиной не более 30 – 45 мм при отсутствии четко выраженных краев колеи и гребней выпора. При глубине колеи более 60 мм ремонтный материал укладывают не менее чем в два слоя. Каждый из слоев уплотняют (коэффициент уплотнения как выравнивающего, так и верхнего слоя должен быть не менее 0,99).

4.1.2. В качестве ремонтного материала для выравнивающего слоя могут быть использованы: чистый высокопрочный щебень, обработанный битумом или битумной эмульсией в установке; асфальтобетонная смесь; слои поверхностной обработки; открытые битумоминеральные смеси; эмульсионно-минеральные смеси и др. Не допускается применение щебня из гравия. Требования к ремонтному материалу приведены в п.9.1-9.5. Размер фракций щебня зависит от глубины колеи, количества слоев и применяемой технологии устройства выравнивающего слоя. Выравнивающий слой должен быть обязательно перекрыт слоем асфальтобетона (на дорогах I-II категорий) или слоем поверхностной обработки (на дорогах III-IV категорий).

### *4.2. Подготовительные работы*

Подготовительные работы включают: очистку покрытия от пыли и грязи, заделку трещин и выбоин, срезку неровностей и устройство корыта по колее, очистку корыта и нанесение вяжущего (битума или эмульсии) на стенки корыта для обеспечения сцепления старого покрытия с ремонтным материалом.

4.2.1. Корыто глубиной до 30 мм устраивают фрезой или специальным ножом-насадкой, приваренным (или на болтах) к отвалу автогрейдера. Корыто устраивают в тех случаях, когда ремонтный материал укладывают в один слой толщиной 30-50 мм в колею без перекрытия его верхним слоем. Допускается не устраивать корыто при заполнении колеи эмульсионно-минеральной смесью, слоем поверхностной обработки, открытыми битумоминеральными смесями, а также при укладке по выравнивающему слою ремонтного материала дополнительного слоя покрытия, защитного слоя или слоя износа на всю ширину проезжей части.

4.2.2. Подгрунтовку не производят, если в качестве ремонтного материала используют битумоминеральные смеси, а на дне колеи имеется выступающий битум, при условии, что выравнивающий слой будет перекрыт верхним слоем.

4.2.3. Оборудование для укладки ремонтного материала должно иметь устройство, позволяющее изменять ширину полосы укладки от 0,5 до 1 м и более. Каждый уложенный слой уплотняют специальным уплотняющим оборудованием с шириной рабочего органа меньше ширины колеи. Для этого используют трамбовки, вибрационные плиты, а затем катки. Коэффициент уплотнения должен быть не менее 0,99. Укладку второго слоя ведут сразу после уплотнения нижнего слоя, на горячий нижний слой.

4.2.4. В исключительных случаях (при отсутствии специального оборудования) заполнение колеи ремонтным материалом может производиться при помощи автогрейдера, а уплотнение - колесами тяжелого грузового автомобиля.

### *4.3. Укладка выравнивающего слоя*

Заполнение колей ремонтным материалом может производиться одним из следующих способов:

- поверхностной обработкой в один или два слоя;
- укладкой черного щебня без заклинки или с заклинкой;
- укладкой горячей асфальтобетонной смеси;
- укладкой в один или два слоя холодной эмульсионно-минеральной смеси типа «Сларри Сил» или рапидасфалы.

4.3.1. Поверхностную обработку в один или два слоя рекомендуется выполнять машиной с синхронным распределением вяжущего и щебня, способной легко изменять ширину полосы распределения. К таким машинам относятся «Чипсиллер-40», выпускаемый ГУП «Росдортех» (г. Саратов), машины фирмы «Сэкмэр», «Савалка» и др.

4.3.1.1. Колея глубиной до 15 мм может быть устранена поверхностной обработкой по полосе наката шириной до 0,8 м за один проход с использованием щебня фракции 5-10 мм. Колея глубиной до 30 мм устраняется поверхностной обработкой с использованием фракции 5-10 и 10-15 мм (рис. 4.1). Для ликвидации мелких неровностей, шелушения и выкрашивания, закрытия мелких трещин, придания поверхности покрытия однородных сцепных свойств рекомендуется устраивать поверхностную обработку на всю ширину покрытия.

4.3.1.2. В качестве вяжущего применяют вязкие дорожные битумы, нагретые до температуры, обеспечивающей их разлив. Для лучшего прилипания битума к щебню в битум вводят поверхностно-активные добавки (ПАВ) или применяют битум, модифицированный полимером (ПБВ). Движение открывают после остывания битума, с ограничением скорости движения автомобилей до 40 км/час на период формирования слоя.

Поверхностную обработку на горячем битуме устраивают в сухую погоду при температуре воздуха не ниже +15 °С.

4 3.1.3. При использовании вместо битума катионной битумной эмульсии (ЭБК) работы можно производить на влажном покрытии при температуре воздуха не ниже +5 °С, что существенно продлевает строительный сезон. Рекомендуется использовать эмульсии типа ЭБК-2 с концентрацией битума 65-70%. Движение автомобилей открывают сразу после распада эмульсии и высыхания воды.

4 3.1.4. Нормы расхода вяжущего должны устанавливаться в каждом конкретном случае, с учетом того, что поверхностная обработка производится по старому покрытию, которое может иметь избыточное или недостаточное количество вяжущего и различные виды разрушений поверхности (трещины, шелушение, выкрашивание), на гидроизоляцию которых расходуется часть битума. Кроме того, на расход вяжущего существенно влияет интенсивность движения тяжелых грузовых автомобилей. На дорогах с малой интенсивностью – расход вяжущего может быть увеличен на 15-20%, а с высокой интенсивностью - уменьшен на 10-15%. Ориентировочный расход вяжущего принимают как 1/10 часть расхода щебня, измеренного в литрах. При этом (для эмульсии), под остаточным вяжущим понимают количество битума, оставшегося после распада битумной эмульсии и испарения воды. Требования к качеству щебня приведены в [4] и п. 9. настоящих рекомендаций.

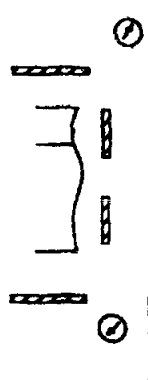
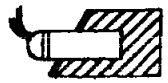
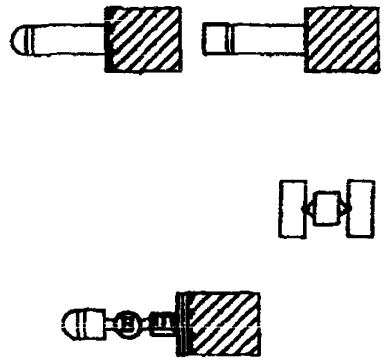
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Очистка и сушка фрезерованной поверхности | Распределение битума, распределение щебня, прикатка щебня | Очистка слоя от неприклеив-шихся частиц | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Поливомоечная машина - КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО - 804 | Автогудронатор, щебнераспределитель, каток гладковальцевый легкий, массой - 2 - 4 т, комбинированная машина для устройства поверхностной обработки - Чипсилер | Поливомоечная машина с щеткои КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО -804 | Автокран, грузовой автомобиль |

*Рис.4.1. Примерная схема производства работ по ликвидации колей малой глубины путем устройства слоя поверхностной обработки*

4.3.1.5. На покрытиях с наличием сетки трещин в колее рекомендуется устраивать двухслойную поверхностную обработку. Для этого на распределенное вяжущее рассыпают щебень фракции 10-15 мм и прикатывают легким катком. Затем наносят второй слоя вяжущего, рассыпают щебень фракции 5-10 мм или 2-5 мм и уплотняют. Требования к щебню для поверхностной обработки приведены в п. 9.3.

4.3.1.6. Уплотнение слоев поверхностной обработки производят катками на пневматическом ходу. Количество проходов катков назначают с учетом интенсивности движения автомобилей. Для дорог с высокой интенсивностью движения достаточно несколько проходов катка по одному следу. На дорогах с низкой интенсивностью количество проходов катка должно быть увеличено, чтобы обеспечить формирование монолитного слоя поверхностной обработки. Общее количество проходов катка по одному следу колеблется от 1 до 5.

4.3.2. Заполнение колеи черным щебнем может производиться в один слой без заклинки или в два и более слоев с заклинкой. Способ работы назначают в зависимости от глубины колеи. Заполнение колеи черным щебнем допускается на дорогах третьей и четвертой категорий с последующим перекрытием слоем износа.

4.3.2.1. Заполнение колеи глубиной до 30 мм производится укладкой в один слой черного щебня фракции 5-10 или 10-15 мм толщиной на 10-15% больше глубины колеи и его уплотнением. Заполнение колеи глубиной до 45 мм черным щебнем может производиться методом заклинки. Сначала укладывают слой щебня фракции 10-15 мм или 15-20 мм и прикатывают. Затем укладывают слой щебня фракции 10-15 мм и уплотняют катком массой 10-13 т по 6-8 проходов по одному следу, виброплитой, трамбовкой или проходами тяжелых грузовых автомобилей.

4.3.2.2. Укладка черного щебня производится щебнераспределителем или асфальтоукладчиком с регулируемой шириной полосы укладки. Допускается производить укладку черного щебня с применением автогрейдера. В этом случае черный щебень из самосвала раскладывают вдоль колеи в виде валика или отдельных куч, а затем разравнивают в колее отвалом автогрейдера.

4.3.2.3 Перед укладкой черного щебня производят подгрунтовку жидким битумом или битумной эмульсией из расчета 0,5-0,9 л/м$^2$. Подгрунтовку не проводят, если на дне колеи имеется выступивший битум.

4.3.2.4. После заполнения колеи черным щебнем необходимо уложить тонкий защитный слой на всю ширину полосы движения или проезжей части для придания однородности поверхности покрытия по внешнему виду и сцепным качествам, ликвидации шелушения, выкрашивания, мелких трещин и других мелких деформаций и разрушений, защиты покрытия от проникания воды. Защитный слой может быть устроен методом поверхностной обработки или укладки эмульсионно-минеральной смеси типа «Сларри Сил». В исключительных случаях допускается устройство защитного слоя на ширину уложенного в колею ремонтного материала.

4.3.3. Ликвидацию колей без устранения причин колееобразования на дорогах I-IV категорий можно осуществлять путем устройства выравнивающего или дополнительного слоя покрытия из сдвигоустойчивого щебенистого высокоплотного или плотного асфальтобетона типа «А» или «Б».

4.3.3.1. Колея глубиной до 25 мм при отсутствии гребней выпора и других неровностей может быть ликвидирована путем устройства выравнивающего слоя на ширину колеи с устройством нового слоя износа из мелкозернистой асфальтобетонной смеси на всю ширину полосы движения. Этот метод эффективен на ранней стадии колееобразования.

4.3.3.2. Укладку выравнивающего слоя на ширину колеи из асфальтобетонной смеси применяют при глубине более 25 мм и отсутствии явно выраженных гребней выпора по краям колеи. Асфальтобетонной смесью заполняют колею в один слой до поверхности покрытия с учетом коэффициента запаса. Уплотнение проводят вибротрамбовками или виброплитами на ширину колеи. Предварительно заделывают выбоины и трещины старого покрытия: очищают его от пыли и грязи и подгрунтовывают жидким битумом или битумной эмульсией.

4.3.3.3. Слои износа или защитные слои рекомендуется устраивать методом поверхностной обработки или укладкой тонкослойных покрытий из щебнемастичного асфальтобетона (ЩМА), или эмульсионно-минеральной смеси на всю ширину проезжей части. Этот способ рекомендуется для предупреждения образования выбоин, раскрытия шва между корытом и старым покрытием, придания всей поверхности проезжей части однородных свойств, устранения мелких деформаций и разрушений, повышения сцепных качеств старого покрытия.

4.3.3.4. Колея средней глубины (более 25 мм) при наличии гребней выпора и отсутствии оборудования для их срезания может быть устранена путем укладки выравнивающего слоя из многощебенистого асфальтобетона в колею и по всей ширине покрытия с последующей укладкой выравнивающего и дополнительного слоя асфальтобетона. Этот способ может быть рекомендован при необходимости одновременного устранения колеи и других неровностей и дефектов покрытия, а также при необходимости усиления дорожной одежды. В последнем случае необходимо применять меры по борьбе с отраженными трещинами.

4.3.3.5. При глубине колеи более 25 мм необходимо устраивать выравнивающий слой. Недопустимо в один прием укладывать выравнивающий и дополнительный слой асфальтобетона, из-за различной толщины слоя асфальтобетона по ширине проезжей части.

4.3.4. Заполнение колей глубиной до 30 мм и устранение других неровностей на покрытии может производиться с применением эмульсионно-минеральных смесей типа «Сларри Сил», «Рапид-асфальт» и др., которые могут быть уложены в один – два – три слоя (рис. 4.2).

4.3.4.1. Эмульсионно-минеральная смесь состоит из высококачественного щебня, дробленого песка, минерального порошка, добавок в виде цемента или извести, битумной эмульсии с добавками полимеров и ПАВ. Портландцемент или молотая гашеная известь в количестве 1-3% от массы щебня вводятся для регулирования времени распада эмульсии и консистенции смеси. Смеси минеральных материалов бывают различного фракционного состава, но наиболее часто для ликвидации колеи и устройства защитных слоев применяют смеси каменного материала фракции 0-5, 0-8, 0-10 мм. **В качестве вяжущего используют 65%-ную катионную битумную эмульсию типа ЭБК-3 со скоростью распада от 3 до 60 секунд, обычно модифицированную латексом.

4.3.4.2. Работы по приготовлению смеси производятся специальной машиной, которая на одном шасси имеет смеситель, емкость для каменного материала и добавок, битумной эмульсии и воды, а также распределительную коробку ящичного типа с поперечными шнеками, которые обеспечивают возможность регулировать ширину и толщину укладываемого слоя. Исходные материалы загружают в емкость на базе, расположенной вблизи места работ, а смесь готовится в процессе движения смесителя к месту укладки. Для приготовления и укладки смесей имеется широкая номенклатура машин, таких как AZKO NOBEL (Швеция), WIERO (Германия), ELMA (Италия), Minimac и Macroparker (США) и другие.

Таблица 4.1

Состав эмульсионно-минеральной смеси

| Состав смеси | Вид смеси | |
|---|---|---|
| | 0-5 | 0-8 |
| Щебень, % по массе крупностью: | | |
| 2-5 мм | 40-70 | 15-20 |
| 5-8 мм | - | 30-60 |
| Дробленый песок | остальное | остальное |
| Минеральный порошок, % по массе | 6-10 | 6-10 |
| Битум, содержащийся в эмульсии, % по массе | 6,5-8,5 | 5,0-7,0 |

** ***Примечание.*** Порядок подбора состава смеси изложен в «Методических рекомендациях по устройству защитного слоя износа из литых эмульсионно-минеральных смесей типа «Сларри Сил». Москва, Информавтодор 2001, 32 с.

4.3.4.3. Устранение колей с применением эмульсионно-минеральных смесей может производиться без устройства и с устройством дополнительного слоя износа (рис. 4.2).

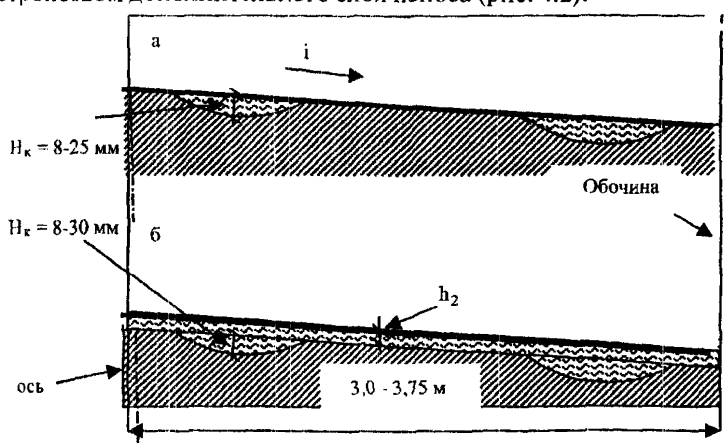



***Рис. 4.2. Ликвидация колей с применением эмульсионно-минеральных смесей:***
***а – без устройства дополнительного слоя износа; б – с устройством дополнительного слоя износа; $H_к$ – глубина колеи; $h_2$ – толщина слоя износа***

Способ устранения колей без устройства дополнительного слоя износа применяют, когда за пределом колей не имеется мелких повреждений и деформаций, а сцепные качества покрытия отвечают нормативным требованиям. В этом случае колея заполняется эмульсионно-минеральной смесью на всю глубину с расходом 20-40 кг/м² колеи за 1-2 прохода распределителя.

Способ устранения колей с устройством дополнительного слоя износа из эмульсионно-минеральной смеси применяют для одновременного устранения мелких деформаций и создания однородной поверхности покрытия по всей ширине проезжей части. В этом случае в начале за один проход заполняют смесью обе колеи с расходом смеси 10-20 кг/м², а затем вторым проходом укладывают дополнительный слой износа на всю ширину полосы движения с расходом смеси 15-20 кг/м².

4.3.4.4. До начала укладки смеси должны быть выполнены подготовительные работы, в состав которых входят:

- заделка выбоин (ямочный ремонт);
- удаление крупных неровностей, срезка их холодной фрезой;
- заделка крупных трещин;
- удаление разметки из термопластика фрезерованием, разметка из краски может быть оставлена;
- очистка покрытия от пыли и грязи вакуумной уборочной машиной или промывкой водой под давлением 80-100 бар.

Покрытие перед укладкой может быть влажным, но без слоя воды на поверхности. Минимальная температура воздуха должна быть не ниже +5°С. Примерная схема производства работ приведена на рис. 4.3.

4.3.4.5. Слои из эмульсионно-минеральной смеси не требуют уплотнения, что является важным преимуществом при устройстве слоя. Уложенный небольшой толщины слой может быстро выделять воду, освобождающуюся при распаде битумной эмульсии уже через 20-30 мин. После этого открывают движение автомобилей, которое окончательно формирует и уплотняет слой.

### *4.4. Заполнение колеи инъекционным способом*

На небольших по протяжению участках заполнение колеи ремонтным материалом может выполняться инъекционным способом при помощи специального прицепного оборудования, применяемого

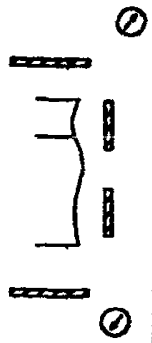
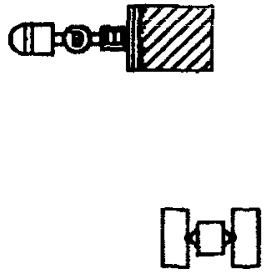
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Очистка и сушка фрезерованной поверхности | Приготовление эмульсионно-минеральной смеси, распределение и укладка | Очистка слоя от неприклеив-шихся частиц | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Поливомоечная машина - КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО - 804 | Комбинированная машина для приготовления эмульсионно-минеральных смесей, распределения и укладки; каток гладковальцевый легкий, массой 2 - 4 т | Поливомоечная машина с щеткой КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО -804 | Автокран, грузовой автомобиль |

*Рис. 4.3. Примерная схема производства работ по ликвидации колей малой глубины путем устройства слоя из эмульсионно-минеральных смесей*

для ямочного ремонта – пломбировщика марки БЦМ-24, УДМ-1, «Savalko» и др.

4.4.1. В качестве ремонтного материала используют щебень фракции 5-8 (10) мм и катионную битумную эмульсию ЭБК-2, с концентрацией 60-70% на битумах БНД 90/130 или 60/90. Расход эмульсии составляет 10 – 11% от массы щебня. Работы могут выполняться при температуре воздуха не ниже +5°С как на сухом, так и влажном покрытии.

4.4.2. Заделка колеи производится в едином цикле в следующей последовательности:

- очистка выбоин от пыли и грязи струей сжатого воздуха;
- подгрунтовка подогретой до 60-75°С эмульсией;
- заполнение колеи черным щебнем, который подается под давлением (инъектируется);
- присыпка уложенного черного щебня белым щебнем (толщина слоя в одну щебенку).

Движение открывают через 10-15 мин после окончания работ.

### *4.5. Ликвидация колей методом горячей регенерации (способ термопрофилирования)*

Этот способ рекомендуют для повышения ровности покрытия, при поверхностной колее глубиной не более 20 мм. Термопрофилирование покрытия проводят в следующей последовательности:

- разогревают покрытие на глубину 2-4 см (максимальная глубина разогрева слоя не может превышать 6 см);
- рыхлят его;
- добавляют 20-50 кг/м$^2$ новой асфальтобетонной смеси;
- разравнивают (выглаживают) новый слой;
- производят уплотнение.

4.5.1. Термопрофилирование выполняют с применением комплекта машин, включающего асфальторазогреватель и термопрофилировщик (ремиксер).

4.5.2. Наиболее экономичным является способ, состоящий из операций планировки, гомогенизации и регенерации битума без добавления новой смеси.

4.5.3. Этот метод эффективен для ликвидации колеи, образовавшейся за счет износа (истирания) верхнего слоя асфальтобетона

без образования пластической деформации, когда физико-механические свойства других слоев дорожной одежды стабильны.

4.5.4. Горячие способы регенерации нельзя дважды применять на одном и том же участке.

4.5.5. Рекомендуется на восстановленную поверхность покрытия уложить защитный слой или слой износа из горячего асфальтобетона.

### *4.6. Ликвидация колеи глубиной до 25 мм путем частичного или поверхностного фрезерования холодным способом*

При наличии гребней выпора повышение ровности может быть выполнено методом холодного фрезерования. Этот метод применяют в тех случаях, когда испытаниями установлено, что нижележащие слои дорожной одежды стабильны.

4.6.1. Частичное фрезерование заключается в срезании гребней выпора до дна колеи в целях быстрого исправления поперечной ровности и обеспечения безопасности движения.

4.6.2 Поверхностное фрезерование состоит в срезании слоя износа на всей ширине проезжей части или на ширине полосы движения. Глубина фрезерования должна быть больше глубины колеи на 3-5 мм, в целях выравнивания поперечного профиля и удаления выступившего в колее битума. Для обеспечения хорошей поперечной ровности фрезерование должно производиться широкой фрезой (шириной не менее 1800 мм), а разница между уровнем соседних полос фрезерования должна быть не более ±3,0 мм.

4.6.3. Фрезерование ведут по струне, натянутой вдоль оси дороги, или по картограммам. При фрезеровании по струне первый проход фреза проходит вдоль оси дороги. При последующих проходах фреза смещается к обочине, копируя ровность предыдущей полосы. Толщина слоя фрезерования зависит от возможностей фрезы и задачи фрезерования.

4.6.4. На свежую, незаезженную фрезерованную поверхность, после удаления остатков фрезерования и проведения подгрунтовки, необходимо уложить слой асфальтобетона или произвести двойную поверхностную обработку. Примерные схемы производства работ приведены на рис. 4.4, 4.5.

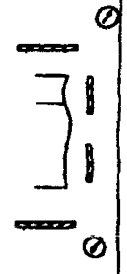
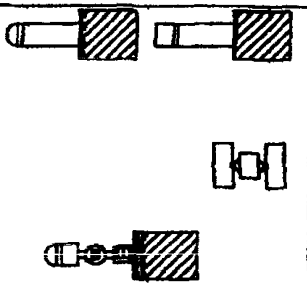
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Фрезерование слоя асфальтобетона | Очистка и сушка фрезерованной поверхности | Распределение битума, распределение щебня, прикатка щебня | Очистка слоя от неприклеившихся частиц | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Фреза - ФД - 500 (0,5 м), А - 8047 (0,4 м), ДС - 197 (0,25-1,0 м), ДЭ - 236 (1,0 м), 2000Vc, 2600Vc, 4200Vc W - 500 (0.5 m), 500DC (0,5 m). Автосамосвал | Поливомоечная машина - КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО - 804 | Автогудронатор, щебнераспределитель, каток гладковальцевый легкий массой 2 - 4 т, комбинированная машина для устройства поверхностной обработки - Чипсилер | Поливомоечная машина с щеткой КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО -804 | Автокран, грузовой автомобиль |

***Рис.4.4. Примерная схема производства работ по частичному или полному фрезерованию по ширине покрытия и устройству слоя поверхностной обработки***

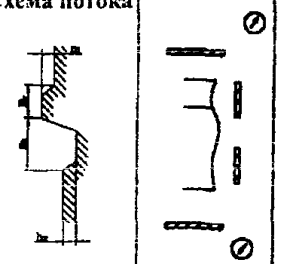
| 1 | Вид работ | Установка ограждении и знаков | Фрезерование слоя асфальтобетона | Очистка и сушка фрезерованной поверхности | Распределение битума, распределение щебня, прикатка щебня | Очистка слоя от неприклеившихся частиц | Снятие ограждении и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |  | | | | | |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Фреза - ФД - 500 (0,5 м), А - 8047 (0,4 м), ДС - 197 (0,25-1,0 м), ДЭ - 236 (1,0 м), 2000Vc, 2600Vc, 4200Vc W - 500 (0,5 m), 500DC (0,5 m). Автосамосвал | Поливомоечная машина - КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО - 804 | Автогудронатор, щебнераспределитель, каток гладковальцевый легкий, массой 2 - 4 т, комбинированная машина для устройства поверхностной обработки - Чипсилер | Поливомоечная машина с щеткой КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО - 804 | Автокран, грузовой автомобиль |

***Рис. 4.5. Примерная схема производства работ по частичному или полному фрезерованию по ширине покрытия и устройству защитного слоя поверхностной обработки***

## 5. Методы ликвидации колей с устранением причин колееобразования

### *5.1. Принципы ликвидации колей*

Главные принципы ликвидации колеи состоят в следующем:

- решение о выборе метода исправления должно быть результатом всестороннего анализа состояния существующей дорожной одежды и земляного полотна и причин образования колеи;
- способ ликвидации колеи должен соответствовать степени деформации дорожной одежды и причинам колееобразования;
- исправление должно иметь характер усиления, рассчитанного таким образом, чтобы после ремонта не допустить образования колеи или ограничить ее образование допустимой величиной в пределах установленного срока службы дорожной одежды;
- после ремонтов дорожной одежды и активной зоны земляного полотна не должно оставаться нестабильных слоев, чтобы они не стали главной причиной образования колеи;
- нельзя фрезеровать или перерабатывать старые слои из асфальтобетона и других битумно-минеральных смесей не на всю толщину, если результаты испытаний показали, что этот слой нестабилен. Такой слой необходимо заменить или переработать полностью;
- технология ликвидации колеи на мостах, путепроводах и эстакадах должна разрабатываться отдельно, с учетом особенностей конструкции мостового полотна конкретного объекта.

### *5.2. Методы регенерации старого асфальтобетона при ликвидации колей с устранением причин колееобразования*

Методы регенерации старого покрытия могут быть использованы для устранения причин образования колеи в тех случаях, когда нестабильный слой удаляют на всю глубину, а регенерированному слою придают требуемые свойства. Удаление нестабильного слоя может быть выполнено горячим или холодным способом. Регенерация старого асфальтобетона может быть проведена на месте укладки в покрытие в передвижной установке или на АБЗ с добавлением вяжущего и пластификатора, щебня или новой смеси для корректировки

гранулометрического состава обновленного асфальтобетона с целью стабилизации его физико-механических свойств. Определение вида и количества добавок, необходимых для обеспечения требуемых физико-механических свойств обновленного асфальтобетона, производится на основе тщательного лабораторного анализа характеристик материала старого покрытия и подбора состава и свойств обновленного асфальтобетона (табл. 5.1).

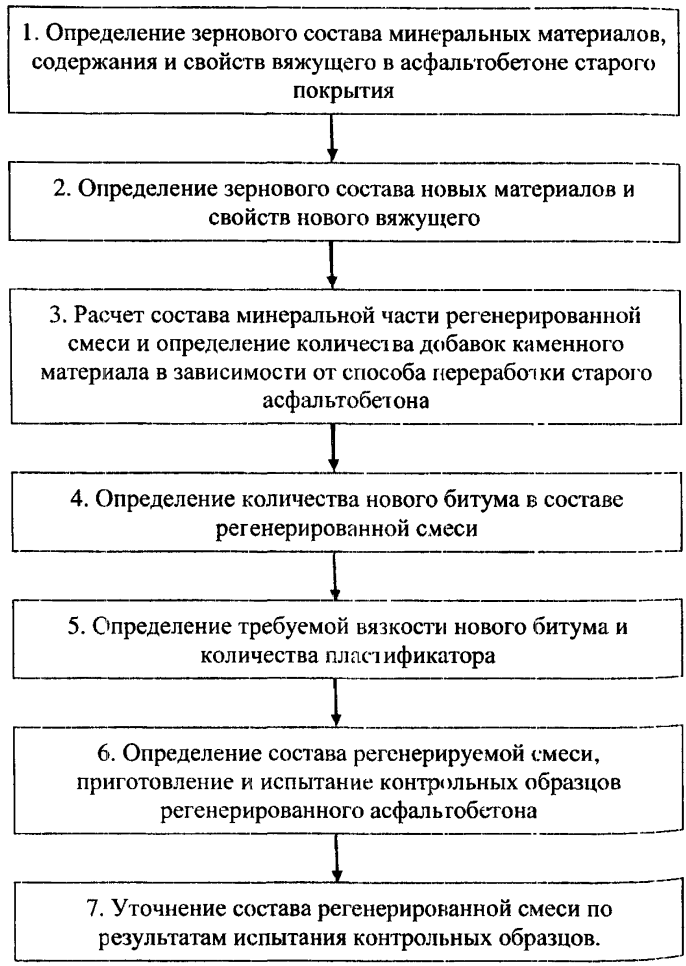
5.2.1. Горячие методы регенерации и повторного использования материалов слоев старой дорожной одежды нельзя применять в следующих случаях:

- когда слой содержит смесь смолы и дегтя. Такие слои могут быть отфрезерованы только холодным способом, а полученный гранулят может быть использован для обработки битумной эмульсией или цементом;
- если слой состоит из литого асфальта. Слои из литого асфальта удаляют только при очень высоких температурах с помощью специального оборудования, приспособленного для такого асфальтобетона. При разогреве слоя литого асфальта происходит выгорание битума. Полученная смесь не пригодна для повторного использования;
- если слой неоднородный, с большим числом заплат, которые не были ранее отфрезерованы;
- если слой имеет низкую прочность;
- слои поверхностной обработки и тонкослойные покрытия на модифицированных битумах;
- слои покрытия из битумоминеральных смесей толщиной менее 10 мм на жестком основании из-за возможности появления отраженных трещин;
- слои, содержащие избыточное количество вяжущего или пылеватых частиц, что требует большого количества добавок для корректировки смеси. Такие слои следует удалить и перерабатывать для других целей.

5.2.2. Для ликвидации колеи, причиной образования которой являются нестабильные свойства верхнего слоя асфальтобетона, рекомендуется метод ремиксинга (термосмешение) на глубину 4-6 см. Этот метод эффективен при условии достаточной прочности нижележащих слоев. Работы выполняются специальной машиной – ремиксером типа ДЭ-232, ремиксером фирмы «Вирген» и др. Технологические операции включают:

Таблица 5.1

Основные этапы проектирования состава регенерируемой смеси



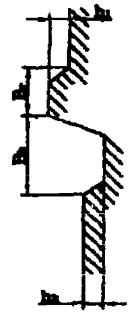
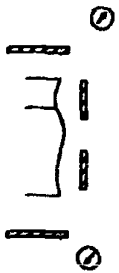
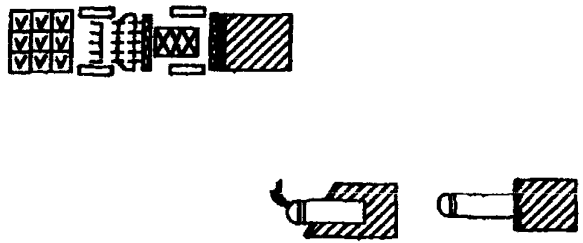
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Нагрев слоя асфальтобетона. Фрезерование слоя с измельчением и поперечным перемещением смеси.<br>Дозирование и распределение жидких компонентов.<br>Дозирование и распределение минеральных компонентов.<br>Перемешивание компонентов с распределением смеси.<br>Предварительное уплотнение смеси. | Окончательное уплотнение | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Терморемиксер ДЭ - 232 или фирмы Виртген с рабочими органами: Нагреватель инфракрасного излучения, фреза, дозатор и распределитель жидких вяжущих. Дозатор и распределитель каменных или порошкообразных материалов.<br>Смеситель, шнек-распределитель, трамбующий брус, виброплита. Автогудронатор, поливомоечная машина. | Каток пневмошинный, гладковальцевый, комбинированный | Автокран, грузовой автомобиль |

*Рис. 5.1. Примерная схема производства работ по регенерации старого покрытия на глубину 4-6 см с повторной укладкой регенерированного асфальтобетона*

Таблица № 1

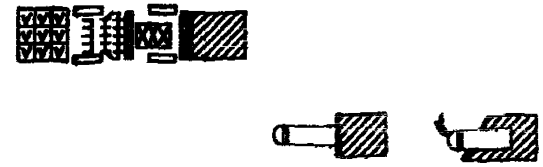
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Нагрев слоя асфальтобетона. Фрезерование слоя с измельчением и поперечным перемещением смеси.<br>*Дозирование и распределение жидких компонентов.*<br>Дозирование и распределение минеральных компонентов.<br>Перемешивание компонентов с распределением смеси.<br>Предварительное уплотнение смеси. | Окончательное уплотнение | Снятие ограждений и знаков |
| 2 | Схема потока  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Терморемиксер ДЭ - 232 или фирмы Виртген с рабочими органами: Нагреватель инфракрасного излучения, фреза, дозатор и распределитель жидких вяжущих. Дозатор и распределитель каменных или порошкообразных материалов.<br>Смеситель, шнек-распределитель, трамбующий брус, виброплита.<br>Каток Автогудронатор, поливомоечная машина. | Каток пневмошинный, гладковальцевый, комбинированный | Автокран, грузовой автомобиль |

Таблица №2

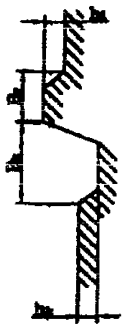
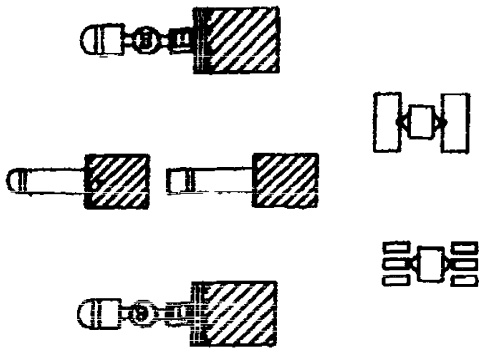
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Очистка слоя | Распределение битума, распределение щебня, прикатка щебня | Очистка слоя от неприклеившихся частиц | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока  |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Подметально-уборочная машина, поливомоечная машина | Комбинированная машина для устройства поверхностной обработки, автогудронатор комбинированная машина для устройства поверхностной обработки - Чипсилер, щебнераспределитель навесной на самосвал или самоходный каток на пневматических шинах, каток гладковальцевый легкий, массой 2 - 4 т | Поливомоечная машина с щеткой | Автокран, грузовой автомобиль |

***Рис. 5.2. Примерная схема производства работ по регенерации старого покрытия на глубину 4-6 см с повторной укладкой регенерированного асфальтобетона (табл. 1) и с устройством одно- или двухслойной поверхностной обработки или слоя из эмульсионно-минеральных смесей (табл. 2)***

- очистку покрытия от пыли и грязи;
- нагрев асфальтобетона;
- разрыхление и фрезерование старого покрытия;
- подачу снятого материала в смеситель;
- добавление пластификатора и минеральных компонентов (при необходимости) и перемешивание;
- распределение смеси, предварительное и окончательное уплотнение.

Существуют несколько вариантов такой технологии, что позволяет выбрать наиболее эффективную в каждом конкретном случае (рис. 5.2 и 5.3).

5.2.2.1. Корректировка гранулометрического состава старой смеси производится добавкой щебня, которая может подаваться в смеситель или рассыпаться непосредственно на старое покрытие перед его нагревом. Предпочтительным является дозирование старой асфальтобетонной смеси, подаваемой в смеситель. Объем добавляемого материала не превышает 25% общего объема.

5.2.2.2. Если глубина колеи более 30 мм, необходимо предварительно выполнить частичное фрезерование, срезание гребней выпора и отдельных неровностей, чтобы обеспечить равномерный разогрев поверхности покрытия. Частичное или поверхностное фрезерование необходимо, когда в колее выступила мастика, а также в тех случаях, когда требуется скорректировать поперечный уклон образовавшейся полосы.

5.2.2.4. Вместе с устранением колеи, возникшей в верхнем слое покрытия, по технологии, описанной в п. 5.2.2.1-5.2.2.3, можно произвести усиление дорожной одежды. Для этого на слой покрытия из скорректированной смеси укладывают дополнительный слой из новой сдвигоустойчивой асфальтобетонной смеси по технологии Ремикс-плюс (рис. 5.3). Все операции по укладке слоя покрытия из корректированной (обновленной смеси) и дополнительного слоя из новой смеси производятся одной машиной за один проход. Таким образом, новая горячая смесь укладывается на горячий слой, что способствует хорошему сцеплению слоев и их омоноличиванию.

При отсутствии оборудования, позволяющего реализовать технологию Ремикс-плюс, дополнительный слой укладывают обычным способом.

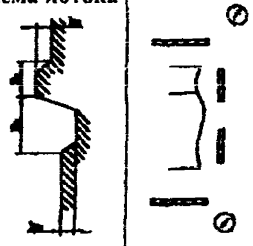
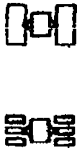
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Нагрев слоя асфальтобетона. Фрезерование слоя с измельчением и поперечным перемещением смеси. Дозирование и распределение жидких компонентов. Дозирование и распределение минеральных компонентов. Перемешивание компонентов с распределением смеси. Предварительное уплотнение смеси. | Завоз и укладка асфальтобетонной смеси | Окончательное уплотнение | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Терморемиксер ДЭ - 232 или фирмы Виртген с рабочими органами: нагреватель инфракрасного излучения, фреза, дозатор и распределитель жидких вяжущих, дозатор и распределитель каменных или порошкообразных материалов, смеситель, шнек-распределитель, трамбующий брус, виброплита. | Автосамосвал Асфальтоукладчик, ДС - 189, ДС - 195, ДС - 199, ДС - 179, ДС - 181, ДС - 200 | Каток пневмошинный, гладковальцевый, комбинированный | Автокран, грузовой автомобиль |

***Рис. 5.3. Примерная схема производства работ по регенерации старого покрытия на глубину 4-6 см с повторной укладкой регенерированного асфальтобетона и устройством нового слоя «Ремикс+»***

5.2.3. На дорогах III и IV категорий допускается ликвидация колеи с заменой нестабильного слоя только на ширину колей. В этом случае проводят вырезание корыта холодным фрезерованием по каждой колее на всю ее ширину, включая боковые гребни выпора на всю глубину слоев асфальтобетона с нестабильными свойствами (частичное фрезерование). Отфрезерованную поверхность высушивают и очищают, после чего укладывают и уплотняют в один или два слоя асфальтобетонную смесь (рис. 5.4).

После этого рекомендуется уложить на всю ширину полосы движения или на всю ширину проезжей части защитный слой из эмульсионно-минеральной смеси или слой поверхностной обработки для обеспечения однородных свойств и внешнего вида покрытия, предупреждения образования продольных трещин. Метод применяют при отсутствии ресурсов на замену нестабильных слоев на всю ширину полосы движения как временную меру, поскольку вероятность возникновения продольных трещин сохраняется.

### *5.3. Удаление нестабильных слоев*

Ликвидация колей методом удаления (стабилизации) нестабильных слоев и устройство покрытия из сдвигоустойчивого асфальтобетона рекомендуется на дорогах I-III категорий в тех случаях, когда один или несколько верхних слоев асфальтобетона являются нестабильными.

5.3.1. Удаление нестабильных слоев производят холодным фрезерованием на полную толщину. В случае, когда нестабильным является только верхний слой покрытия, фрезерование производят на глубину 4-5 см за один проход фрезы. Если нестабильным являются два или более слоя, то их удаляют полностью за два или более прохода фрезы по одному следу, чтобы обеспечить однородность гранулята, полученного из каждого слоя. Общая глубина фрезерования может составлять 10-12 см (рис. 5.5). Полученный гранулят может быть использован как материал для переработки и устройства слоев дорожной одежды на других дорогах или участках дорог горячим или холодным способом.

5.3.2. В случае, когда нестабильный слой залегает под стабильным, сначала необходимо снять стабильный слой, а затем нестабильный. Другой вариант состоит в том, что нестабильный слой может быть переработан и стабилизирован на месте методом ремиксинга и оставлен как нижний слой покрытия.

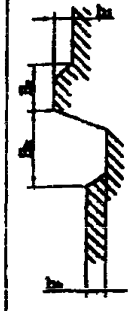
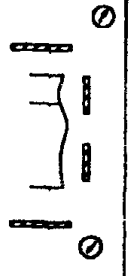
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Фрезерование слоя асфальтобетона | Очистка и сушка фрезерованной поверхности | Распределение битумной эмульсии | Завоз и укладка асфальтобетонной смеси | Уплотнение асфальтобетонной смеси | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |   |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Фреза - ФД - 500 (0,5 м), А - 8047(0,4 м), ДС - 197 (0,25-0,75 м), W - 500 (0,5 m), ДЭ - 236 (1,0 м) 500DC (0,5 m). Автосамосвал | Поливомоечная машина - КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО - 804 | Автогудронатор - СД - 203, ДС - 142 - 2Б, СДК - 100, БЦМ - 07 | Автосамосвал Асфальтоукладчик, ДС - 189, ДС - 195, ДС - 199, ДС - 179, ДС - 181, ДС - 200 | Виброплита - ВУ - 1500, ОУ - 80. Каток пневмошинный, гладковальцевый, комбинированный | Автокран, грузовой автомобиль |

***Рис. 5.4. Примерная схема производства работ по частичному фрезерованию покрытия и устройству слоя из асфальтобетона***

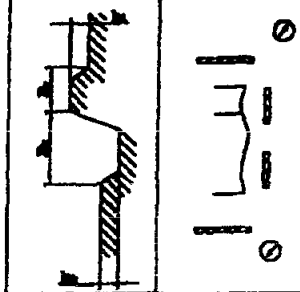
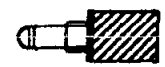
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Фрезерование слоя асфальтобетона | Очистка и сушка фрезерованной поверхности | Распределение битумной эмульсии | Завоз и укладка асфальтобетонной смеси | Уплотнение асфальтобетонной смеси | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Фреза - ФД - 500 (0,5 м), А - 8047(0,4 м), ДС - 197 (0,25-0,75 м), W - 500 (0,5 m), ДЭ - 236 (1,0 м), 2000 Vc, 2600 Vc 500DC (0,5 m). Автосамосвал | Поливомоечная машина - КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО - 804 | Автогудронатор - СД - 203, ДС - 142 - 2Б, СДК - 100, БЦМ - 07 | Автосамосвал Асфальтоукладчик, ДС - 189, ДС - 195, ДС - 199, ДС - 179, ДС - 181, ДС - 200 | Виброплита - ВУ - 1500, ОУ - 80. Каток пневмошинный, гладковальцевый, комбинированный | Автокран, грузовой автомобиль |

***Рис. 5.5. Примерная схема производства работ по фрезерованию покрытия и устройству слоя из щебнемастичного асфальтобетона***

5.3.3. После снятия нестабильных слоев укладывают один или несколько слоев из горячей смеси. Толщина слоев усиления рассчитывается исходя из прочности оставшейся дорожной одежды и интенсивности движения с учетом прогнозируемого накопления остаточной деформации дорожной конструкции.

5.3.4. В верхний слой покрытия рекомендуется укладывать асфальтобетонные смеси типа «А» и «Б», а также щебнемастичные смеси (ЩМА). Гранулометрический состав и физико-механические характеристики верхнего слоя асфальтобетонного покрытия должны быть обоснованы расчетом на устойчивость асфальтобетонного покрытия к образованию колеи по методике, приведенной в п. 8. Для повышения сдвигоустойчивости в состав асфальтобетона на модифицированном битуме рекомендуется вводить фибр (армирующие волокнистые наполнители), в количестве 1,5-3,5% по массе.

### *5.4. Усиление дорожной одежды*

В случае, когда главной причиной образования колеи является недостаточная прочность дорожной одежды, необходимо ее усиление с укладкой одного или двух слоев усиления из асфальтобетона или замена слоев основания.

Для повышения общей прочности дорожной одежды рекомендуется применять армирование сетками, геопластиками, георешетками пространственного типа (рис. 5.6-5.7).

5.4.1. Геосетки укладывают между слоями бетона и асфальтобетона (рис. 5.6, а) или между верхним и нижним слоем покрытия (рис. 5.6, б), или в верхнем слое покрытия. Место укладки сеток зависит от состояния нижележащего слоя, глубины фрезерования и условий эксплуатации.

Геосетки могут быть также размещены между слоями регенерации и новым асфальтобетоном, между слоями жесткого основания и нежесткими слоями, укладываемыми из смесей, приготовленных в установке или путем ремиксирования на дороге.

5.4.2. Усиление дорожной одежды может быть произведено с использованием материалов слоев существующей дорожной одежды, переработанных на месте способом смешения. В этом случае холодной фрезой фрезеруют покрытие или покрытие вместе с основанием. При этом получают асфальтогранулобетонную смесь. В эту смесь, при

необходимости, добавляют новый скелетный материал и вяжущее, перемешивают, распределяют по нижележащему слою основания и уплотняют. В результате получают асфальтогранулобетон (АГБ). В качестве вяжущего обычно используют катионную битумную эмульсию ЭБК-3, цемент, вспененный битум или комплексное вяжущее.

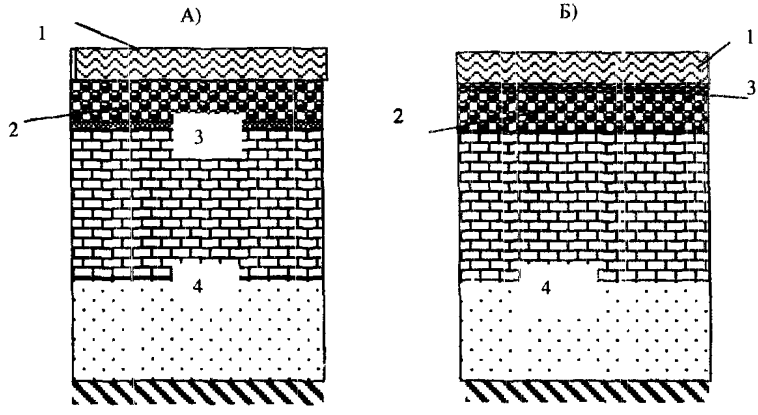



***Рис. 5.6. Варианты конструкций дорожной одежды с использованием материала слоев старой дорожной одежды:***
***1 – слой истирания из горячего асфальтобетона, армированного волокнистым материалом; 2 –слой дорожной одежды, полученный горячим методом смешения на дороге (машиной ремиксер);***
***3 – геосетка из базальтового волокна или стекловолокна;***
***4 – стабильные слои старой дорожной одежды, не подвергнутые фрезерованию***

5.4.3. На дорогах I-II категорий слой из асфальтогранулированного бетона толщиной от 8 до 30 см может служить как верхний слой основания на дорогах III-IV категорий или может быть уложен как нижний слой покрытия. В зависимости от интенсивности движения на слой асфальтобетона укладывают одно- или двухслойное покрытие или устраивают поверхностную обработку (рис. 5.8 и 5.9).

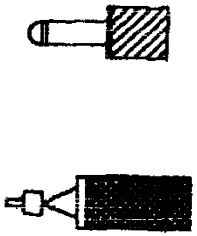
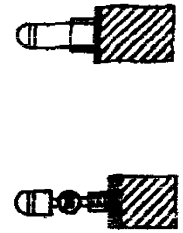
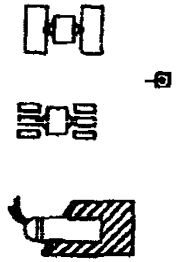
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Фрезерование слоя асфальтобетона | Очистка и сушка фрезерованной поверхности | Распределение битумной эмульсии и укладка геосинтетического материала | Завоз и укладка асфальтобетонной смеси или устройство поверхностной обработки | Уплотнение асфальтобетонной смеси или очистка слоя от неприлипших частиц | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Фреза - ФД - 500 (0,5 м), А - 8047(0,4 м), ДС - 197 (0,25-1 м), 1000 с, ДЭ - 236, 2000 Vc W - 500 (0,5 m), 500DC (0,5 m). Автосамосвал | Поливомоечная машина - КО - 713, ЭД - 226, КДМ - 130, КО - 804 | Автогудронатор - СД - 203, ДС - 142 - 2Б, СДК - 100, БЦМ - 07. Трактор с навесным раскладчиком геополотен | Автосамосвал Асфальтоукладчик, ДС - 189, ДС - 195, ДС - 199, ДС - 179, ДС - 181, ДС - 200. Комбинированная машина для устройства ПО | Виброплита - ВУ - 1500, ОУ - 80. Каток пневмошинный, гладковальцевый, комбинированный. Машина с щеткой | Автокран, грузовой автомобиль |

*Рис. 5.7. Примерная схема производства работ по частичному или полному фрезерованию покрытия, укладке геосетки и устройству слоя асфальтобетона или поверхностной обработки*

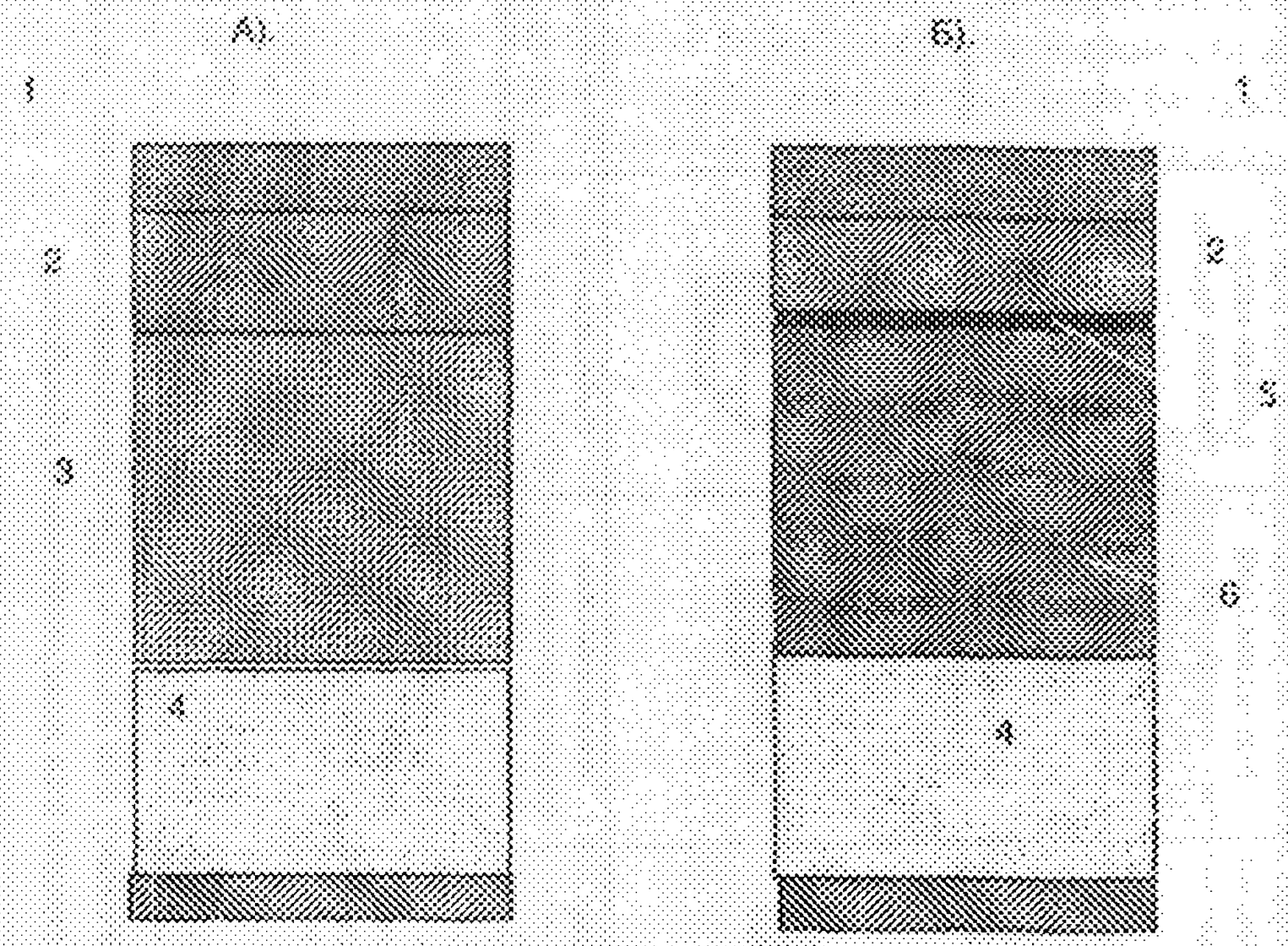



*Рис.5.8. Варианты конструкций дорожной одежды с использованием старых слоев:*
*1 – слой поверхностной обработки; 2 – слой термопрофилирования с добавкой регенерированной на заводе асфальтобетонной смеси; 3 – стабильные слои дорожной одежды; 4 – слой тонкослойного покрытия из новых материалов; 5 – слой из регенерированной асфальтобетонной смеси; 6 – термопрофилированный слой без добавки новой смеси*

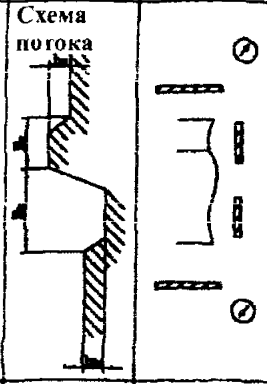
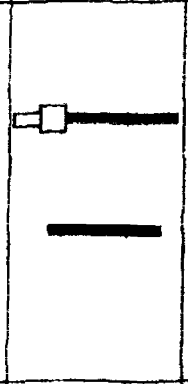
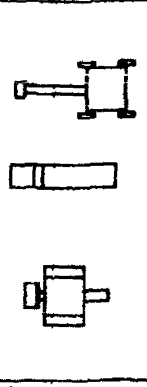
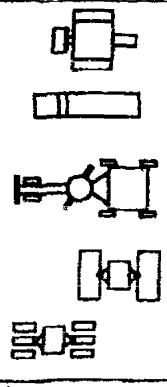
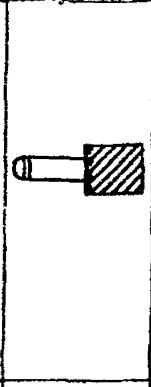
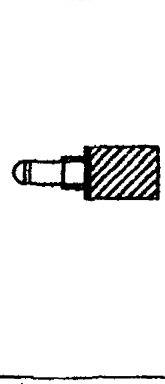
| 1 | Вид работ | Установка ограждений и знаков | Нарезка щелей по краям колеи | Разработка старой дорожной одежды | Устройство слоев оснований новой дорожной одежды | Распределение битумной эмульсии | Завоз и укладка асфальтобетонной смеси | Уплотнение асфальтобетонной смеси | Снятие ограждений и знаков |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Схема потока |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 | Машины и оборудование | Автокран, грузовой автомобиль | Бароваямашина БГМ - 1, БГМ - 2, БГМ - 10, МЗЦ - 75. Экскаватор траншейный цепной ЭТЦ - 1609, ДЗ - 133ЭЦ | Экскаватор одноковшовый ЕК - 140, ЕК - 18, ЕК - 06, ЕА - 16, ЭО - 3323 с гидромолотом и бетоноломом. Автосамосвал | Автосамосвал, Автогрейдер, Поливомоечная машина, Каток комбинированный, гладковальцевый, пневмошинный | Автогудронатор - СД - 203, ДС - 142 - 2Б, СДК - 100, БЦМ - 07 | Автосамосвал Асфальтоукладчик, ДС - 189, ДС - 195, ДС - 199, ДС - 179, ДС - 181, ДС - 200 | Виброплита - ВУ - 1500, ОУ - 80. Каток пневмошинный, гладковальцевый, комбинированный | Автокран, грузовой автомобиль |

*Рис 5.9. Примерная схема производства работ по разрушению дорожной одежды, замене и устройству новой дорожной одежды на местах колееобразования*

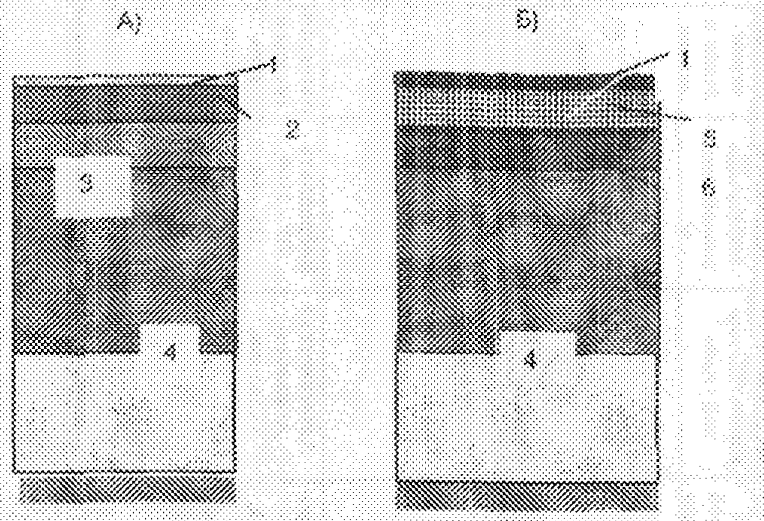



*Рис. 5.10. Конструкции дорожных одежд повышенной устойчивости к образованию колеи с применением базальтовых материалов:*
*А – двухслойное асфальтобетонное покрытие на основании из бетона марки 200;*
*Б – двухслойное асфальтобетонное покрытие на основании из укатываемого бетона марки В 7,5:*
*1 – асфальтобетон, армированный фиброй из базальтовых волокон (толщина слоя до 3 см); 2 – регенерированный асфальтобетон; 3 – пластичный цементобетон марки 200, модифицированный резиновыми добавками; 4 – песчаный подстилающий слой; 5 – геосетка из базальтовых волокон или стеклоткани; 6 – укатываемый бетон марки В-7,5*

Наряду со смесями, приготовленными из новых материалов, в качестве основания может быть рекомендован слой, построенный по методу холодного ресайклинга. В слое основания необходимо нарезать швы не реже чем через 10 м. Для предотвращения образования трещин и сдвиговых деформаций в конструкции дорожной одежды рекомендуется:

* нарезать швы в асфальтобетонном покрытии;
* укладывать геосетку, георешетку или тонкослойное покрытие из специальных смесей, армированных волокнистыми добавками.

Толщина нижнего слоя должна быть не менее 6 см, а толщина слоя износа составлять от 1,5 до 3 см, в зависимости от свойств смесей.

5.4.4. Укладку верхнего или промежуточного слоя по слою асфальтогранулобетона, содержащего цемент, можно производить через 2-3 сут, а по слою, содержащему эмульсию, – после испарения влаги (обычно через 3-4 недели). Движение по слою асфальтогранулобетона открывают при использовании в качестве вяжущего (вспененного битума) сразу же после уплотнения, а при использовании цемента и комплексного вяжущего – через двое-трое суток.

5.4.5. Для получения дорожной одежды повышенной устойчивости к образованию колеи слой основания может быть построен из пластичного бетона марки 200 или укатываемого бетона В-7.5 (рис. 5.10).

### *5.5. Осушение и стабилизация грунтов земляного полотна*

В тех случаях, когда результаты обследования показывают, что причиной образования колеи является накопление остаточных деформаций в активной зоне земляного полотна, необходимо рассмотреть меры по осушению и стабилизации грунтов земляного полотна, в состав которых входят:

- совершенствование системы отвода поверхностных и грунтовых вод;
- стабилизация грунтов активной зоны и их замена;
- полная перестройка участка с изменением рабочей отметки земляного полотна.

Следует иметь в виду, что меры по усилению дорожной одежды без стабилизации грунтов активной зоны земляного полотна не предотвращают образование колеи. Без осушения и стабилизации грунтов активной зоны земляного полотна практически невозможно избежать накопления остаточных деформаций и образования колеи на участках с повышенным увлажнением глинистых, пылеватых и других пучинистых грунтов.

Конкретное решение принимается на основании технико-экономического сравнения вариантов усиления грунтов активной зоны земляного полотна.

5.5.1. Для предупреждения переувлажнения грунтов земляного полотна поверхностными водами необходимо, в первую очередь, прочистить и восстановить работоспособность или устроить вновь сооружения поверхностного водоотвода; укрепить обочины материалами, предотвращающими попадание поверхностных вод в тело насыпи; устроить дополнительные выпуски из боковых канав в сторону границы полосы отвода на участках с малыми или затяжными уклонами; в необходимых случаях устроить испарительные бассейны; укрепить откосы.

5.5.2. Боковые канавы-кюветы и резервы-кюветы должны иметь правильную форму с поперечным уклоном от подошвы насыпи не менее 20‰.

5.5.3. В равнинной местности на участках дорог, проходящих по третьему типу местности по условиям увлажнения, если отвод воды от насыпи затруднен, а резервы, выполняющие роль испарительных бассейнов заболачиваются, следует:

- заменить грунты активной зоны земляного полотна на дренирующие;
- увеличить высоту насыпи.

5.5.4. При высоком уровне грунтовых вод для защиты от переувлажнения грунтов земляного полотна необходимо обеспечить очистку и ремонт существующей системы дренажа и отвод грунтовых вод, устроив прикромочный дренаж, дренажные прорези, скважины или фильтры, в том числе с применением прослоек из синтетических рулонных материалов.

## 6. Мероприятия по предупреждению образования колей

6.1. Мероприятия по предупреждению образования колей должны быть предусмотрены в проектах строительства новых дорог, реконструкции и ремонта существующих дорог и осуществлены в процессе реализации указанных проектов.

Конечная цель этих мероприятий состоит в том, чтобы предупредить накопление неравномерных остаточных деформаций в активной зоне земляного полотна, возникновение структурных изменений и остаточных деформаций в слоях основания, накопление в верхних слоях асфальтобетонного покрытия остаточных пластических деформаций, ограничить износ (истирание) покрытия в полосе наката.

Земляное полотно и дорожная одежда должны быть запроектированы так, чтобы суммарная величина всех остаточных деформаций, образующих колею, за расчетный срок службы дорожной одежды не превышала допустимых значений.

6.2. Конструкция земляного полотна и дорожной одежды на каждом характерном участке дороги должна быть проверена расчетом на образование остаточных деформаций и их накопление за срок службы дорожной одежды. За характерные принимаем участки:

- с различными грунтовыми и гидрологическими условиями (прежде всего, участки с недостаточным водоотводом);

- с различными: высотой насыпи и глубиной выемки, толщиной слоев дорожной одежды или различными характеристиками материалов слоев;
- с различной интенсивностью и составом движения; сложные участки с изменением скорости движения более чем на 20% и т.д.

6.3. Для предупреждения образования сдвиговых остаточных деформаций активную зону земляного полотна возводят из дренирующих или мало пучинистых грунтов и уплотняют в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

Для повышения несущей способности и устойчивости земляного полотна рекомендуются различные методы армирования путем устройства прослоек из синтетических материалов, геотекстиля, геосеток и георешеток, а также методы укрепления грунтов земляного полотна.

6.4. Основание дорожных одежд должно быть устроено из материалов повышенной жесткости и устойчивости к сдвиговым деформациям и структурным изменениям. Предпочтение следует отдавать основаниям из материалов, укрепленных минеральным или комплексным вяжущим. Для повышения прочности и сдвигоустойчивости слоев основания рекомендуются различные методы их армирования и усиления с применением геосеток и георешеток.

На дорогах I-III категорий с большой долей тяжелых грузовых автомобилей рекомендуется устраивать основания из пластичного или укатываемого бетона.

6.5. Слои покрытия должны быть устроены из материалов, обладающих высокой прочностью, сдвигоустойчивостью и повышенной устойчивостью к истиранию.

Это, как правило, специально подобранные плотные смеси по типу многощебенистых или щебнемастичных асфальтобетонов, эмульсионно-минеральных смей, смесей, армированных добавками в виде фибр с использованием модифицированного вяжущего и т.д.

6.6. В исключительных случаях для предупреждения образования колеи допускается ограничение движения тяжелых автомобилей весной, когда остаточные деформации накапливаются в грунте земляного полотна, и в жаркие периоды лета или в отдельные часы дня с высокой температурой воздуха (при температуре верхнего слоя покрытия выше $+40^0$С), когда остаточная деформация накапливается в слоях асфальтобетона.

## 7. Рекомендации по технологии производства работ по ликвидации колеи

### *7.1. Назначение технологии производства работ*

Технологию производства работ назначают с учетом:
типа и глубины колеи;
причин образования колеи;
общего состояния покрытия;
объемов работ и протяженности участков с колеей;
имеющихся машин и оборудования;
условий погоды в период производства работ.

В зависимости от глубины и формы колеи могут быть назначены следующие способы ремонта:

- заполнение колей ремонтным материалом без устройства или с устройством защитных слоев;
- укладка выравнивающего слоя и дополнительного слоя покрытия;
- термопрофилирование на глубину 3-5 см с укладкой защитного слоя;
- частичное или поверхностное фрезерование с укладкой защитного слоя из асфальтобетона или поверхностной обработки;
- переработка материалов нестабильного верхнего слоя покрытия методом регенерации (ремиксинга или термопрофилирования) с укладкой дополнительного слоя износа;
- удаление слоев дорожной одежды методом холодного фрезерования с переработкой материалов на месте или на заводе;
- осушение грунта земляного полотна, совершенствование системы отвода поверхностных и грунтовых вод, стабилизация грунтов земляного полотна;
- полная перестройка земляного полотна и дорожной одежды.

### *7.2. Ограничения по условиям погоды*

7.2.1. Технологический процесс производства работ включает распределение, дозирование, укладку и уплотнение битумоминеральных материалов. Работы по строительству таких слоев следует вести в соответствии с требованиями соответствующих нормативных документов [3]. Ремонтные слои из горячих и холодных асфаль-

тобетонных смесей следует укладывать весной при температуре не ниже +10°С и осенью - не ниже +5 °С.

7.2.2. Допускается производить работы с использованием горячих асфальтобетонных смесей при температуре воздуха не ниже 0°С, если толщина укладываемого слоя не менее 4 см, а в асфальтобетонной смеси применяют активированные порошки и ПАВ. Верхний слой допускается устраивать только на свежеуложенном (не остывшем ниже +20°С) нижнем слое. Укладку холодных асфальтобетонов следует закончить ориентировочно за 15 дней до периода осенних дождей.

7.2.3. Асфальтобетонные и другие смеси, приготовленные на вязких или жидких битумах, следует укладывать только в сухую погоду, на сухое покрытие. Смеси, приготовленные с использованием битумных эмульсий, допускается укладывать на влажную поверхность (при обеспечении возможности испарения влаги из слоя покрытия).

7.2.4. Технологии регенерации (горячим способом) с разогревом старого покрытия инфракрасным излучением применяют только в сухую погоду и при скорости ветра не более 2 м/с, при температуре воздуха не ниже +15°С.

### *7.3. Особенности применения регенерации методами ремиксинга (термосмешения) при ликвидации колей*

7.3.1. Регенерация свойств асфальтобетонных и битумоминеральных слоев методом ремиксинга (термосмешения) и термопрофилирования имеет следующие достоинства:

- горячее фрезерование не вызывает изменения зернового состава старой смеси, так как не происходит дробления зерен щебня и песка;
- в случае применения метода, называемого «ремиксинг плюс», возможно устройство нового слоя износа толщиной до 2,5 см в едином технологическом процессе;
- правильно организованный постепенный разогрев покрытия с применением двух разогревателей позволяет избежать интенсивного старения вяжущего. Изменение свойств может быть компенсировано введением пластифицирующих добавок;
- хорошее сцепление перерабатываемого слоя с нижележащим слоем и соседними слоями без подгрунтовки основания или смазывания краев дорожной одежды битумом;

- обеспечивает высокую сменную производительность (до 2000м²/час при толщине слоя до 4 см).

7.3.2. К недостаткам методов термосмешения относятся:

- ограниченная толщина перерабатываемого старого слоя, которая составляет не более 6 см (чаще всего 4 см);
- ограниченная возможность регулирования состава перерабатываемого слоя;
- в начале каждой рабочей смены необходим разогрев рабочих органов ремиксера горячей смесью. Для этого должно быть уложено несколько метров слоя из новой смеси такого же состава, что и перерабатываемая смесь, но приготовленной в стационарной установке;
- невозможно устранить из минеральной смеси недоброкачественные составляющие, которые отрицательно влияют на свойства переработанной смеси;
- технологический процесс чувствителен к атмосферным воздействиям, особенно к ветру и температуре воздуха.

7.3.3. При подборе состава переработанной (скорректированной) смеси необходимо стремиться к соответствию требованиям ГОСТ 9128-97. В исключительных случаях допускается отклонение зернового состава переработанной, уложенной в покрытие и уплотненной смеси от составов, рекомендуемых [3, 6]. Однако отступление содержания любого компонента в составе уложенной смеси не должно приводить к снижению качества покрытия по основным нормативным показателям.

7.3.4. Требуемая величина коэффициента уплотнения асфальтобетона должна быть обеспечена в каждом месте поперечного сечения и во всех перерабатываемых или новых слоях асфальтобетонного покрытия. Коэффициент уплотнения для слоев основания $K_y$= 0,98, а для верхних слоев покрытия – 0,99 [3].

7.3.5. При укладке переработанных или новых слоев на слой, имеюший трещины, необходимо предусмотреть мероприятия по предупреждению образования отраженных трещин, в качестве которых рекомендуется:

- применение слоя, воспринимающего растягивающие напряжения в виде мембраны, под слоем асфальтобетона;
- укладка геосетки или металлической сетки между слоями или в верхнем слое асфальтобетона.

### *7.4. Особенности применения методов холодного фрезерования при ликвидации колей*

7.4.1. Холодное фрезерование применяют для устранения отдельных поперечных или продольных неровностей (частичное или поверхностное фрезерование) и для удаления или переработки одного или нескольких нестабильных слоев дорожной одежды. Работу допускается проводить при влажной поверхности покрытия не только в летний, но и в весенне-осенний период.

7.4.2. Для устройства корыта при ликвидации глубокой колеи применяют фрезы, ширина рабочего органа которых не должна более чем в 2 раза превышать ширину колеи в месте ее наибольшего углубления. При значительной глубине колеи (5-10 см) и малой ее ширине фрезерование следует проводить уступами: первый проход по дну колеи, а затем справа и слева от фрезерованной поверхности. Толщина снимаемого слоя определяется мощностью привода (возможностями фрезы), толщиной конструктивных слоев, подлежащих фрезерованию, и техническим заданием на фрезерование.

7.4.3. В тех случаях, когда фрезерование ведут на всю полосу движения, с целью повышения ровности покрытия, ширина полосы фрезы должна быть не менее 1800 мм. Поверхность фрезерования не должна быть чрезмерно шероховатой. Стык соседних проходов фрезы должен быть осуществлен на одном и том же уровне, а допускаемая разница уровней не должна быть более ± 3 мм. Допустимая разница толщины фрезерования не более ± 5 мм.

7.4.4. После окончания фрезерования поверхность должна быть очищена от гранулята в тот же день. При фрезеровании в населенных пунктах необходимо применять фрезерование в сочетании с обеспыливанием или с мокрым очищением поверхности.

7.4.5. Качество фрезерования оценивают по следующим признакам:

- вертикальным отметкам (линия продольного профиля);
- толщине фрезеруемого слоя;
- продольной ровности;
- поперечной ровности;
- поперечному уклону.

В процессе фрезерования должен быть обеспечен контроль этих параметров геодезическими методами или рейкой, в соответствии с положениями [3].

7.4.6. Холодный ресайклинг - метод ремонта дорожной одежды на дорогах различных технических категорий. Этот метод предусматривает глубокое (до 30 см) фрезерование дорожной одежды холодным способом. Гранулят повторно используют при строительстве новой дорожной одежды с добавкой готовой асфальтобетонной смеси или щебня, песка, цемента и воды, которые перемешивают с гранулятом непосредственно на дороге. В качестве вяжущего может быть использована катионная битумная эмульсия. Для получения слоя с заданными свойствами все компоненты точно дозируют и равномерно распределяют, затем проводят смешение компонентов на дороге. Полученную смесь распределяют равномерным слоем и уплотняют. В свежеуложенном слое основания нарезают швы через 10 м. Толщина слоя основания, построенного методом ресайклинга, составляет 15-20 см.

Верхний слой покрытия толщиной до 6 см устраивают из асфальтобетонной смеси.

7.4.7. Основание, на которое укладывают новый слой, должно быть подгрунтовано 50%-ной битумной эмульсией (без излишнего расхода) в количестве 0,15-0,3 кг/м. Максимальный расход эмульсии применяют на шероховатых поверхностях, например, отфрезерованных холодным способом. Подгрунтовку можно не применять в случае, если нижний слой основания подвергают разогреву.

7.4.8. Не следует оставлять фрезерованные участки на длительный срок без перекрытия новыми слоями и открывать по ним движение транспорта. Слой основания из переработанной смеси, на который не предусмотрена укладка слоя покрытия из асфальтобетона, должен быть немедленно перекрыт слоем поверхностной обработки или другим защитным слоем.

### *7.5. Комбинированные методы регенерации и повторного использования материалов при ликвидации колей*

7.5.1. Комбинированные способы регенерации сочетают в себе термопрофилирование и фрезерование с заводской переработкой смесей (рис.7.1). После фрезерования на глубину 2,5 см материал в виде крошки отправляют на завод для переработки.

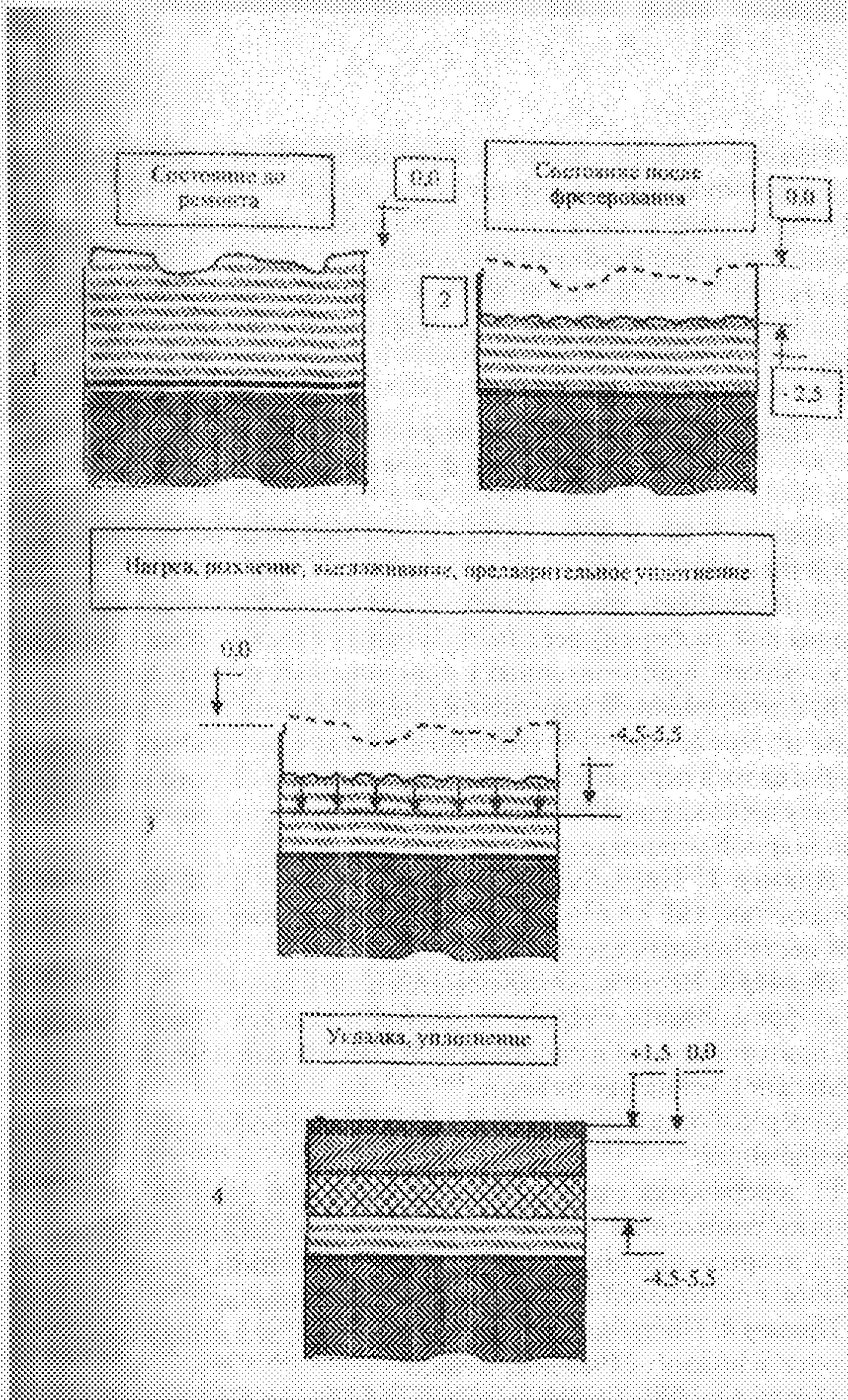



Рис. 7.8. Последовательность технологических операций при работе по клиент-серверной схеме

Поверхность покрытия после фрезерования подвергается термопрофилированию на глубину 2-3 см без добавления новой смеси. Затем, по горячему слою асфальтоукладчиком распределяют регенерированную асфальтобетонную смесь (толщина слоя 5-7 см), уплотняют ее и строят слой износа. Метод позволяет провести восстановление устойчивости слоев дорожной одежды на большую глубину.

### *7.6. Примеры технологических операций при ликвидации колей в процессе ремонта дорожных одежд*

**Пример 1.** Все или несколько слоев являются нестабильными (неустойчивыми):

а) последовательное удаление (методом фрезерования или механической разборки) всех нестабильных слоев и укладка новых слоев из смесей, приготовленных в стационарных установках;

б) фрезерование и переработка нестабильных слоев дорожной одежды на месте горячим способом, снятие остальных слоев и переработка их в передвижной установке; укладка старого материала с последующей укладкой на него слоя из новой смеси, приготовленной в стационарной установке.

**Пример 2.** Нестабильным является один слой покрытия. Поступают так, как описано в примере 1, но фрезерование ограничивают нестабильным слоем.

**Пример 3.** Нестабильным является слой износа·

а) фрезерование старого покрытия и укладка нового слоя из смеси, приготовленной в стационарной смесительной установке или в передвижной установке на месте;

б) переработка слоя износа методом термопрофилирования или ремиксирования;

с) переработка слоя истирания в нижний слой на месте по технологии ремиксинга или регенерации в передвижной установке, укладка вторым проходом укладывающей машины нового слоя истирания, приготовленного в стационарной установке.

**Пример 4.** Нестабильными являются слои, лежащие ниже слоя истирания и нижних слоев покрытия:

а) если толщина нестабильного слоя меньше 1,5 см:

- фрезерование и удаление слоя истирания;
- переработка нестабильного слоя горячим или холодным способами на месте с доведением свойств до соответствующих

требований (по технологии ремиксирования или регенерации в передвижной установке);

- укладка на переработанный слой новых слоев из смесей битумоминеральных материалов, приготовленных в стационарной установке с использованием материалов слоя истирания;

б) если толщина нестабильного слоя больше 1,5 см, глубина колеи не превышает 25 мм и образовалась в течение нескольких лет и не имеет резко выраженных краев, то следует поступать в соответствии с указаниями, приведенными в п. 4.

Если глубина колеи более 30 мм или в колее имеется выступающий битум, необходимо перед применением ремиксинга выполнить частичное фрезерование старого слоя износа на небольшую глубину (несколько миллиметров). Такое фрезерование выполняют также и при необходимости стыковки по толщине слоя рециклированной полосы с соседней полосой.

## 8. Методика расчета асфальтобетонного покрытия на устойчивость к образованию колей

### *8.1. Общие положения*

Настоящая методика относится к расчету устойчивости покрытия к колееобразованию. При этом сдвигоустойчивость рассматривается как многофакторное эксплуатационное свойство асфальтобетона, которое характеризуется, с одной стороны, несколькими показателями структуры, а с другой стороны, расчетными условиями его работы в дорожном покрытии.

Расчет основан на теории напряженно-деформированного состояния, предполагающей схематизацию свойств материала. Асфальтобетон в дорожном покрытии принят в качестве однородной сплошной среды. Возникающие в нем усилия рассматриваются не как усилия в битумных связях, а как некоторые средние усилия, действующие на единичной площади сечения.

В качестве предельного состояния асфальтобетона приняты максимальные касательные напряжения. Это означает, что пластические деформации образуются в том случае, когда максимальные касательные напряжения в материале достигнут предельного значения.

Касательные напряжения в асфальтобетонном слое от воздействия транспортной нагрузки вычисляют по формулам теории упругости для слоистой среды, нагруженной равномерно распре-

деленной нагрузкой через гибкий круглый штамп с учетом условий контакта слоев.

Интенсивность воздействия автомобилей на дорожное покрытие характеризуется приведенной интенсивностью воздействия подвижной нагрузки или суммарным расчетным числом приведенной расчетной нагрузки, ожидаемой на полосе наката, за срок службы покрытия.

Температурно-временные условия деформирования асфальтобетона определяются климатом региона и характером автомобильного движения на дороге.

### *8.2. Критерии сдвигоустойчивости асфальтобетона в покрытии*

8.2.1. Расчет устойчивости асфальтобетона к колееобразованию ведется по двум критериям:

- по сопротивлению сдвигу при максимальной расчетной температуре дорожного покрытия, характерной для заданного региона;
- по суммарной остаточной деформации, накопленной за расчетный срок службы покрытия.

8.2.2. В качестве первого критерия сдвигоустойчивости принимается гипотеза, что пластические деформации от действия транспортных нагрузок не возникнут, если максимальные сдвигающие напряжения в покрытии не превысят расчетное сопротивление асфальтобетона сдвигу:

$$\tau_p \geq \tau_{max}, \qquad (8.1)$$

где $\tau_p$ – расчетное сопротивление сдвигу, характеризующее прочность асфальтобетона в расчетных условиях нагружения, МПа;

$\tau_{max}$ – максимальное касательное напряжение в покрытии от колес расчетного автомобиля, МПа.

8.2.3. Предел прочности является приближенным показателем сдвигоустойчивости, т. к. при одной и той же прочности у двух материалов может быть разная деформация. Поэтому методика предусматривает второй критерий сдвигоустойчивости, основанный на расчете и прогнозировании необратимой деформации сдвига, который предполагает, что накопленная за срок службы остаточная деформация в асфальтобетонном покрытии не должна превышать допускаемой величины:

$$\gamma_n \leq \gamma_{доп}, \qquad (8.2)$$

где $\gamma_п$ – остаточная деформация, накопленная за расчетный срок эксплуатации в асфальтобетонном покрытии;

$\gamma_{доп}$ – допустимая относительная деформация пластичного сдвига.

8.2.4. Предельно-допустимую деформацию сдвига вычисляют, исходя из нормируемой глубины колеи, по следующей зависимости:

$$\gamma_{доп} = \frac{\delta_{доп} l}{2h^2}, \qquad (8.3)$$

где $\gamma_{доп}$ – предельно-допустимая остаточная деформация асфальтобетона;

$\delta_{доп}$ – допускаемая глубина колеи по условиям безопасности автомобильного движения, см;

$l$ – ширина колеи, см;

h – проектная толщина асфальтобетонного слоя, см.

В первом приближении принято, что накопленная за расчетный период остаточная деформация асфальтобетона не должна превышать 10%.

### *8.3. Расчетные условия работы асфальтобетонных покрытий*

8.3.1. Влияние транспортных нагрузок на сдвигоустойчивость асфальтобетона учитывается посредством назначения ожидаемого объема автомобильного движения на дороге, уровня и времени действия расчетной нагрузки на покрытие. Суммарное время действия на покрытие транспортных нагрузок рассчитывают исходя из продолжительности действия единичной расчетной нагрузки, интенсивности и условий автомобильного движения на дороге.

8.3.2. Удельное давление от колеса расчетного автомобиля предлагается принять равным 0,7 МПа. Тогда максимальное касательное напряжение в покрытии принимается по В.С. Орловскому с учетом горизонтальных сил торможения, повышенного давления под шипами протектора шин и на выступах шероховатой поверхности равным 0,75 МПа.

8.3.3. Продолжительность действия единичной расчетной нагрузки при свободных условиях движения на дороге назначается равной 0,1 с. В условиях стесненного автомобильного движения продолжительность действия единичной нагрузки назначается равной 15 с или же обосновывается специальными замерами в процессе изысканий.

8.3.4. Интенсивность движения расчетного автомобиля по одной полосе назначают исходя из перспективной интенсивности движения по СНиП 2.05.02-85 в зависимости от технической категории автомобильной дороги. При реконструкции существующих покрытий интенсивность автомобильного движения устанавливают непосредственными замерами в процессе изысканий. В первом приближении предлагаются следующие значения интенсивности движения в зависимости от категории автомобильной дороги (табл. 8.1.):

Таблица 8.1

| Категория дороги | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| Интенсивность движения расчетного автомобиля по одному следу, авт./час | 250 | 200 | 150 | 70 |

8.3.5. Влияние климатических факторов на сдвигоустойчивость асфальтобетона учитывается назначением ожидаемых температур покрытия и продолжительности их действия в течение расчетного срока службы. Руководящим документом для проектирования строительных объектов в климатических регионах России служит СНиП 2.01.01-82, который содержит нормы температур наружного воздуха и другие климатические характеристики, полученные на основании статистической обработки метеорологических наблюдений не менее чем за 50 лет.

8.3.6. Для определения максимальной расчетной температуры асфальтобетонного покрытия за основу принят норматив абсолютной максимальной температуры воздуха, обеспеченность которой близка к 1. Максимальная расчетная температура асфальтобетона на глубине 2 см от поверхности покрытия определяется с 95 %-ной надежностью по следующей эмпирической зависимости:

$$T_{п+} = -0{,}0306T^2_{max} + 3{,}8071T_{max} - 39, \qquad (8.4)$$

где $T_{п+}$ – максимальная расчетная температура асфальтобетонного покрытия, °С;

$T_{max}$ – абсолютный максимум температуры воздуха, зарегистрированный в регионе, °С.

8.3.7. Продолжительность действия на дорожное покрытие максимальной расчетной температуры, в сочетании со временем и характером действия транспортных нагрузок, является допол-

нительным фактором, определяющим сдвигоустойчивость асфальтобетона. Наибольшая непрерывная продолжительность эксплуатации покрытия, определяющая вероятность потери сдвигоустойчивости при максимальной расчетной температуре, принята равной 6 час.

8.3.8. Минимальная расчетная температура покрытия рассчитывается с 95%-ной надежностью по методу «Superpave», обоснованному в рамках американской государственной программы дорожных исследований (SHRP):

$$T_{п-} = 0{,}859 T_{min} + 1{,}7, \qquad (8.5)$$

где $T_{min}$ – температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98.

8.3.9. Вероятность распределения температуры в слое покрытия (между максимальной и минимальной) следует определять путем обработки многолетних наблюдений в конкретной местности. Частотное распределение температуры характеризуется отношением времени эксплуатации покрытия при заданной температуре к общему расчетному сроку службы асфальтобетонного покрытия.

$$P(T) = \frac{t(T)}{t_р}. \qquad (8.6)$$

8.3.10. При отсутствии метеорологических данных рекомендуется руководствоваться кривой распределения температур покрытия, совпадающей по форме с трапецией, площадь которой равна 1. Уравнение этой кривой следующее:

$$\begin{cases} P(T) = \dfrac{T - T_{п-} + 2}{12(T_{п+} - T_{п-} - 8)}, \text{ если } (T_{п-} - 2) \le T \le (T_{п-} + 10), \\ P(T) = \dfrac{1}{(T_{п+} - T_{п-} - 8)}, \text{ если } (T_{п-} + 10) \le T \le (T_{п+} - 10), \\ P(T) = \dfrac{1}{(T_{п+} - T_{п-} - 8)} - \dfrac{(T - T_{п+} + 10)}{12(T_{п+} - T_{п-} - 8)}, \\ \text{если } (T_{п+} - 10) \le T \le (T_{п+} + 2) \end{cases} \qquad (8.7)$$

8.3.11. Изменение температуры по толщине конструктивных слоев дорожной одежды следует определять, в случае необходимости, по инструкции ВСН 197-91.

### *8.4. Основные структурно-реологические свойства асфальтобетона при сдвиге*

8.4.1. Расчет исходит из того, что асфальтобетон является сложным реологическим телом, вязкоупругие и вязкопластичные свойства которого зависят в сильной степени от температурно-временных условий деформирования.

При деформировании асфальтобетона в условиях сдвига необходимо определять статический (Шведовский) предел текучести, так как необратимое деформирование асфальтобетона при сдвиге наблюдается только при таких касательных напряжениях, которые превышают статический предел текучести.

При плоскопараллельном сдвиге противоположных плоскостей образца со скоростью V (относительная скорость необратимой деформации (градиент скорости сдвига) определяется по следующей зависимости:

$$\gamma^* = \frac{V}{h}, \qquad (8.8)$$

где h – высота образца.

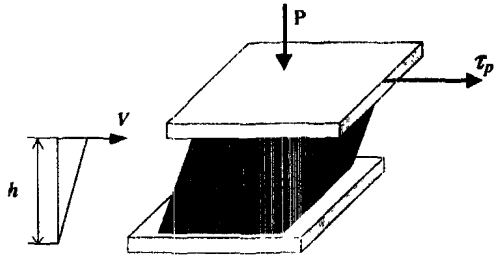



***Рис.8. 1. Схема деформирования асфальтобетона при сдвиге***

8.4.2. Сопротивление асфальтобетона сдвигу в соответствии с уравнением Кулона представляется в виде суммы составляющих: статического предела текучести $t_o = ptg\varphi$ и сцепления C(t,T).

$$\tau_p = p\,tg\varphi + C(t,T), \qquad (8.9)$$

где $t_p$ – предельное напряжение сдвига;

p – нормальное напряжение на площадке сдвига;

$tg\varphi$ – коэффициент внутреннего трения асфальтобетона;

C(t,T) – сцепление при расчетных условиях испытания, зависящее от времени действия нагрузки или скорости деформирования и температуры асфальтобетона, МПа.

8.4.3. Кинетику деформирования асфальтобетона от действия сдвигающих напряжений наиболее полно описывает реологическая модель (рис. 8.2), которая принимается за основу при оценке деформаций асфальтобетонного покрытия.

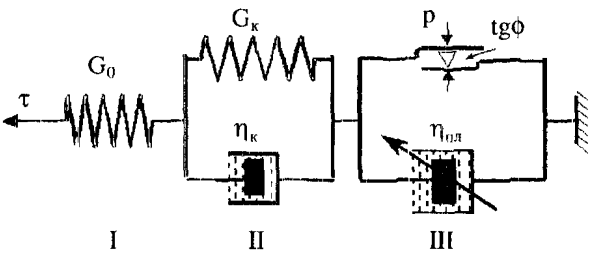



***Рис.8.2. Реологическая модель деформирования асфальтобетона при сдвиге***

В соответствии с принятой моделью деформации в элементе Гука (I) и элементе Кельвина (II) являются обратимыми, т.е. не влияют на величину остаточной деформации, характеризующей глубину колеи покрытия. Поэтому при испытании асфальтобетона необходимо упруго-эластическую обратимую деформацию выделять из общей деформации ползучести.

Наличие в реологической модели элемента вязкопластичности (III) состоящего из параллельно соединенных элементов: вязкого плунжера и элемента Сен-Венана – Кулона, указывает на то, что необратимые деформации возможны только при таких сдвигающих напряжениях, которые превышают статический предел текучести, определяемый по Кулону как произведение нормального напряжения на коэффициент внутреннего трения.

8.4.4. Скорость течения, характеризующая скорость накопления остаточной деформации, связана степенной зависимостью с величиной действующих напряжений. Поэтому пластическая вязкость $h_{пл}$ является неньютоновской, эффективной, т.е. зависящей от скорости необратимой деформации, что отмечается стрелкой на плунжере (рис. 8.3). Пластическая вязкость асфальтобетона выражается следующей зависимостью:

$$\eta_{пл} = \frac{\tau - p\,tg\phi}{\gamma^*} = \frac{C}{\gamma^*}, \qquad (8.10)$$

8.4.5. К важным структурным характеристикам асфальтобетона, определяющим сдвигоустойчивость покрытия, относятся также параметры, характеризующие зависимости показателей вязкости и когезионного сцепления от скорости деформирования и температуры. Зависимость деформативно-прочностных свойств асфальтобетона от скорости деформирования принято характеризовать коэффициентом пластичности по Н.Н.Иванову, а от температуры – коэффициентом теплостойкости или энергией активации по Г.М. Бартеневу.

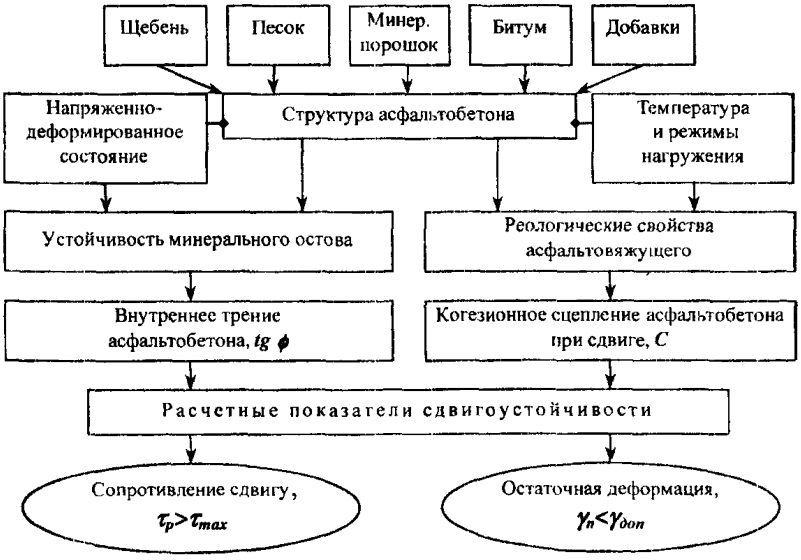



***Рис. 8.3. Схема влияния состава и структуры асфальтобетона на сдвигоустойчивость покрытия***

8.4.6. Целенаправленное изменение структурно-реологических свойств асфальтобетона при сдвиге является основным способом борьбы с колееобразованием дорожного покрытия (рис.8.3).

### *8.5. Алгоритм оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона в покрытии*

8.5.1. Среднее сопротивление асфальтобетона сдвигу в расчетных условиях эксплуатации определяют на основании уравнения Кулона и совмещенной математической модели Бартенева-Иванова:

$$\tau_p = ptg\varphi + C_л\left(\frac{t_л}{t_1 t_п N}\right)^m \exp\left[\frac{mU}{R}\left(\frac{1}{T_п +} - \frac{1}{T_л}\right)\right], \qquad (8.11)$$

где p – удельное давление от колеса расчетного автомобиля, 0,7 МПа;

$C_л$ – лабораторный показатель сцепления асфальтобетона, определяемый по ГОСТ 12801-98, МПа;

$t_л$ – среднее время нагружения образцов асфальтобетона до разрушения, с;

$t_1$ – среднее время действия колесной нагрузки при проходе одного расчетного автомобиля, с;

$t_п$ – максимальное непрерывное время эксплуатации покрытия при высокой расчетной температуре, 6 ч;

N – интенсивность движения расчетного автомобиля по одной полосе, авт./ч;

m – коэффициент пластичности по Н.Н. Иванову;

U – энергия активации вязко-пластичного разрушения асфальтобетона по Г.М. Бартеневу, кДж/моль;

R – газовая постоянная, 0,008314 кДж/°К моль;

$T_{п+}$ – максимальная расчетная температура покрытия, °К;

Тл – абсолютная температура испытания образцов в лаборатории, 323,15 °К=50 °С.

8.5.2. Для оценки второго критерия сдвигоустойчивости определяют суммарную остаточную деформацию асфальтобетона, накапливаемую за расчетный срок эксплуатации покрытия:

$$\gamma_п = K_{кол.} t_p N t_1 \dot{\gamma}_л \left(\frac{\tau_{max} - ptg\varphi}{C_л}\right)^{1/m} \int_{T_п -}^{T_{п+}} P(T) \exp\left[-\frac{U}{R}\left(\frac{1}{273,15+T} - \frac{1}{T_л}\right)\right] * dT, \qquad (8.12)$$

где $K_{кол}$ – коэффициент, учитывающий вероятность прохождения колес автомобилей по одному следу;

$t_р$ – расчетный срок службы асфальтобетонного покрытия, ч;

$\dot{\gamma}_л$ – градиент скорости необратимого сдвига при испытании асфальтобетонных образцов в лаборатории, $с^{-1}$;

P(T) – частотное распределение или вероятность температуры покрытия во время эксплуатации;

$T_{п-}$, $T_{п+}$ – соответственно минимальная и максимальная расчетная температура покрытия, °С;

T, dT – переменная температура и приращение температуры покрытия, °С.

### *8.6. Определение характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетона в лаборатории*

8.6.1. Простейший метод определения коэффициента внутреннего трения и лабораторного показателя сцепления асфальтобетона при сдвиге представлен в ГОСТ 12801-98. Сущность метода заключается в определении работы до разрушения образцов цилиндрической формы с диаметром и высотой равными 71,4 мм при двух схемах деформирования (одноосном сжатии и сжатии по схеме Маршалла) при температуре 50°С и скорости деформирования 50 мм/мин. В процессе испытаний асфальтобетона следует также зафиксировать предел прочности при сжатии, скорости деформирования 50 мм/мин и температуре 50 °С, а также время до разрушения образцов. По ГОСТ 12801-98 должны быть также определены стандартные показатели прочности при сжатии, при скорости деформирования 3 мм/мин. После этого вычисляются следующие производные структурные параметры асфальтобетона.

8.6.2. Коэффициент пластичности по Н.Н.Иванову определяют по одной из следующих формул[1]:

$$m = \frac{(\ln R^{*}_{50} - \ln R_{50})}{(\ln 50 - \ln 3)} = \frac{(\ln R^{*}_{50} - \ln R_{50})}{(\ln t_3 - \ln t_{50})}, \qquad (8.13)$$

[1] В случае испытаний асфальтобетона на гидравлических прессах расчет коэффициента пластичности производят по времени разрушения образцов.

где $R^{*}_{50}$, $R_{50}$ - показатели прочности при сжатии, соответственно при скорости деформирования 50 и 3 мм/мин, МПа;

$t_3$, $t_{50}$ – время разрушения образцов, соответственно при скорости деформирования 3 и 50 мм/мин, с.

Энергия активации вязкопластичного разрушения U в кДж/моль вычисляется на основании значений прочности при сжатии при температурах 20 и 50 °С.

$$U = \frac{26{,}254(\ln R_{20} - \ln R_{50})}{m}, \qquad (8.14)$$

где $R_{20}$, $R_{50}$ – показатели прочности при сжатии, соответственно при 20 и 50°С, МПа.

Свойства асфальтобетона при сдвиге определяются исходя из средних значений результатов испытаний параллельных образцов. Статистическая достоверность расчетных характеристик сдвигоустойчивости оценивается в соответствии с СТП 007-97.

### *8.7. Пример проектирования состава асфальтобетона по критериям сдвигоустойчивости*

Требуется запроектировать состав сдвигоустойчивого асфальтобетона для устройства верхнего слоя покрытия толщиной 5 см на участке реконструируемой автомобильной дороги М-4 «Дон» 740-760 км.

Исходные данные.

На участке дороги запроектирована дорожная одежда нежесткого типа, состоящая из трехслойного асфальтобетонного покрытия на двухслойном щебеночном основании. Ширина покрытия для одностороннего движения составляет 11,5 м. Ожидаемая интенсивность движения расчетного автомобиля по одному следу принята равной 220 авт./час. Продолжительность действия единичной расчетной нагрузки на покрытие $t_1$=0,1 с.

В соответствии со СНиП 2.01.01-82 в регионе расположения участка дороги зарегистрирован абсолютный максимум температуры воздуха плюс 41°С. Температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 – минус 28°С. Статистические данные о вероятности температур воздуха за длительный период наблюдения отсутствуют.

В соответствии с проектом предусмотрено устраивать верхний слой покрытия из плотного мелкозернистого асфальтобетона типа А марки I на полимерно-битумном вяжущем Для подбора составов асфальтобетонной смеси имеются в наличии следующие исходные материалы:

щебень фракций 5-10, 10-15 и 15-20 мм, полученный на дробильно-сортировочной установке из гранитного щебня фракции 20-40 мм ОАО «Павловскгранит» Воронежской обл. и отвечающий требованиям ГОСТ 8267-93 и ГОСТ 9128-97;

песок из отсева дробления (гранитный) фракции 0-5 мм, отвечающий требованиям ГОСТ 8736-93 и ГОСТ 9128-97;

песок природный по ГОСТ 8736-93;

минеральный порошок известняковый неактивированный, отвечающий требованиям ГОСТ 16557-78;

вяжущее полимерно-битумное марки ПБВ 90 по ОСТ 218.010-98;

подбор составов смеси.

После лабораторной проверки соответствия свойств исходных материалов требованиям нормативно-технической документации определяют рациональное соотношение содержания щебня, песка, минерального порошка, битума, обеспечивающее показатели свойств асфальтобетона, удовлетворяющие требованиями ГОСТ 9128-97. Минеральную часть асфальтобетонной смеси подбирают на основании предварительно установленных зерновых составов щебня, песка и минерального порошка по кривым пределыных зерновых составов ГОСТ 9128-97.

С помощью компьютерной программы [i] (можно вручную) были подобраны два состава асфальтобетонной смеси типа А марки I на полимерно-битумном вяжущем: вариант № 1 с прерывистой гранулометрией на основе природного песка и вариант № 2 с непрерывной гранулометрией на основе песка из отсевов дробления (табл.8.2).

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов № 1 и № 2 отвечают заданным проектным требованиям. В то же время необходимо отметить, что состав № 1, по сравнению с № 2, является более экономичным, однако, вследствие меньшего содержания дробленых зерен каменных материалов, может оказаться недостаточно сдвигоустойчивым, что и следует проверить расчетом.

Проверка сдвигоустойчивости асфальтобетонов. Для оценки сдвигоустойчивости асфальтобетонов в покрытии определяем необходимые расчетные параметры.

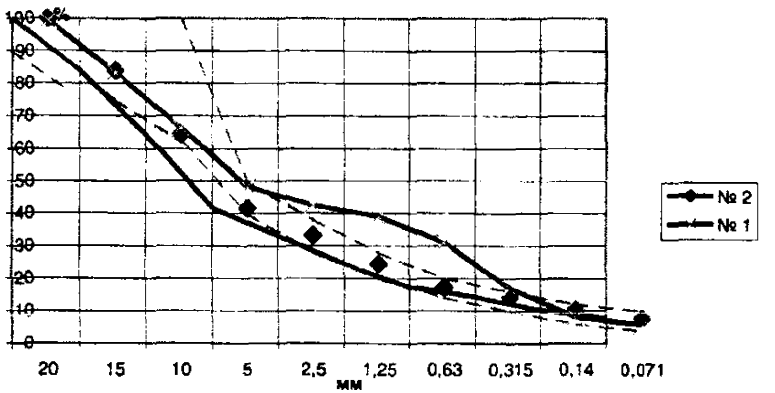
Таблица 8.2

## Автодорога М-4 "Дон"

| № | Материалы | γ, г/см³ | Материалы для подбора смеси: Содержание зерен мельче данного размера, мм, в % | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % | | | 20 | 15 | 10 | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | 0,071 |
| 25,0 | Щебень фр. 15-20 мм | 2,67 | 100 | 36,8 | 3,4 | 1,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| 13,0 | Щебень фр.10-15 мм | 2,67 | 100 | 98,1 | 15,5 | 1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 25,0 | Щебень фр. 5-10 мм | 2,67 | 100 | 100 | 97,9 | 21,1 | 8,7 | 5,6 | 4,8 | 4,2 | 1,7 | 1,1 |
| 30,0 | Песок из отсева | 2,67 | 100 | 100 | 100 | 96,5 | 79,6 | 53,6 | 30,4 | 20,8 | 11,1 | 7,3 |
| 0,0 | Песок природный | 2,64 | 100 | 100 | 100 | 98,1 | 90,6 | 83,5 | 62,4 | 26,1 | 5 | 2,3 |
| 7,0 | Минеральный порошок "Руба" | 2,76 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99,9 | 99,3 | 93,6 | 76,4 |
| | | 2,676 | 20 | 15 | 10 | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | 0,071 |
| 100 | Смесь проектная № 2 | 100 | 100,0 | 84,0 | 64,3 | 41,8 | 33,2 | 24,6 | 17,4 | 14,3 | 10,4 | 7,9 |
| ПБВ-90 | Тип А непрерывн | MIN | 90 | 75 | 62 | 40 | 28 | 20 | 14 | 10 | 6 | 4 |
| 5,4 | 2,464 | MAX | 100 | 100 | 100 | 50 | 38 | 28 | 20 | 16 | 12 | 10 |
| | Смесь проектная № 1 | 100 | 99,3 | 83,3 | 66,3 | 48,3 | 42,6 | 39,2 | 31,1 | 17,1 | 8,2 | 5,8 |

| Состав, % | №1 | №2 |
|---|---|---|
| Щебень, > 20мм | 0,7 | 0,0 |
| Щебень, фр.10-20 мм | 31,4 | 33,8 |
| то же, фр. 5-10 мм | 17,1 | 21,4 |
| Песок фр. 0-5 мм | 39,3 | 33,0 |
| Минер.пор. | 6,7 | 6,6 |
| ПБВ | 4,9 | 5,1 |
| Итого | 100 | 100, |

| Образцы | Подбор | пористости | |
|---|---|---|---|
| ρ, г/см3 | V мч, % | V остат, % | |
| 2,4 | 14,3 | 2,7 | - № 1 |
| 2,39 | 15,3 | 3,0 | - № 2 |



По результатам испытаний вычисляем коэффициент пластичности асфальтобетонов № 1 и № 2 в соответствии с (8.13):

$$m_1 = \frac{(\ln 1{,}5 - \ln 1{,}1)}{(\ln 50 - \ln 3)} = \frac{0{,}4055 - 0{,}0953}{3{,}9120 - 1{,}0986} = 0{,}11;$$

$$m_2 = \frac{(\ln 1{,}3 - \ln 1{,}0)}{(\ln 50 - \ln 3)} = \frac{0.2624 - 0}{3{,}9120 - 1{,}0986} = 0{,}09.$$

Энергию активации определяем в соответствии с (8.14.):

$$U_1 = \frac{26{,}254(\ln 4{,}14 - \ln 1{,}1)}{0{,}11} = 315\text{кДж/моль},$$

$$U_2 = \frac{26{,}254(\ln 3{,}0 - \ln 1{,}0)}{0{,}09} = 320\text{кДж/моль}$$

Для определения характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетонов по ГОСТ 12801-98 дополнительно изготовили и испытали цилиндрические образцы в количестве 6 штук для каждой смеси. Результаты этих испытаний занесены в табл. 8.3.

Градиент скорости необратимого сдвига при испытании цилиндрических асфальтобетонных образцов высотой 71,4 мм на сжатие при скорости 50 мм/мин принимаем равным:

$$\gamma_1 = \frac{1}{3}\cdot\frac{50}{71{,}4}\cdot\frac{1}{60} = 0{,}0039\text{с}^{-1}.$$

Расчетный срок службы покрытия принят равным 5 лет или 5*8760 час.

Коэффициент, учитывающий вероятность прохождения колес автомобилей по одному следу, принят равным 0,2.

Находим максимальную расчетную температуру асфальтобетонного покрытия в соответствии с (8.4)

$$T_{n+} = -0{,}0306\cdot 41^2 + 3{,}8071\cdot 41 - 39 = 65{,}7^\circ\text{C}.$$

Находим минимальную расчетную температуру асфальтобетонного покрытия в соответствии с (8.5):

$$T_{n-} = 0{,}859\cdot(-28) + 1{,}7 = -22^\circ\text{C};$$

Вычисляем вероятности работы покрытия при конкретных температурах в соответствии с (8.7), например:

$$P(-15) = \frac{-15-(-22)+2}{12(65{,}7-(-22)-8)} = 0{,}00941;$$

$$P(25) = \frac{1}{(65{,}7-(-22)-8)} = 0{,}01254;$$

$$P(60) = \frac{1}{(65{,}7-(-22)-8)} - \frac{(60-65{,}7+10)}{12(65{,}7-(-22)-8)} = 0{,}00805.$$

С целью проверки рассматриваемых вариантов асфальтобетона по первому критерию сдвигоустойчивости определяем сопротивление их сдвигу в условиях работы в покрытии при максимальной расчетной температуре в соответствии с (8.11).

$$\tau_{p1} = 0{,}7 \cdot 0{,}877 + 0{,}312\left(\frac{4{,}0}{0{,}1 \cdot 6 \cdot 220}\right)^{0{,}11} \exp\left[\frac{0{,}11 \cdot 315}{0{,}008314}\left(\frac{1}{273{,}15+65{,}7} - \frac{1}{323{,}15}\right)\right] = 0{,}730\,\text{МПа}.$$

$$\tau_{p2} = 0{,}7 \cdot 0{,}962 + 0{,}23\left(\frac{3{,}0}{0{,}1 \cdot 6 \cdot 220}\right)^{0{,}09} \exp\left[\frac{0{,}09 \cdot 320}{0{,}008314}\left(\frac{1}{273{,}15+65{,}7} - \frac{1}{323{,}15}\right)\right] = 0{,}773\,\text{МПа}.$$

Среднее сопротивление асфальтобетона при сдвиге, в соответствии с критерием (1), должно быть выше максимального напряжения сдвига в покрытии (т.е. >0,75 МПа). Асфальтобетон состава №1 не отвечает критерию сопротивления сдвигу при максимальной расчетной температуре дорожного покрытия, характерной для заданного региона.

Для проверки рассматриваемых вариантов асфальтобетона по второму критерию сдвигоустойчивости определяем суммарную остаточную деформацию асфальтобетона, накапливаемую за расчетный срок эксплуатации покрытия, в соответствии с (8.12). Численное интегрирование производим в интервале между максимальной и минимальной расчетными температурами покрытия. В качестве примера приведен расчет пластической деформации только для дискретной температуры покрытия 60°С:

Таблица 8.3

**Физико-механические свойства асфальтобетонов**

| Наименование показателей | № 1 | № 2 | Требования |
|---|---|---|---|
| Средняя плотность, г/куб. см | 2,40 | 2,39 | - |
| Пористость минерального остова, % | 14,3 | 15,3 | ≤ 19 |
| Остаточная пористость, % | 2,7 | 3,0 | 2,5 – 5,0 |
| Водонасыщение, % по объему | 2,2 | 2,5 | 2,0 – 5,0 |
| Предел прочности при сжатии, МПа, | | | |
| при температуре: 20°С | 4,14 | 3,0 | ≥ 2,5 |
| 50°С | 1,1 | 1,0 | ≥ 1,0 |
| 0°С | 7,1 | 6,9 | ≤11,0 |
| Водостойкость | 1,00 | 0,99 | ≥0,90 |
| Водостойкость при длительном водонасыщении | 0,90 | 0,88 | ≥0.85 |
| Сцепление битума с минеральной частью | + | + | Выдержи-вает |
| Характеристики сдвигоустойчивости: | | | |
| Коэффициент внутреннего трения tg φ | 0,877 | 0,962 | |
| Сцепление при сдвиге, $C_{50}$, МПа | 0,312 | 0,23 | |
| Прочность на сжатие при 50 °С и скорости деформирования 50 мм/мин, МПа | 1,5 | 1,3 | |
| Время до разрушения образца, с | 4,0 | 3,0 | |

$$\Delta\gamma_{n2} = 0{,}2 \cdot 5 \cdot 8760 \cdot 220 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}0039 \left( \frac{0{,}75 - 0{,}7 \cdot 0{,}877}{0{,}312} \right)^{1/0{,}11} \cdot 0{,}00805 \cdot$$

$$\cdot \exp\left[ - \frac{315}{0{,}008314} \left( \frac{1}{273{,}15 + 60} - \frac{1}{323{,}15} \right) \right] = 0{,}111 = 11{,}1\%$$

$$\Delta\gamma_{n2} = 0{,}2 \cdot 5 \cdot 8760 \cdot 220 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}0039 \left( \frac{0{,}75 - 0{,}7 \cdot 0{,}962}{0{,}312} \right)^{1/0{,}09} \cdot 0{,}00805 \cdot$$

$$\cdot \exp\left[ -\frac{315}{0{,}008314} \left( \frac{1}{273{,}15 + 60} - \frac{1}{323{,}15} \right) \right] = 0{,}00107 = 0{,}107\%$$

По результатам численного интегрирования с помощью компьютера по всему диапазону эксплуатационных температур получены следующие величины суммарной остаточной деформации покрытия:

- для асфальтобетона № 1 – $\gamma_{n1}$ =1,3134 = 131 % > 10%;
- для асфальтобетона № 2 – $\gamma_{n2}$ =0,0027= 0,27 % < 10%.

Таким образом, состав асфальтобетона № 1 оказался не сдвигоустойчивым как по 1-му, так и 2-му критерию сдвигоустойчивости. Поэтому для устройства верхнего слоя покрытия на участке 740-760 км автомобильной дороги М-4 «Дон» следует принять состав асфальтобетонной смеси №2, которая отвечает двум критериям сдвигоустойчивости.

## 9. Требования к дорожно-строительным материалам, применяемым для работ по ликвидации колеи

### *9.1. Асфальтобетон*

Асфальтобетонные смеси используют как ремонтный материал для заполнения колеи и укладки верхних слоев покрытия. Выравнивающие слои в колее устраивают только из горячего, плотного многощебенистого асфальтобетона типа «А» или «Б», соответствующего требованиям [6].

- На дорогах I-II категорий применяют асфальтобетонные смеси только марки 1 как в верхних, так и нижних слоях.
- На дорогах III категории допустимо применять асфальтобетонные смеси марки 2 в нижнем слое колеи.

- На дорогах IV категории в нижних слоях колеи допустимо применять асфальтобетонные смеси типа – Б, марки 3 и пористые асфальтобетонные смеси марок 1 – 2, а также холодный асфальтобетон типа Бх марок 1 – 2. Верхний слой колей заполняют плотной, горячей асфальтобетонной смесью не ниже марки 2.

Качество асфальтобетона и составляющих компонентов должно соответствовать требованиям п. 8 настоящих рекомендаций и положениям [6]. Испытания асфальтобетона проводят по методикам [14, 24], приведенным в приложении 2 и п.8 настоящих рекомендаций.

### *9.2. Щебень, обработанный органическим вяжущим, для заполнения колей*

9.2.1. Выравнивание глубокой колеи на дорогах III-IV категорий проводят с использованием черного фракционированного щебня по способу расклинивания. При этом используют щебень из плотных горных пород, соответствующий требованиям [3, 4], обработанный одним из органических вяжущих (битум вязкий, битум жидкий или битумная эмульсия) в установке.

9.2.2. Для приготовления черного щебня и устройства выравнивающего слоя соблюдают рекомендации [3] п. 9.22-9.31. Температура нагрева органических вяжущих, при их использовании, должна соответствовать требованиям [3] п. 9.2.

В зависимости от глубины колеи крупность щебня может быть 5-10; 10-15; 15-20 мм. Минимальная толщина выравнивающего слоя составляет не менее 3 см. Если для приготовления черного щебня используют смесь фракций, то выравнивающий слой устраивают за один прием [3] без расклинивания.

Методы строительства слоев по способу пропитки и смешения на дороге для устройства выравнивающего слоя в колее не применяют.

9.2.3. Требования к качеству щебня.

Для устройства выравнивающих слоев следует применять щебень соответствующих фракций из плотных горных пород [4,11, 12]. Качество щебня для заполнения колеи зависит от категории дороги и состава движения.

Наличие зерен пластинчатой и игольчатой форм не должно превышать 10 % по массе.

• На дорогах III категории к щебню для заполнения колеи предъявляют следующие требования:

марка щебня по дробимости должна быть:

- не менее 1200 для щебня из изверженных и метаморфических горных пород;
- не менее 1000 – из осадочных горных пород;

марка щебня по морозостойкости должна быть не менее F-50.

Марка щебня по истираемости должна соответствовать И-1.

• На дорогах IV категории к щебню для выравнивания колеи предъявляют следующие требования:

марка щебня по дробимости должна быть:

- не менее 1000 для щебня из изверженных и метаморфических горных пород;
- не менее 800 для щебня из изверженных и метаморфических горных пород;

марка щебня по морозостойкости F-25.

Марка щебня по истираемости должна соответствовать И-2.

### *9.3. Требования к материалам слоев поверхностной обработки*

Свойства исходных материалов должны соответствовать требованиям соответствующих нормативных документов [3, 4, 8, 9, 10].

При устройстве поверхностной обработки следует применять щебень марки 1200 из трудношлифуемых пород кубовидной формы зерен. Поверхность щебня должна быть чистой, не содержать пыли и грязи. Битум должен выдерживать испытание на сцепление с поверхностью щебня, который применяют для поверхностной обработки. Наряду с битумом [6], могут быть использованы в качестве вяжущего ПБВ [10] и эмульсии [9] (преимущественно катионные) ЭБК-1 и ЭБК-2. Для улучшения сцепления вяжущего с поверхностью щебня применяют ПАВ.

### *9.4. Смеси битумоминеральные, открытые (БМО)*

9.4.1 Открытыми называют битумоминеральные смеси, содержащие более 55% (по массе) щебня или других каркасных составляющих с пористостью исходных материалов в 1,5 раза больше пористости минеральной части смеси.

9.4.2. Смеси подразделяют:

а) в зависимости от количественного содержания щебня (55-85%) смеси битумоминеральные, открытые подразделяются на три класса [27]: БМО 75/ 85, БМО 65/ 75, БМО 55/ 65;

б) в зависимости от крупности щебня смеси битумоминеральные, открытые подразделяют на:

«К» – крупнозернистые, с размером зерен до 25 мм;

«С» – среднезернистые до 20 мм;

«М» - мелкозернистые до 15(10) мм.

в) в зависимости от консистенции и технологического состояния:

пластичные;

сыпучие;

г) в зависимости от остаточной пористости после уплотнения:

высокоплотные 1,5-3,0 %;

среднеплотные 3,0-5.0%;

малой плотности 5,0-7.0%.

9.4.3. Смеси состоят из вяжущего (битум и ПАВ) и минеральных материалов (щебень, песок, минеральный порошок).

Зерновой состав смеси подбирают в соответствии с составом асфальтобетонных смесей плотных или литых [6, 29].

9.4.4. Физико-механические свойства смесей должны соответствовать требованиям [27], а исходных материалов – требованиям, предъявляемым к материалам в асфальтобетоне [6].

9.4.5. Приготовление смеси ведут на асфальтобетонном заводе горячим способом в соответствии с технологией приготовления горячих асфальтобетонных смесей [3, 6, 33].

9.4.6. Смеси битумоминеральные, открытые укладывают только в один слой износа (толщиной от 2,5 до 3,5 см) на свежую поверхность после фрезерования или выравнивания колеи на всю ширину полосы

движения для защиты поверхности от разрушения и повышения коэффициента сцепления колеса автомобиля с поверхностью покрытия.

9.4.7. Слои из смесей битумоминеральных, открытых укладывают в сухую погоду при температуре воздуха не ниже +5°С на сухое, подгрунтованное (битумом или эмульсией) покрытие или на свежеуложенный выравнивающий слой.

### *9.5. Смеси для тонкослойных покрытий*

9.5.1. Тонкослойные покрытия устраивают для повышения безопасности движения на дорогах. Толщина слоя тонкослойного покрытия может быть от 1,5 до 3,5 см, в зависимости от крупности щебня и вида вяжущего. Тонкослойные покрытия строят из щебнемастичных асфальтобетонов (ЩМА) [25], смесей эмульсионно-минеральных для устройства слоев износа [26]. При строительстве тонких слоев применяют горячий или холодный способы строительства.

9.5.2. Горячие щебнемастичные асфальтобетоны (ЩМА) применяют для устройства верхних слоев покрытия любых технических категорий.

9.5.3. Смеси ЩМА, в зависимости от крупности щебня, подразделяют:

ЩМА – 10 при размере фракций щебня до 10 мм;
ЩМА – 15 ..... ..... ..... до 15 мм;
ЩМА – 20 ..... ..... ..... до 20 мм.

9.5.4. В состав смесей ЩМА входят: щебень фракционированный с максимальной крупностью зерен от 10 до 20 мм; песок дробленный; известняковый минеральный порошок; битум нефтяной дорожный; армирующие добавки (акриловые, целлюлозные или стеклянные волокна) в рациональном соотношении.

9.5.5. Зерновые составы минеральной части щебнемастичных асфальтобетонных смесей и показатели физико-механических свойств должны соответствовать требованиям [25].

9.5.6. ЩМА готовят на асфальтобетонном заводе по технологии, принятой для приготовления горячего асфальтобетона. Температура смесей при укладке смеси должна составлять 150-170°С.

9.5.7. Для приготовления смесей, устойчивых к образованию колеи, применяют щебень из плотных горных пород. Наличие зерен пластической и игольчатой форм не должно превышать 5% по массе.

Марка щебня по дробимости должна быть не ниже 1200 для изверженных и метаморфических горных пород и не ниже 1000 для осадочных горных пород.

Марка щебня по морозостойкости – не ниже F-50 .

9.5.8. Песок дробленый должен иметь марку по прочности не ниже 1000, содержание глинистых частиц не белее 0,5%, содержание зерен мельче 0,16 мм в песке не нормируется.

9.5.9. Битумы нефтяные дорожные вязкие должны соответствовать требованиям [8], а полимерно-битумное вяжущее (ПБВ) – [10].

### *9.6. Смеси эмульсионно-минеральные для устройства слоев износа холодным способом*

Эмульсионно-минеральные смеси могут быть использованы для ликвидации колеи, так как их можно укладывать в один, два или три слоя. Эмульсионно-минеральная смесь – это рационально подобранная смесь из минеральных заполнителей, битумной эмульсии, добавок [25, 35]. Перемешивание смеси проводят на дороге в бункере специализированной укладочной машины. Приготовление и укладку смеси ведут при температуре окружающей среды без нагрева компонентов. При приготовлении смесей используют дробленые пески или отсевы дробления щебня трудношлифуемых пород. Для регулирования времени распада катионной битумной эмульсии и регулирования консистенции смеси применяют портландцемент или молотую гашеную известь. Укладку смеси ведут специальной раскладочной машиной. Эмульсионно-минеральные смеси могут быть уложены в один или несколько слоев.

## 10. Контроль качества работ

10.1. Технический надзор и производственный контроль в процессе ремонтных работ осуществляют в целях:

- выполнения всех видов работ в соответствии с проектно-сметной и нормативно-технической документацией;
- обеспечения соответствия применяемых материалов требованиям проекта;
- проверки соответствия объемов выполняемых работ по отдельным видам и законченным ремонтным объектам требованиям соответствующих нормативных документов.

10 2. Контроль качества ремонта дорог с колеей проводят в три этапа: входной контроль, операционный и приемочный.

10.3. На стадии входного контроля контролируют качество дорожно-строительных материалов и смесей, предназначенных для заполнения колей, в соответствии с действующими нормативными документами на эти материалы [4, 5, 6,7, 8, 9] и требованиями настоящих рекомендаций (п. 9).

10 4. На стадии операционного контроля следят за качеством выполнения каждой технологической операции в соответствии с требованиями [3], рекомендациями по устройству каждого из укладываемых слоев по действующим нормативным документам [6, 25, 26, 27, 30, 31,33, 35] и проектным требованиям.

10.4.1. При устройстве поверхностной обработки контролируют:

- температуру битума в каждом битумовозе;
- однородность, чистоту и равномерность распределения щебня – постоянно;
- равномерность распределения вяжущего – постоянно;
- расход материалов путем взвешивания распределенного материала на площади 0,25 м$^2$ – постоянно.

10.4.2. При заполнении колеи ремонтным материалом из асфальтобетонной смеси, устройстве выравнивающих слоев и слоев покрытия из асфальтобетонных смесей контролируют:

- температуру асфальтобетонной смеси в каждом автомобиле;
- качество продольных сопряжений ремонтного слоя и старого покрытия – постоянно;

- качество асфальтобетона по свойствам вырубок (кернов) в трех местах на 7000м$^2$, а также прочность сцепления слоев и коэффициент уплотнения [3].

10.4.3. При заполнении колей щебнем, обработанным органическим вяжущим, контролируют:

- температуру щебня в каждом автомобиле;
- однородность смеси -- визуально;
- коэффициент уплотнения и качество смеси (3 пробы на 1 км).

10.4.4. Поперечные уклоны и ровность покрытия контролируют в соответствии с требованиями [3].

10. 5. В случае несоответствия выполненных работ утвержденным проектным решениям и требованиям нормативных документов, указанные работы должны быть переделаны выполняющей организацией.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение 1**

Таблица П.1.1

Результаты визуального обследования

Местоположение участка _____, полоса движения _____

| Пикет | Состояние проезжей части, обочин, водоотводных сооружений, характеристика колеи | Примечания |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

***Примечание.*** В таблице отмечают участки, требующие инструментальных обследований.

Обследование выполнено _____ _____
дата подпись

Таблица П.1.2

## Ведомость маркировки кернов

Местоположение участка на дороге _____,
№ полосы движения _____

| Пикет | Створ | Номер керна в точках | | | | | | Примечания |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | | 2 | | 3 | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

***Примечание.*** Места отбора проб в поперечном профиле дороги: точка 1 расположена на дне внешней колеи (ближе к обочине), примерно в середине внешней колеи; точка 2 – удалена от оси дороги либо от линии разделяющей полосы движения на 0,2-0,3 м; точка 3 расположена на вершине гребня выпора. Точка 3 является дополнительной.

Отбор кернов проведен_____ _____
дата подпись

Таблица П.1.3

Состояния слоев дорожной одежды в керне
Расположение участка _____, № полосы движения ____

| № керна | Толщина слоя (н), мм; Плотность слоя (g) кг/м$^3$ в пробах | | | | | | Примечания |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | | 2 | | 3 | | |
| | н | g | н | g | н | g | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

***Примечание.*** В таблице отмечают состояние каждого слоя в кернах.

Обследование выполнено _____ _____
дата подпись

Таблица П.1.4

Свойства слоев дорожной одежды
(не переформованные образцы)

Местоположение участка на дороге _____,
№ полосы движения _____, № створа_____

| №№ слоя, керна | Наименование испытаний (п.2.6.3) | Характеристика слоев в пробах: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | № 1 | № 2 | № 3 |
| | Прочность сцепления между слоями | | | |
| | Влажность в естественном состоянии | | | |
| | Водонасыщение | | | |
| | Прочность сцепления между слоями | | | |
| | Влажность в естественном состоянии | | | |
| | Водонасыщение | | | |
| | Прочность сцепления между слоями | | | |
| | Влажность в естественном состоянии | | | |
| | Водонасыщение | | | |
| | Прочность сцепления между слоями | | | |
| | Влажность в естественном состоянии | | | |
| | Водонасыщение | | | |
| | Прочность сцепления между слоями | | | |
| | Влажность в естественном состоянии | | | |
| | Водонасыщение | | | |
| | Прочность сцепления между слоями | | | |
| | Влажность в естественном состоянии | | | |
| | Водонасыщение | | | |
| | | | | |

Обследование выполнено _____ _____
дата подпись

Таблица П.1.5

**Физико-механические свойства асфальтобетона в переформованных образцах слоев дорожной одежды**

Местоположение участка на дороге _____,
№ полосы движения _____, № створа _____, № слоя_____

| Вид испытания (п. 2.6.4) | Свойства в пробах | | | ГОСТ 9128-97 |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Средняя плотность, кг/м$^3$ | | | | |
| Коэффициент уплотнения | | | | |
| Водонасыщение, % по объему | | | | |
| Набухание, % по объему | | | | |
| Предел прочности при сжатии, МПа, при температурах, $^{o}$С +50 | | | | |
| +20 | | | | |
| 0 | | | | |
| Предел прочности на растяжение при изгибе | | | | |
| Сдвигоустойчивость | | | | |
| Водостойкость | | | | |

***Примечание.*** В таблице необходимо выделить слои, не соответствующие требованию нормативных документов.

Обследование выполнено _____ _____
дата подпись

Таблица П.1.6

Зерновой состав материалов в слоях дорожнои одежды

Расположение участка _____ № полосы _____ № створа_____

| № слоя | № пробы | Содержание битума | Содержание минеральных зерен, % мельче данного размера, мм: | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 40 | 20 | 10 | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,14 | 0,071 |
| n | Гост | | | | | | | | | | | |
| | №1 | | | | | | | | | | | |
| | №2 | | | | | | | | | | | |
| | №3 | | | | | | | | | | | |
| n+1 | Гост | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| ... | Гост | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| Заключение | Соответствие состава смеси в слоях проектным требованиям | | | | | | | | | | | |

Таблица П.1.7

Свойства вяжущего после экстрагирования

Местоположение участка на дороге _____,
№ полосы движения _____, № створа _____ № слоя _____,

| Вид испытаний | ГОСТ 9128-97 | Свойства вяжущего в створе | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Глубина проникания иглы, 0,1 мм | | | | | | |
| Растяжимость, мм | | | | | | |
| Температура размягчения по кольцу и шару, °С | | | | | | |
| Температура хрупкости по Фраасу, °С | | | | | | |
| Сцепление битума с мрамором или песком, по контрольному образцу | | | | | | |
| Примечания | | | | | | |

***Примечание.*** В таблицах необходимо выделить слои, не соответствующие требованию нормативных документов.

Обследование выполнено _____ _____
дата подпись

Таблица П.1.8

Качество щебня в слоях дорожной одежды

Местоположение участка на дороге _____ ,
№ полосы движения _____ , № створа____ , № слоя _____

| Слой дорожной одежды | Вид испытаний щебня по ГОСТ 8269-97 | ГОСТ 8267-93 | Свойства щебня в пробах | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | |
| | Дробимость | | | | | |
| | Истираемость | | | | | |
| | Морозостойкость | | | | | |
| | Дробимость | | | | | |
| | Истираемость | | | | | |
| | Морозостойкость | | | | | |
| | Дробимость | | | | | |
| | Истираемость | | | | | |
| | Морозостойкость | | | | | |
| | Дробимость | | | | | |
| | Истираемость | | | | | |
| | Морозостойкость | | | | | |
| | Дробимость | | | | | |
| | Истираемость | | | | | |
| | Морозостойкость | | | | | |

Обследование выполнено _____ _____
дата подпись

_____

_____

Таблица П.1.9

## Качество песка в слоях дорожной одежды

Местоположение участка на дороге _____ ,
№ полосы движения _____ , № створа _____ , № слоя _____

| Вид испытаний по ГОСТ 8735-88 | ГОСТ 8736-93 | Свойства песка в пробах | | | Примечания |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Обследование выполнено _____ _____
дата подпись

Таблица П.1.10

## Ведомость нестабильных слоев

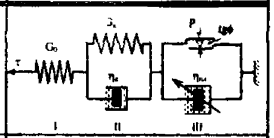
Участок дороги _____

| Расположение участка на дороге | № слоя и материал нестабильного слоя | Причины нестабильности слоя |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Ведомость составил_____ _____

дата подпись

***Систематизация методов испытания для оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона***

| Наименование метода | № ГОСТ/§ | Требования | Цель метода | Результаты отработки | Описание |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. Сдвигоустойчивость асфальтобетона в покрытии | СТП - 007-97, Метод расчета | 1. $\tau > 0{,}75$ МПа; 2. $\gamma < 10$ % | Обеспечить устойчивость покрытия к колееобразованию | Апробирован при испытании образцов из асфальтобетонных покрытий |  |
| *1.1. Коэффициент внутреннего трения, tgφ* | 12801, § 18 | Не менее 0,62 – 0,93 в зависимости от типа гранулометрии и условий эксплуатации покрытия | Оценить сопротивление минерального остова при сдвиге (статический предел текучести) | Устойчивая корреляция с зерновым составом и формой зерен крупного заполнителя в асфальтобетонной смеси | Оценивается разностью работ деформирования образцов при двух схемах нагружения |
| *1.2. Сцепление при сдвиге (50 °С, 50 мм/мин), $C_{50}$, МПа* | 12801, § 18 | Не менее 0,23 – 0,50 МПа в зависимости от типа смеси и условий эксплуатации | Оценить вязкое сопротивление сдвигу (когезию асфальтового вяжущего). Рассчитать коэффициент пластичности для оценки влияния времени нагружения на сдвигоустойчивость асфальтобетона | Установлены зависимости от типа смеси, содержания и качества битума, минерального порошка и др. | Оценивается прочностью при сжатии при 50 °С и 50 мм/мин |
| *1.3. Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа* | 12801, § 15 | Не менее 0,9–1,6 МПа в зависимости от типа смеси и условий эксплуатации | | То же | Определяется при 50 °С и 3 мм/мин |
| *1.4. Предел прочности при сжатии при 20 °С, МПа* | 12801, § 15 | Не менее 2.0–2.5 МПа в зависимости от условий эксплуатации | Оценить влияние температуры на сдвигоустойчивость, а также показатели водостойкости | То же | Определяется при 20 °С и 3 мм/мин |

## Список литературы

1. СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика».
2. СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги».
3. СНИП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги», М, 1986 г.
4. ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ». Технические условия.
5. ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ». Технические условия.
6. ГОСТ 9128-97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон». Технические условия.
7. ГОСТ 16557-78 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей». Технические условия.
8. ГОСТ 22245-90* «Битумы нефтяные дорожные вязкие». Технические условия.
9. ГОСТ 18659-81 «Дорожные эмульсии». Технические условия.
10. ОСТ 218.010-98 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блок-сополимеров типа СБС». Технические условия.
11. ГОСТ 3344-83 «Щебень и песок, шлаковые для дорожного строительства. Технические условия».
12. ГОСТ 8269-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ». Методы испытаний.
13. ГОСТ 8735-88* «Песок для строительных работ». Методы испытаний.
14. ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства». Методы испытаний.
15. ГОСТ 11501-78* «Битумы нефтяные». Метод определения глубины проникания иглы.
16. ГОСТ 11505-75* «Битумы нефтяные». Метод определения растяжимости.
17. ГОСТ 11506-73* «Битумы нефтяные». Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару.
18. ГОСТ 11507-78* «Битумы нефтяные». Метод определения температуры хрупкости по Фраасу.
19. ГОСТ 12784-78 «Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей». Методы испытаний.
20. ГОСТ 9128-97 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон». Технические условия.

21. ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

22. МСН 2-2001 «Проектирование нежестких дорожных одежд». М. 2001 г.

23. ВСН 197-91 «Инструкция по проектированию жестких дорожных одежд». М., 1992. С. 83.

24. СТП 007-97 Стандарт корпорации «Трансстрой». «Метод испытания асфальтобетона на устойчивость к колееобразованию», М., 1998 г.

25. ТУ-5718-001-00011168-00 571841 «Смеси асфальтобетонные щебнемастичные и асфальтобетон (ЩМА)». Технические условия. М., 2000. С. 14.

26. ТУ 5718-001-53737504-00 «Смеси эмульсионно-минеральные для устройства слоев износа». М., 2000 г.

27. ТУ 218 РСФСР 601-83 «Смеси битумоминеральные открытые для устройства макрошероховатых слоев дорожных покрытий». Технические условия. М., 1989.

28. Методические рекомендации по устройству защитного слоя износа из литых эмульсионно-минеральных смесей типа «Сларри Сил». ОДМ. М., Информавтодор, 2001 г.

29. ТУ 400-24-158-89* "Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон». Технические условия. М., 1995 г.

30. ВСН 60-97 «Инструкция по устройству и ремонту дорожных покрытий с применением литого асфальтобетона». М., 1997 г.

31. ВСН 7-98 «Инструкция по применению литых бетонных смесей в дорожном строительстве».

32. ВСН 52-89 «Указания по оценке прочности и расчету усиления нежестких дорожных одежд». М., 1989 г.

33. Пособие по строительству асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов (к СНиП 3.06.06-88, СНиП 3.06.03-85). М., 1991 г.

34. Пособие по приготовлению и применению битумных дорожных эмульсий (к СНиП 3.06.03-85). М., 1989 г.

35. ТУ 2296-041-002049-96. «Сетка стеклянная, нитепрошивная, пропитанная ССНП».

36. ТУ 2696-056-00204949-99 «Сетка базальтовая, пропитанная дорожная СБП-Д».

37. ТУ 5952-034-002049-96 «Рубленное базальтовое волокно».

38. Рекомендации по применению влажных органоминеральных смесей для устройства конструктивных слоев дорожных одежд. М., 1986 г.

39. Superpave performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing. Asphalt Institute Superpave Series N1 (SP-1), 1997, Printing, s.67

40. Компьютерная программа подбора оптимальных составов асфальтобетонных смесей (АСФПРО). М., фирма «Дорекс», 1997-2001.

**Содержание**

Часть 1

1. Определения ..... 5
2. Организация работ по измерению параметров и глубины колеи на автомобильных дорогах ..... 6
3. Требования к измерительному оборудованию ..... 8
4. Проведение измерений ..... 10
5. Обработка результатов измерений ..... 16
6. Требования к состоянию дорог по глубине колеи ..... 20

Часть 2

1. Общие положения ..... 23
2. Сбор и обработка исходных данных ..... 23
3. Расчет и прогнозирование остаточных деформаций в грунте земляного полотна ..... 26
4. Расчет и прогнозирование остаточных деформаций в слоях основания, не содержащих органическое вяжущее .. 32
5. Расчет и прогнозирование остаточных деформаций в слоях асфальтобетона и других битумосодержащих слоях ..... 36
6. Определение общей глубины колеи ..... 43

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Примеры расчета и прогнозирования глубины колеи ..... 44
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Расчетные характеристики дорожно-строительных материалов ..... 69
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Методика определения вязкости асфальтобетона ..... 75

Часть 3

Введение ..... 78

1. Определения и понятия ..... 79
2. Методика обследования участков дорог с колеей ..... 80

2.1. Общие положения ..... 80
2.2. Состав и последовательность работ при обследовании участков дорог ..... 82
2.3. Полевые обследования ..... 83
2.4. Инструментальные обследования ..... 85
2.5. Анализ состояния слоев дорожной конструкции ..... 92

3. Классификация методов борьбы с колееобразованием на автомобильных дорогах и условия их применения ..... 93
3.1. Основные направления предупреждения и ликвидации колеи на дорогах ..... 93
3.2. Организационно-технические мероприятия по снижению темпов колееобразования ..... 94
3.3. Методы ликвидации колей без устранения или с частичным устранением причин колееобразования ..... 94
3.4. Методы ликвидации колей с устранением причин их образования ..... 95
3.5. Методы предупреждения образования колей ..... 95

4. Основные виды работ по ликвидации колей без устранения или с частичным устранением причин колееобразования ..... 96
4.1. Заполнение колей ремонтным материалом ..... 96
4.2. Подготовительные работы ..... 96
4.3. Укладка выравнивающего слоя ..... 97
4.4. Заполнение колеи инъекционным способом ..... 104
4.5. Ликвидация колей методом горячей регенерации (способ термопрофилирования) ..... 106
4.6. Ликвидация колеи глубиной до 25 мм путем частичного или поверхностного фрезерования холодным способом ..... 107

5. Методы ликвидации колей с устранением причин колееобразования ..... 110
5.1. Принципы ликвидации колей ..... 110
5.2. Методы регенерации старого асфальтобетона при ликвидации колей с устранением причин колееобразования ..... 110
5.3. Удаление нестабильных слоев ..... 118
5.4. Усиление дорожной одежды ..... 121

5.5. Осушение и стабилизация грунтов земляного полотна ..... 127

6. Мероприятия по предупреждению образования колей ..... 128

7. Рекомендации по технологии производства работ по ликвидации колеи ..... 130
7.1. Назначение технологии производства работ ..... 130
7.2. Ограничения по условиям погоды ..... 130
7.3. Особенности применения регенерации методами ремиксинга (термосмешения) при ликвидации колей .... 131
7.4. Особенности применения методов холодного фрезерования при ликвидации колей ..... 133
7.5. Комбинированные методы регенерации и повторного использования материалов при ликвидации колей ..... 134
7.6. Примеры технологических операций при ликвидации колей в процессе ремонта дорожных одежд ..... 136

8. Методика расчета асфальтобетонного покрытия на устойчивость к образованию колей ..... 137
8.1. Общие положения ..... 137
8.2. Критерии сдвигоустойчивости асфальтобетона в покрытии ..... 138
8.3. Расчетные условия работы асфальтобетонных покрытий ..... 139
8.4. Основные структурно-реологические свойства асфальтобетона при сдвиге ..... 142
8.5. Алгоритм оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона в покрытии ..... 145
8.6. Определение характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетона в лаборатории ..... 146
8.7. Пример проектирования состава асфальтобетона по критериям сдвигоустойчивости ..... 147

9. Требования к дорожно-строительным материалам, применяемым для работ по ликвидации колеи ..... 153
9.1. Асфальтобетон ..... 153
9.2. Щебень, обработанный органическим вяжущим, для заполнения колей ..... 154

9.3. Требования к материалам слоев поверхностной обработки ..... 155
9.4. Смеси битумоминеральные, открытые (БМО) ..... 156
9.5. Смеси для тонкослойных покрытий ..... 157
9.6. Смеси эмульсионно-минеральные для устройства слоев износа холодным способом ..... 158

10. Контроль качества работ ..... 159

Приложение 1 ..... 162
Приложение 2 ..... 172

Список литературы ..... 173

Подписано в печать 12.05.2003 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 10,0. Печ.л. 11,25. Тираж 150. Изд. № 617.

**Адрес ГП «Информавтодор»:**
**129085, Москва, Звездный бульвар, д. 21, стр. 1**
**Тел. (095) 747-9100, 747-9181, тел./факс: 747-9113**
**e-mail:** gost.e-ecolog.ru
**Сайт:** gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru