



О. П. Афиногенов  
С. В. Ефименко  
В. Н. Ефименко

# КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

*Серия «Учебники ТГАСУ»*

**О.П. Афиногенов, С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко**

## **КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

Под редакцией С.В. Ефименко

*Рекомендовано Учебно-методическим советом ТГАСУ  
в качестве учебного пособия для бакалавров,  
обучающихся по направлению подготовки «Строительство»  
(программа подготовки «Автомобильные дороги»),  
и специалистов, подготовка которых осуществляется  
по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий  
и сооружений», специализация «Строительство автомагистралей,  
аэродромов и специальных сооружений»*

Томск  
Издательство ТГАСУ  
2020

УДК 625.84/.85.001.2(075.8)

ББК 39.311

А94

*Серия «Учебники ТГАСУ» основана в 2013 году*

**Афиногенов, О.П.**

А94

Конструирование и расчет дорожных одежд : учебное пособие / О.П. Афиногенов, С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко ; под ред. С.В. Ефименко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2020. – 444 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-93057-930-7

Приведены общие сведения об особенностях функционирования дорожных одежд автомобильных дорог, обзор методов их расчета. Рассмотрен порядок конструирования и расчета дорожных одежд, регламентированный действующими нормативными и методическими документами. Изложены особенности расчета жестких дорожных одежд в частных случаях, а также необходимые сведения для учета при проектировании в природных условиях Западной Сибири. Даны необходимые комментарии и примеры расчета.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 08.03.01 «Строительство» (программа подготовки «Автомобильные дороги»), и специалистов, подготовка которых осуществляется по специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», специация «Строительство автомагистралей, аэродромов и специальных сооружений. Может быть полезно слушателям факультетов повышения квалификации, а также специалистам проектных организаций.

УДК 625.84/.85.001.2(075.8)

ББК 39.311

**Рецензенты:**

**В.В. Ушаков**, докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог», проректор по научной работе МАДИ (ТУ), заслуженный работник высшей школы РФ;

**В.А. Шаламанов**, докт. техн. наук, профессор Кузбасского государственного университета.

ISBN 978-5-93057-930-7

© Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2020

© Афиногенов О.П., Ефименко С.В., Ефименко В.Н., 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	5
<b>1. Работа дорожных одежд автомобильных дорог</b> .....	6
1.1. Понятие о надежности, долговечности и сроках службы дорожных одежд .....	6
1.2. Воздействие на дорожную одежду нагрузки от транспортных средств .....	12
1.3. Природные и климатические воздействия на дорожную конструкцию .....	14
1.4. Характерные повреждения и дефекты эксплуатируемых дорожных одежд .....	21
1.5. Влияние состояния дорожной одежды на показатели работы автомобильного транспорта .....	31
<b>2. Конструирование дорожных одежд</b> .....	37
2.1. Назначение конструкций дорожных одежд и основные требования, предъявляемые к ним .....	37
2.2. Конструктивные слои, классификация дорожных одежд .....	39
2.3. Задачи и принципы конструирования дорожных одежд .....	44
2.4. Эффективность применения и особенности конструирования жестких дорожных одежд .....	47
2.5. Особенности конструирования нежестких дорожных одежд .....	70
2.6. Конструирование дополнительных слоев основания .....	76
2.7. Особенности конструирования дорожных одежд со слоями из малопрочных материалов и побочных продуктов промышленности .....	80
2.8. Повышение прочности и стабильности рабочего слоя земляного полотна .....	81
<b>3. Обзор методов расчета дорожных одежд</b> .....	85
3.1. Методы расчета жестких дорожных одежд .....	85
3.2. Методы расчета нежестких дорожных одежд .....	107
<b>4. Расчетные параметры подвижной нагрузки</b> .....	114
<b>5. Расчетные характеристики материалов</b> .....	124
<b>6. Практическая методика расчета жестких дорожных одежд с монолитными цементобетонными покрытиями</b> .....	127
6.1. Общие положения расчета жестких дорожных одежд .....	127
6.2. Расчет толщины монолитного покрытия .....	128
6.3. Расчет основания .....	134
6.4. Пример расчета .....	140
<b>7. Особые случаи расчета жестких дорожных одежд</b> .....	150

7.1. Расчет асфальтобетонных покрытий с цементобетонным основанием.....	150
7.2. Расчет сборных покрытий.....	151
7.3. Расчет сборно-монолитных покрытий.....	159
7.4. Определение толщины покрытий на стадии технико-экономических обоснований.....	166
<b>8. Расчет нежестких дорожных одежд.....</b>	<b>170</b>
8.1. Общие положения нормативного метода расчета.....	170
8.2. Расчет дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу.....	176
8.3. Расчет по сдвигу в грунте земляного полотна и слабосвязанных материалах.....	180
8.4. Расчет монолитных материалов на растяжение при изгибе.....	184
8.5. Пример расчета.....	188
<b>9. Обеспечение морозоустойчивости дорожных одежд.....</b>	<b>200</b>
<b>10. Проектирование осушения дорожной одежды и земляного полотна.....</b>	<b>223</b>
<b>11. Учет региональных особенностей проектирования дорожных одежд.....</b>	<b>237</b>
11.1. Принципы регионального районирования и назначения расчетных характеристик грунтов.....	237
11.2. Значения характеристик грунтов для расчета дорожных одежд в условиях Алтайского края.....	246
11.3. Особенности проектирования дорожных одежд в условиях Кемеровской области.....	257
11.4. Значения характеристик грунтов для расчета дорожных одежд на территории Новосибирской области.....	304
11.5. Особенности проектирования дорожных одежд на территории Томской области.....	342
11.6. Расчетные значения характеристик грунтов для проектирования дорог в Тюменской области.....	361
<b>Библиографический список.....</b>	<b>394</b>
<b>Приложение 1. Характеристики грунтов и материалов дорожных одежд.....</b>	<b>404</b>
<b>Приложение 2. Характеристики транспортных средств.....</b>	<b>432</b>
<b>Приложение 3. Расчетная амплитуда колебаний температуры на поверхности покрытия.....</b>	<b>441</b>
<b>Приложение 4. Условные обозначения материалов в слоях дорожной одежды.....</b>	<b>442</b>
<b>Приложение 5. Пример оформления поперечного профиля конструкции земляного полотна и дорожной одежды.....</b>	<b>443</b>

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дорожная одежда – один из наиболее ответственных и материалоёмких элементов автомобильной дороги. Состояние дорожного покрытия во многом определяет режимы и безопасность движения, эффективность функционирования автомобильного транспорта.

Пособие посвящено вопросам конструирования и расчета наиболее распространенных типов дорожных одежд с учетом действующих нормативных документов [1–3] и является переработанным и дополненным изданием учебных пособий [4, 5]. Цель пособия – обеспечить студентов высших учебных заведений, осуществляющих бакалаврскую и специальную подготовку по направлениям 08.03.01 «Строительство» и 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», слушателей факультетов повышения квалификации необходимым материалом для учебного проектирования дорожных одежд. При подготовке пособия учтены положения, сформулированные в работах [6, 7].

Значительное внимание уделено особенностям проектирования автомобильных дорог общего пользования в регионе основной добычи углеводородного сырья России – Западной Сибири. Приведены уточненные климатические параметры, расчетные характеристики грунтов для территорий Алтайского края, Кемеровской, Новосибирской, Томской и Тюменской областей, полученные в результате многолетних исследований сотрудников Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ) [8, 9]. В предлагаемой работе отражены положения актуализированных и вновь принятых в отрасли норм проектирования дорожных одежд, последних результатов научных исследований.

Учебное пособие подготовили кандидат технических наук, доцент О.П. Афиногенов (директор Кузбасского центра дорожных исследований), доктор технических наук, декан дорожно-строительного факультета С.В. Ефименко, доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги» В.Н. Ефименко (Томский государственный архитектурно-строительный университет).

# 1. РАБОТА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

## 1.1. Понятие о надежности, долговечности и сроках службы дорожных одежд

Используемая в настоящее время система терминов и понятий, относящихся к службе дорожных одежд, предложена профессором А.К. Бирулей [10]. Большой вклад в её развитие внесли профессора И.А. Золотарь, В.К. Некрасов, С.В. Коновалов, Ю.М. Яковлев, М.С. Коганзон и др. [11]. Ниже рассмотрена терминология, применяемая специалистами дорожной отрасли при конструировании и расчёте дорожных одежд.

*Долговечность* – свойство дорожной одежды сохранять работоспособность до наступления определенного предельного состояния при нормальном эксплуатационном содержании и ремонтах. Этот термин с таким же содержанием может быть применен не только ко всей одежде, но и к каждому её слою отдельно. Предельное состояние дорожной одежды наступает, когда её дальнейшая эксплуатация становится неэффективной (нерациональной) из-за старения, разрушения, частых отказов или увеличения затрат на ремонт. Показателем долговечности может служить, например, срок службы до капитального ремонта без потери основных эксплуатационных качеств [12]. Предельное состояние может также определяться так называемым моральным устареванием покрытия.

Следует различать показатели, характеризующие долговечность по наработке (ресурс) и календарному времени службы (срок службы). Ресурс и срок службы могут отсчитываться от момента сдачи в эксплуатацию до первого капитального ремонта, между капитальными ремонтами и до реконструкции или утилизации (ликвидации). Таким образом, под долговечностью дорожной одежды подразумевают предельный срок её службы, в течение которого она сохраняет требуемые эксплуатационные качества.

В технике принято различать долговечность моральную и физическую. Моральная долговечность дорожной одежды характеризуется сроком службы до того момента, когда она перестает отвечать изменяющимся условиям эксплуатации или режимам технологических процессов.

## 1. Работа дорожных одежд автомобильных дорог

Физическая долговечность дорожной одежды определяется продолжительностью износа и (или) других деструктивных процессов в основных несущих элементах (слоях) конструкции под воздействием транспортных нагрузок и физико-химических факторов.

Долговечность сокращается при неправильной эксплуатации дороги, перегрузках одежды, а также при резко выраженных разрушающих воздействиях окружающей среды (действие грунтовой и поверхностной воды, солнечной радиации, мороза и т. д.) В значительной степени долговечность дорожных одежд зависит от правильного выбора конструктивно-технологических решений (с учетом особенностей географического комплекса), специфики эксплуатации, обеспечения качества строительства.

Поскольку долговечность – один из показателей качества продукции, актуальность совершенствования методов проектирования дорожных одежд с продолжительным жизненным циклом достаточно высока. Для обеспечения долговечности дорожных одежд необходимо учитывать положения теории управления качеством (рис. 1.1) [13], предварительно внедрив их в учебный процесс подготовки проектировщиков и строителей автомобильных дорог.

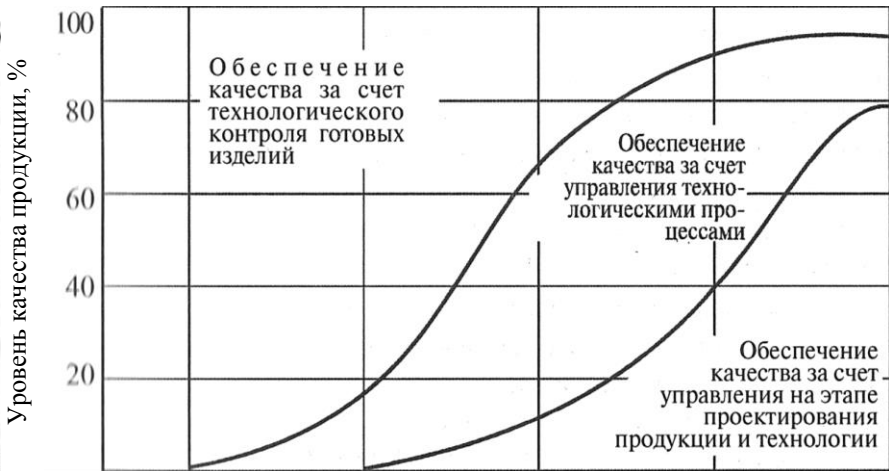


Рис. 1.1. Влияние вида управления на качество продукции



Физическая и моральная долговечность должны быть согласованы между собой: чем меньше моральная долговечность, тем ниже должны быть требования и к физической долговечности.

При решении проблемы долговечности дорожных одежд следует учитывать, что она – лишь одна из характеристик надежности конструкции. Надежность любого инженерного сооружения характеризуется способностью сохранять значения установленных параметров функционирования в определенных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования и технического обслуживания [14]. Другими словами, *надежность* – это устойчивость качества системы (инженерного сооружения) по отношению ко всем возможным возмущениям, которые могут встретиться при изготовлении, возведении, полезном функционировании, транспортировании, хранении и т. п. В зависимости от назначения системы и условий ее эксплуатации надежность может включать такие свойства, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость (резервируемость), или любое сочетание этих свойств.

Профессор А.К. Бируля предложил следующее определение надежности дорожной одежды [15]: «Надежность – это свойство одежды, обусловленное безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью всего сооружения или его частей и обеспечивающее сохранение эксплуатационных показателей одежды в заданных пределах».

Основное понятие, используемое в теории надежности, – понятие отказа, т. е. утраты работоспособности, наступающее внезапно или постепенно. *Работоспособность* – такое состояние дорожной одежды, при котором она соответствует всем требованиям, предъявляемым к ее основным параметрам. К числу основных параметров дорожных одежд относят несущую способность (прочность), износостойкость, ровность, сцепление колеса с поверхностью покрытия, их принято называть транспортно-эксплуатационными показателями или показателями качества.

Показатели качества изменяются с течением времени. Их изменение, превышающее допустимые значения, способствует частичному или полному отказу дорожной одежды.

Мерой работоспособности обычно является срок службы одежды, определяемый массой грузов и транспортных средств (масса брутто),

## *1. Работа дорожных одежд автомобильных дорог*

---

пропущенных дорогой от её сдачи в эксплуатацию до потребности в капитальном ремонте или между капитальными ремонтами (полная работоспособность) либо за период от сдачи в эксплуатацию до ремонта или между ремонтами (частичная работоспособность) [12]. Такой подход нельзя признать правильным, поскольку при этом устанавливаются не срок службы, а ресурс дорожной одежды (см. выше). Кроме того, не учитывают и другие факторы, влияющие на работоспособность.

Факторы, действующие на дорожную одежду, можно объединить в следующие группы:

– транспортные нагрузки (состав движения, нагрузка на колесо, интенсивность, скорость, распределение по ширине проезжей части и др.);

– показатели водно-теплого режима (влажность и температура земляного полотна и слоев дорожной одежды и др.);

– методы, сроки и качество работ по содержанию, ремонту и капитальному ремонту дорожной одежды и других дорожных сооружений.

Применительно к условиям Сибири данный вопрос подробно рассмотрен в работах [9, 109, 110].

Многочисленность и сложность факторов, определяющих работоспособность дорожных одежд, в сочетании с практической важностью проблемы обеспечения их долговечности и надежности вызывают необходимость исследований в этой области. В настоящее время достаточно чётко прослеживаются два реализуемых научных направления.

Первое направление состоит в изучении физических основ работы и старения конструкций. При этом исследователи решают следующие задачи: оценка влияния внешних и технологических факторов на прочность, плотность и другие свойства материалов и конструкции в целом; изучение закономерностей износа, коррозии материалов под действием влаги, газов, агрессивных сред; измерение степени и оценка характера повреждений конструкции; разработка способов и средств восстановления транспортно-эксплуатационных качеств.

При всей важности отмеченного направления, к сожалению, оно не учитывает в достаточной мере динамику факторов, воздействующих, например, на дорожную одежду в процессе её эксплуатации. Здесь необходимо использовать элементы теории надежности. В её разработке и состоит второе направление исследований в области

обеспечения долговечности и надежности дорожных одежд. При этом решают такие задачи, как разработка методик сбора, учета и анализа статических данных о работе различных конструкций автомобильных дорог и их экономической эффективности; разработка математических основ количественной оценки надежности и прогнозирования отказов; изучение закономерностей возникновения отказов; оценка влияния внешних и внутренних факторов на происходящие в конструкции процессы; разработка методов восстановления работоспособности и повышения надежности, в частности, дорожных одежд.

Развитие этого научного направления требует обширной информации о повреждениях (отказах) конструкций с учетом технологии строительства, условий эксплуатации, методов содержания и ремонта. Для количественной оценки надежности и долговечности дорожных одежд необходимо знать закономерности снижения надежности основных параметров конструкций (прочность, трещиностойкость и др.), закономерности коррозии, износа и разрушения.

Анализ работ по теории упрочнения и разрушения строительных конструкций (первое направление исследований) показывает, что процесс изменения прочности дорожной одежды во времени может быть представлен графиком (рис. 1.2), на котором выделены три характерных этапа эксплуатации:

I. Период повышенной потери прочности, вызванной первоначальным интенсивным воздействием усадочных, температурных, влажностных напряжений и возникающих при этом деформаций. Этот период сравнительно короткий. Для него характерно проявление строительных дефектов.

II. Период длительной потери прочности и износа. В данный период частично затухают, перераспределяются, снимаются возникшие в первый период напряжения за счет образования трещин; снижаются усадочные явления, но развиваются необратимые процессы, приводящие к деструкции материалов и медленному их разрушению. Этот период является основным в работе конструкции и самым длительным во времени, он составляет 80–90 % от общего срока службы.

III. Период интенсивного разрушения, когда физический износ достигает критического значения. На этой стадии решается вопрос о целесообразности ремонта или реконструкции дорожной одежды.

## 1. Работа дорожных одежд автомобильных дорог

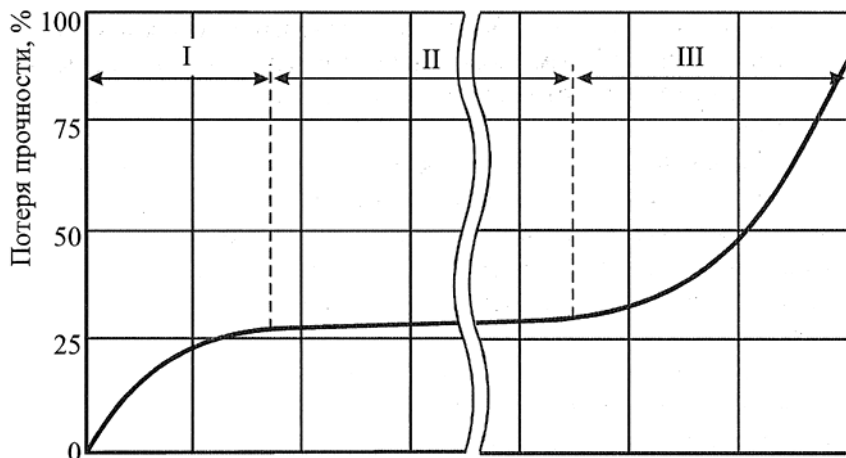


Рис. 1.2. Обобщенный график изменения прочности жесткой дорожной одежды во времени

*Срок службы дорожной одежды* – это период от начала ее эксплуатации до достижения предельного состояния. Он включает время, когда конструкция эксплуатируется (безотказно функционирует), и время простоев всех видов, обусловленных как эксплуатационным содержанием и ремонтами, так и организационными и другими причинами.

На фактический срок службы дорожной одежды влияют многие случайные факторы, часто не поддающиеся учету, например проявление особенностей структуры материалов, качество строительных и ремонтных работ, особенности содержания.

Следует различать срок службы дорожной одежды и срок службы покрытия, а также их проектные и эксплуатационные (фактические) сроки службы.

Для прогнозирования долговечности дорожной одежды в целом необходимо располагать данными об изменении прочности её материалов во времени с учетом воздействия окружающей среды и динамических нагрузок. При благоприятных условиях многие строительные материалы сохраняют свою прочность стабильной, некоторые, например цементобетон, со временем могут упрочняться.

## **1.2. Воздействие на дорожную одежду нагрузки от транспортных средств**

В процессе эксплуатации дорожные одежды подвергаются динамическому воздействию транспортных средств, двигающихся с различными скоростями. Постоянное изменение дорожных условий, вызываемое параметрами дороги и природными факторами, является причиной соответствующего изменения режима движения автомобилей.

Современные представления теории прочности дорожных одежд автомобильных дорог требуют учитывать при оценке работоспособности конструкций не только максимальные нагрузки на колеса транспортных средств, но и скорости их движения, общее число воздействий колес на проезжую часть, распределение движения во времени и по ширине проезжей части.

Воздействие транспортных средств на дорожную одежду передается по площадке контакта пневматической шины с поверхностью покрытия. Площадь контакта зависит от нагрузки на колесо, давления в шинах и может изменяться от 300 до 10 000 см<sup>2</sup>. Давление в шинах колеблется от 0,15 до 0,7 МПа.

Для определения площади контакта шины с покрытием профессор В.Ф. Бабков предложил следующую формулу [15]:

$$F = \frac{P_K}{K_{ж} \cdot P_0}, \quad (1.1)$$

где  $P_K$  – статическая нагрузка от колеса на покрытие, Н;  $P_0$  – давление воздуха в шине, Па;  $K_{ж}$  – коэффициент, учитывающий влияние жесткости боковых стенок шин, равный в среднем 1,1.

При движении автомобиля давление колеса на покрытие повышается в результате влияния ряда условий: нагревания шины и увеличения в ней внутреннего давления воздуха; увеличения жесткости шины от влияния растягивающей покрывку центробежной силы; продолжительности (кратковременности) контакта с покрытием каждого участка шины, в результате которой шина не успевает обжаться до размера, соответствующего статическому приложению фактически действующей нагрузки, т. е. как бы становится более жесткой. Из-за

## 1. Работа дорожных одежд автомобильных дорог

неровностей и других дефектов покрытия при движении возникают колебания автомобиля.

При расчете дорожных одежд колебания колесной нагрузки, как правило, учитывают, умножая значения нормативной статической нагрузки от колеса на коэффициент динамичности  $K_D$ . Он представляет собой отношение наибольшего амплитудного значения колесной нагрузки, передаваемой колесом покрытию в состоянии покоя.

Зависимость коэффициента динамичности от скорости имеет следующий вид [16]:

$$K_D = 0,5(3 - e^{-0,1v}), \quad (1.2)$$

где  $v$  – скорость, м/с.

Если произвести расчеты по формуле (1.2), то получим:

$V$ , км/ч	10	20	30	50	80
$K_D$	1,12	1,21	1,28	1,38	1,45

Для дорог общего пользования значения коэффициента динамичности принимают равным 1,3 [1–3].

Скорости движения транспортных средств меняются в широком диапазоне, зависят от технических возможностей автомобиля, степени его загрузки, дорожных условий. На дорогах общего пользования средняя скорость грузовых автомобилей составляет около 60–80 км/ч.

Одним из параметров режима движения является интервал времени между двумя последовательно перемещающимися автомобилями ( $\Delta t$ ). На дорогах общего пользования его величина случайна. Например, на карьерных дорогах движение автосамосвалов может производиться примерно с равными интервалами (на забойных дорогах). Существует ряд математических моделей, описывающих распределение  $\Delta t$  для различных потоков и в зависимости от дорожных условий, интенсивности и состава движения [17].

Интенсивность движения транспортных средств на автомобильных дорогах колеблется от нескольких автомобилей в сутки до десятков (иногда сотен) тысяч. Принято считать, что на дорогах общего пользования рост интенсивности движения  $N_i$  происходит в геометрической прогрессии от срока сужбы  $t$ :

$$N_t = \frac{N_0}{1 - q}, \quad (1.3)$$

где  $N_0$  – начальная интенсивность движения на первый год эксплуатации дороги;  $q$  – ежегодный прирост интенсивности движения.

Воздействие колес автомобилей неравномерно распределяется по ширине проезжей части дороги и по ширине полосы движения. Распределение следов автомобилей по ширине полосы движения, необходимое для оценки числа воздействий колес на угловые и краевые участки плит бетонных покрытий, принято характеризовать зазором между краем плиты и колесом автомобиля.

Неравномерное распределение воздействий по ширине проезжей части приводит к тому, что в зависимости от положения выбранного сечения число воздействий может существенно различаться, меняется и агрессивность (степень воздействия) различных положений нагрузки для данного сечения.

В процессе эксплуатации дорожные покрытия подвержены воздействию транспортных потоков, состоящих из различных автомобилей, отличающихся грузоподъемностью, габаритами, числом осей и их расположением, нагрузками на ось и давлением в шинах.

При оценке воздействия транспортных средств на покрытие большое значение имеет расположение колес в плане (от положения отпечатков колес в значительной мере зависит напряженное состояние плиты покрытия жесткой дорожной одежды).

### **1.3. Природные и климатические воздействия на дорожную конструкцию**

В процессе эксплуатации любая дорожная конструкция находится под воздействием природно-климатических (внешних) факторов. Природные факторы весьма разнообразны (растительность, орорафия, грунтовые, гидрологические условия и др.). Они действуют на конструкцию раздельно и в различных сочетаниях. Правильный учет воздействия географического комплекса при проектировании дорожных одежд имеет большое значение в обеспечении их заданной долго-

## *1. Работа дорожных одежд автомобильных дорог*

---

вечности. Особенно велико влияние климатических параметров: температуры воздуха, режима промерзания грунтов, количества и распределения по сезонам года осадков [18].

Наибольшее влияние на сроки службы дорожных покрытий оказывают температура и влажность окружающей среды, поскольку от них зависят водно-тепловой режим грунтов земляного полотна и оснований дорожных одежд, температурные напряжения и деформации покрытий. Отрицательное воздействие природных факторов может проявляться в виде: переувлажнения оснований и, как следствие, снижение их несущей способности; пучения грунтов рабочего слоя земляного полотна, температурных деформаций и эрозии материалов покрытий; коррозионного разрушения слоев одежды минерализованными грунтовыми водами и др.

При расчете жестких дорожных одежд в первую очередь следует принять во внимание, что изгиб цементобетонных плит может быть вызван не только нагрузкой от автомобилей, но и неравномерным распределением температуры по толщине плиты при колебаниях температуры воздуха, а также пучением грунтов при их промерзании и неравномерными поднятием зимой и осадкой при весеннем оттаивании. Верх плиты нагревается днем и охлаждается ночью, температура низа плиты в связи с влиянием теплоемкости материала основания изменяется меньше. Разность температуры верха и низа плиты вызывает ее коробление, которому препятствуют отпор соседних плит и собственный вес плиты (рис. 1.3, а, б).

При изменении среднесуточной температуры воздуха соответственно меняется и общая температура плиты. С наступлением осени и зимы плиты сокращаются в размерах, с потеплением весной и летом – расширяются (рис. 1.3, в). Свободному температурному сжатию или расширению плит препятствуют силы трения и сцепления, развивающиеся между нижней поверхностью плиты и основанием. Силы трения и сцепления приложены эксцентрично по отношению к центру тяжести поперечного сечения плиты и вызывают дополнительные изгибающие напряжения, которые тем значительнее, чем больше размеры плиты и температурный перепад. Температурные напряжения вполне могут быть причиной разрушения цементобетонных покрытий, поэтому учет температурных воздействий обязателен при расчете и конструировании жестких дорожных одежд.



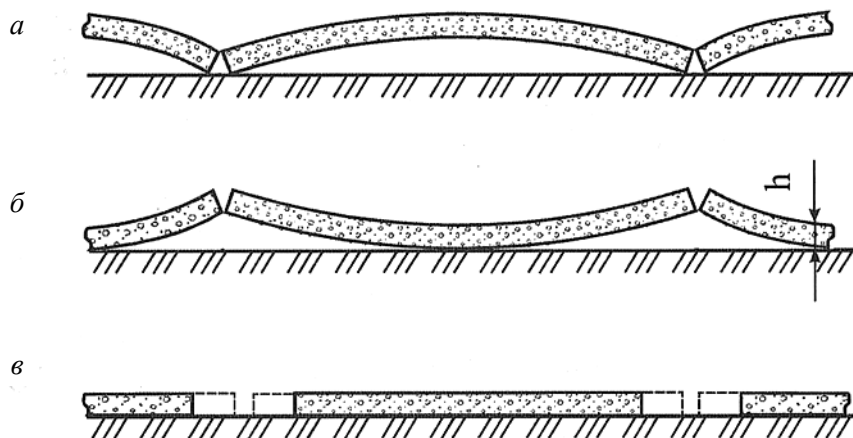


Рис. 1.3. Температурные деформации плит бетонных покрытий:  
а – температура верхней поверхности больше, чем нижней; б – температура нижней поверхности больше, чем верхней; в – равномерное охлаждение плиты

При промерзании грунтов земляного полотна в результате зимней миграции влаги и накопления линз льда происходит вертикальное поднятие покрытия. Этот процесс может быть равномерным, тогда всё покрытие приподнимается на одинаковую высоту, но в связи с неоднородностью состава (минералогического, гранулометрического) грунтов или из-за неравномерного притока влаги в промерзающую толщу пучение чаще бывает неравномерным, образуются бугры пучения. Приподнимая монолитное покрытие, взбугривание вызывает в ней изгибающие напряжения [18].

При весеннем оттаивании грунта подымавшая зимой поверхность покрытия оседает. В связи с неравномерным оттаиванием осадка может происходить неравномерно даже при равномерном его поднятии за счет пучения промерзающих грунтов.

В результате неравномерного поднятия при промерзании или опускания при оттаивании дорожной конструкции плита опирается на подстилающие слои лишь в отдельных местах. Возникающие при этом напряжения могут стать причиной разрушения покрытия. Необходимая морозоустойчивость дорожных одежд обеспечивается без

## 1. Работа дорожных одежд автомобильных дорог

специальных мероприятий: в районах с малой глубиной промерзания; при непучинистых грунтах основания (пески, крупные супеси, скальный грунт); если толщина покрытия, необходимая по условиям прочности, превышает  $\frac{2}{3}$  глубины промерзания; в сухих местах без избыточного увлажнения с обеспеченным поверхностным стоком и низким уровнем грунтовых вод (за исключением случаев устройства покрытий на грунтовых основаниях из пылеватых супесчаных грунтов). Во всех остальных случаях необходима специальная проверка дорожной конструкции на морозоустойчивость.

При решении задач обеспечения долговечности одежд автомобильных дорог следует особое внимание обратить на физические процессы, протекающие в дорожной конструкции. В зимний период влага интенсивно мигрирует к фронту промерзания (из нижних теплых слоев в подстилающий дорожную одежду грунт и дополнительный слой основания дорожной одежды). Накапливающаяся вода образует ледяные линзы и прослойки. Весной основание под покрытием проезжей части, имеющим темный цвет, оттаивает быстрее, чем обочины, покрытые снегом. Поверхность мерзлого грунта приобретает вогнутое очертание, где скапливается большое количество воды от растаявших ледяных линз и прослоек (рис. 1.4).

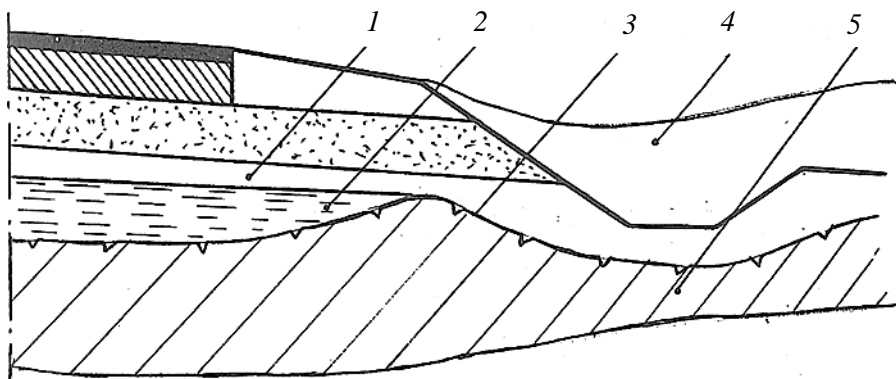


Рис. 1.4. Схема оттаивания земляного полотна:

1 — оттаявший грунт; 2 — переувлажненный оттаивший грунт; 3 — граница мерзлого грунта; 4 — снег; 5 — мерзлый грунт

При проезде по дороге транспортных средств в переувлажненном подстилающем грунте возникают гидродинамические напоры, вода отжимается в слои основания дорожной одежды (не имея возможности уходить вниз и в стороны). Частицы грунта, каменных материалов расклиниваются, и их сопротивление сдвигу резко падает. В результате скорость повреждения дорожной одежды возрастает в тысячи раз (по сравнению со скоростью разрушения при отсутствии в ее слоях свободной воды) [19].

Для устранения этой проблемы необходимо обеспечить быстрое дренирование дополнительных слоев дорожной одежды из дискретных материалов (менее нескольких дней). Но в природных условиях Западной Сибири (глубокое промерзание грунтов, преобладание грунтов с низким коэффициентом фильтрации) это практически невозможно, поэтому приходится ограничивать движение тяжелых транспортных средств.

Ограничение движения заложено и в методике проектирования дорожных одежд [18]. На рис. 1.5 показана схема назначения расчетной величины эквивалентного модуля упругости грунтового основания ( $E_{гр}$ ). Видно, что она принимается выше, чем минимальное значение ( $E_{min}$ ).

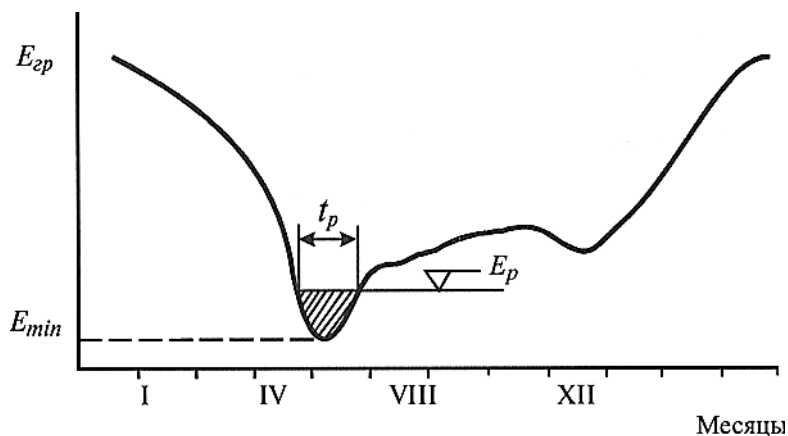


Рис. 1.5. Схема определения расчетного периода ( $t_p$ ) и модуля упругости грунтового основания ( $E_{гр}$ )

## *1. Работа дорожных одежд автомобильных дорог*

---

Такой подход объясняется тем, что минимальное значение наблюдается весьма непродолжительное время. Если запроектировать дорожную одежду на  $E_{\min}$ , почти все время она будет работать с большим запасом прочности, что при разработке методики расчета было признано экономически нецелесообразным. Это объясняет необходимость ограничения движения для дорожных одежд, рассчитанных на перспективную нагрузку.

Надо сказать, что вода – опаснейший враг дорожной одежды. Это понимали еще в древние времена. Например, римляне, строившие дороги ещё до нашей эры, знали о разрушающем действии воды. Под плоскими плитами основания они часто использовали слой песка, располагая его поверх грунтового основания [19, 20, 81].

Обеспечение прочности и долговечности дорожной конструкции за счет увеличения толщины покрытия экономически нецелесообразно. Конструктивные слои покрытия только распределяют нагрузку от транспортных средств на большую площадь грунтового основания. Это понимал еще знаменитый Джон Макадам, который в 1820 г. заявил: «...если вода просачивается через дорожное покрытие и заполняет естественный грунт, дорога, независимо от толщины покрытия, теряет несущую способность и разламывается на куски». К сожалению, современные проектировщики дорог основное внимание уделяют плотности и прочности и очень мало заботятся об осушении дорожной одежды. В результате подавляющее большинство одежд с покрытиями капитального типа, построенных в последние 30–40 лет, представляют собой слабо дренирующие системы. И здесь без ограничения движения весной не обойтись. Следует иметь в виду, что это делают не только на дорогах России. В Швеции, например, в весенний период вводят ограничение движения транспортных средств грузоподъемностью более 4 т на срок от 1,5 до 2 месяцев (в зависимости от климатической зоны).

Из-за многообразия факторов, влияющих на механизм разрушения дорожных покрытий, процесс деформации является очень сложным. Чаще всего наибольший ущерб наносит вода, находящаяся в порах материалов, трещинах, промежутках между слоями. Некоторые из наиболее опасных воздействий транспорта и воды проявляются исключительно внутри конструктивных слоев и не зависят от прочности и поведения грунтового основания.

*Учебное издание*

*Афиногенов Олег Петрович  
Ефименко Сергей Владимирович  
Ефименко Владимир Николаевич*

## КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Под редакцией С.В. Ефименко

Редактор Т.С. Володина  
Технический редактор Н.В. Удлер

Подписано в печать 25.11.2020.  
Формат 60×84/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 25,81. Уч.-изд. л. 23,37.  
Тираж 500 экз. Первый завод 95 экз. Зак. № 126.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.