

Б. Н. КАРПОВ

ОСНОВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

УЧЕБНИК

*Рекомендовано
Федеральным государственным учреждением «Федеральный
институт развития образования» в качестве учебника
для использования в учебном процессе образовательных
учреждений, реализующих программы среднего
профессионального образования*

*Регистрационный номер рецензии 615
от 10 февраля 2009 г. ФГУ «ФИРО»*

3-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 625.7/.8(075.32)

ББК 30.82я723

К265

Рецензенты:

профессор кафедры «Транспортные и технологические системы»
Санкт-Петербургского государственного политехнического университета,
д-р техн. наук *А. А. Шестопалов*;
главный инженер Государственного унитарного предприятия дорожного
хозяйства и благоустройства г. Москвы «Пресненское» *В. Г. Портов*

Карпов Б. Н.

К265 Основы строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Б. Н. Карпов. — 3-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 208 с.

ISBN 978-5-7695-9383-3

Описан весь цикл строительного производства и эксплуатации дорожных объектов, в том числе подготовка производства, устройство земляного полотна и дорожной одежды, реконструкция, ремонт и содержание дорог. Рассмотрены вопросы эффективности, качества и безопасности эксплуатации дорожных конструкций в современных условиях.

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.01 «Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования при строительстве и ремонте дорог (МДК.01.01)» по специальности 190629 «Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям)».

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 625.7/.8(075.32)

ББК 30.82я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Карпов Б.Н., 2011

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011

ISBN 978-5-7695-9383-3

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ВВЕДЕНИЕ

Основу дорожной сети Российской Федерации составляют федеральные автомобильные дороги общей протяженностью 47 тыс. км. Значительная часть этих дорог соединяет Москву со столицами республик, входящих в состав Российской Федерации, административными центрами краев, областей и автономных образований, а также обеспечивает международное автотранспортное сообщение.

Хотя на долю федеральных автомобильных дорог общего пользования приходится примерно 5 % протяженности всех автомобильных дорог, они играют чрезвычайно важную роль в дорожном хозяйстве Российской Федерации. Перевозки грузов и пассажиров по этим дорогам составляют почти 47 % всех услуг, оказываемых автомобильным транспортом.

Суммарная протяженность территориальных автомобильных дорог общего пользования (553,5 тыс. км) почти в 12 раз превосходит протяженность федеральных дорог. Территориальные дороги отличаются от федеральных меньшей загруженностью. Их основным назначением является обеспечение автотранспортного сообщения внутри субъектов Российской Федерации.

Общей для всех дорог проблемой является улучшение состояния дорожных покрытий с целью снижения скорости их изнашивания и повышения допустимой нагрузки. Большинство автомобильных дорог общего пользования рассчитаны на нагрузку (обусловленную весом автомобиля) 60 кН (6 тс) на ось и не способны воспринимать нагрузки, создаваемые современными большегрузными автомобилями.

Только около четверти всех дорог с твердым покрытием рассчитаны на осевую нагрузку 100 кН (10 тс), тогда как в европейских странах дороги противостоят нагрузкам не менее 115 кН (11,5 тс).

Рост доли большегрузных автомобилей и объемов перевозок на них, наблюдаемый в последнее время (большинство грузовых автомобилей и автобусов имеют нагрузку на ось 80... 100 кН (8... 10 тс) и более), приводит к повышению скорости изнашивания дорожных покрытий, что ухудшает состояние дорог в дополнение к прочим негативным факторам.

Существуют проблемы с пропуском транзитного движения по улично-дорожной сети городов и населенных пунктов. Протяженность федеральных автомобильных дорог, которые проходят через 2 386 населенных пунктов, составляет 4,5 тыс. км (приблизительно 10 % общей протяженности федеральных автомобильных дорог общего пользования). Значительная часть этих дорог (примерно 3 тыс. км) проходит через населенные пункты с численностью населения менее 10 тыс. жителей.

Вынос федеральных автомобильных дорог за пределы крупных городов позволяет уменьшить транспортный поток на улицах городов.

Потребность в развитии дорожного хозяйства в значительной степени определяется тенденциями развития автомобильного транспорта.

При увеличении протяженности автомобильных дорог общего пользования за последние 10 лет на 15 % автомобильный парк возрос почти вдвое и в настоящее время составляет более 27 млн автомобилей.

Опережающий рост парка автотранспортных средств по сравнению с увеличением протяженности автомобильных дорог привел к повышению загруженности последних. Современные федеральные дороги характеризуются высокой интенсивностью движения автомобильного транспорта, особенно на подходах к центрам регионов и другим крупным городам.

Повышение экономической активности населения и рост парка автотранспортных средств привели к резкому увеличению числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) — с 157,6 тыс. в 2000 г. до 200 тыс. в 2006 г.

Рост парка автомобильного транспорта, а также концентрация его в крупных городах и вблизи наиболее важных транспортных узлов в совокупности с увеличением загруженности дорог и снижением средних скоростей движения приводят к ухудшению экологической обстановки. В отдельных районах суммарные выбросы автомобильным транспортом вредных веществ в окружающую среду превышают выбросы стационарных источников. В последние годы в крупных городах наблюдались случаи образования тропосферного озона (в условиях жаркой солнечной погоды) и смога. Выбросы автомобильным транспортом вредных веществ представляют значительную опасность для водителей, пассажиров и населения, проживающего в непосредственной близости от автомобильных дорог.

Совершенствование методов конструирования и расчета дорожной одежды, создание и внедрение новых дорожно-строительных материалов наряду с повышением качества используемых материалов, применение новых технологий дорожных работ, су-

шественное увеличение в последние годы числа предприятий, участвующих в освоении инноваций, мониторинг и анализ дорожных предприятий, определение перспективных направлений развития их производственной базы, проведение работ по обеспечению экологической безопасности и применению ресурсосберегающих технологий — все это способствует повышению эффективности функционирования дорожного хозяйства, качества и надежности дорожных конструкций, а также безопасности дорожного движения.

Автомобильные дороги в зависимости от экономического и социального значения, объема перевозок, расчетной интенсивности и скорости движения согласно СНиП 2.05.02—85* «Автомобильные дороги» и СНиП 2.05.11—83 «Внутрихозяйственные автомобильные дороги в сельскохозяйственных предприятиях» разделены на следующие категории: I-а, I-б, II, III, IV, V, I-с, II-с и III-с.

В соответствии с ГОСТ Р 52398—2005 «Классификация автомобильных дорог» применяются следующие термины:

- «техническая классификация автомобильных дорог» — разделение автомобильных дорог на классы и категории;
- «класс автомобильной дороги» — ее характеристика по условиям доступа на нее;
- «категория» — характеристика, отражающая принадлежность автомобильной дороги к соответствующему классу и определяющая ее технические параметры.

При установлении категории дороги обычно выбирают перспективный период продолжительностью не менее 20 лет. В зависимости от конструкции дорожной одежды межремонтные сроки службы для дорог с капитальным, облегченным и переходным покрытиями приняты равными соответственно 15, 10 и 8 годам.

Автомобильные дороги предназначены для движения транспортных средств с определенными габаритами: одиночных автомобилей длиной до 12 м, автопоездов длиной до 20 м, шириной до 2,5 м и высотой до 4 м, а также колесной сельскохозяйственной техники при выполнении требований безопасности дорожного движения. Если интенсивность движения тракторов и другой сельскохозяйственной техники на гусеничном ходу превышает 10 единиц в сутки, то необходимо предусматривать строительство тракторных дорог.

При выборе основных параметров дорог, а также устройстве пересечений и примыканий в населенных пунктах должны соблюдаться требования, установленные СНиП 2.07.01—89 «Градостроительство, планировка и застройка городских и сельских поселений».

Технические нормы на проектирование и строительство автомобильных дорог устанавливаются в зависимости от расчетной скорости и интенсивности движения транспортных средств.

Проезжая часть дороги устраивается с двускатным поперечным профилем на прямолинейных участках и кривых в плане радиусом более 3 000 м — на дорогах I категории и радиусом более 2 000 м — на дорогах II—IV категорий. На кривых меньшего радиуса проезжая часть сооружается с односкатным поперечным профилем и виражом. Переход от двускатного поперечного профиля дороги к односкатному осуществляется на протяжении переходной кривой.

При радиусе кривых в плане не более 1 000 м согласно СНиП 2.05.02—85* (600 м по РСН—88) должно быть выполнено уширение проезжей части с внутренней стороны за счет обочины. Необходимо, чтобы оно было равномерным по всей длине переходной кривой и полное уширение достигалось к началу круговой кривой.

Пересечения и примыкания дорог, как правило, располагаются на прямолинейных участках и насыпях высотой 0,8... 1,0 м при условии, что крутизна откоса не превышает 1:3.

Простые пересечения и примыкания следует устраивать при суммарной интенсивности движения по обеим дорогам менее 2 000 автомобилей в сутки. Взаимные пересечения и примыкания автомобильных дорог IV, I-с, II-с и III-с категорий, а также их пересечения с дорогами III категории и примыкания к ним выполняются, как правило, в одном уровне.

Детальные схемы развязки движения на пересечениях и примыканиях следует разрабатывать при суммарной перспективной интенсивности движения 2—8 тыс. приведенных единиц в сутки.

Переходно-скоростные полосы предусматривают на перекрестках в одном уровне и в местах съезда на дорогах I—III категорий, в том числе к зданиям и сооружениям в придорожной зоне, причем на дорогах I категории — при интенсивности движения не менее 50 автомобилей, съезжающих с дороги или въезжающих на нее в течение суток, а на дорогах II и III категорий — при интенсивности движения не менее 200 автомобилей в сутки. На дорогах I—IV и I-с категорий переходно-скоростные полосы находятся в местах расположения площадок для остановки автобусов и троллейбусов, у автозаправочных станций и площадок для отдыха. У постов ГИБДД МВД России и контрольно-диспетчерских пунктов длина таких полос должна отвечать нормам для разгона и торможения.

Устройство пересечений и примыканий на участках выпуклых кривых продольного профиля и с внутренней стороны закруглений в плане допускается только в исключительных случаях.

Пересечение автомобильных и железных дорог следует устраивать за пределами станций и при отсутствии путей маневрового движения, преимущественно на прямых участках и под углом не менее 60° . При их пересечении в одном уровне необходимо выполнять следующие требования:

- ширина проезжей части автомобильных дорог III и IV категорий на переезде и на подходах к нему должна быть одинаковой;
- на расстоянии 2 м от крайнего рельса автомобильная дорога должна иметь горизонтальную площадку или уклон, соответствующий превышению одного рельса над другим на криволинейных участках железнодорожного пути;
- подходы автомобильных дорог к пересечению на протяжении 50 м должны иметь уклон, не превышающий 30 %.

Пересечение автомобильных дорог с другими наземными и подземными коммуникациями осуществляется согласно требованиям соответствующих нормативных документов. Дополнительные сведения о пересечениях автомобильных дорог изложены в СНиП 2.05.02—85*. Там же приведена классификация и основные параметры городских дорог разных категорий.

ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

1.1. Основы конструктивно-технологических разработок при подготовке к строительству и реконструкции автомобильных дорог

Автомобильная дорога — это транспортное инженерное сооружение, предназначенное для безопасного и комфортного движения автомобилей. Ее основными элементами являются земляное полотно, дорожная одежда, проезжая часть, обочины, а также искусственные сооружения (мосты, трубы и др.).

Дорожная одежда, как правило, представляет собой многослойную конструкцию в пределах дороги, воспринимающую нагрузку от автотранспортных средств и передающую ее на грунт.

Дорожная одежда состоит из покрытия и основания, укладываемых на земляное полотно. Различают жесткую (например, с покрытием из цементобетона) и нежесткую (с покрытием из асфальтобетона) дорожную одежду.

Покрытием называют верхний слой дорожной одежды, на который непосредственно воздействуют колеса автомобилей и погоднo-климатические факторы.

Основание — несущий слой дорожной одежды, на который укладывают покрытие.

Строительство автомобильных дорог включает в себя подготовку производства и организацию комплекса дорожных работ с применением рациональной технологии выполнения их отдельных видов.

Научной основой конструирования дорожной одежды и производства дорожно-строительных работ являются современные достижения физики, химии, физико-химической механики, механики сплошной среды, прикладной математики и других областей естественных наук. В процессе теоретической разработки конструкции дорожной одежды следует учитывать ряд выработанных практикой рекомендаций:

- конструкцию необходимо разрабатывать отдельно для каждого участка в соответствии с грунтово-гидрологическими условиями (типом местности согласно условиям увлажнения) по расчетным нагрузкам и интенсивности движения на смежном участке;

- тип покрытия должен отвечать транспортно-эксплуатационным требованиям, зависящим от состава и интенсивности движения, категории дороги и климатических условий;

- эффективная конструкция должна предусматривать возможность механизации и автоматизации строительства, а также обеспечивать минимум суммарных приведенных затрат на его осуществление;

- значения толщины конструктивных слоев дорожной одежды должны быть не меньше минимально допустимых, определяемых особенностями технологии и их физико-механическими свойствами;

- необходимо учитывать условия эксплуатации покрытий на разных основаниях. Однослойные асфальтобетонные покрытия нужно создавать на прочных основаниях из веществ, обработанных вяжущими материалами (ВМ). При использовании неорганических ВМ (например, цемента в основании) толщина асфальтобетонного покрытия должна составлять не менее 12 см, если не применяются современные конструктивные решения по фрагментированию основания;

- при размещении крупнозернистых материалов на глинистом, суглинистом или пылеватом грунте следует предусматривать изолирующую прослойку из синтетических материалов или материалов, не переходящих в пластическое состояние при увлажнении;

- на протяжении нормативного срока службы поверхность дорожной одежды должна сохранять с заданной надежностью требуемое эксплуатационное состояние (ровность, отсутствие колеи и трещин) в условиях воздействия повторяющихся нагрузок, создаваемых транспортными средствами, и погодно-климатических факторов. При этом должны быть обеспечены нормативные сцепные характеристики покрытия.

Важное значение для повышения качества дорожных сооружений имеют результаты изучения их *несущей способности*, т.е. способности конструкции воспринимать весовые нагрузки с учетом динамических перегрузок.

Несущая способность дорожных конструкций характеризуется пределами прочности и выносливости. Под *пределом прочности* понимают напряжение, возникающее в материале перед разрушением конструкции. *Пределом выносливости* называется наибольшее напряжение, которое материал может выдержать без разрушений при заданном числе циклов нагружения. Значение предела выносливости зависит от предела прочности материала конструкции и коэффициента несимметрии цикла, равного отношению наименьшего напряжения цикла к наибольшему.

В результате многократно повторяющихся динамических воздействий со стороны транспортных средств и под влиянием пе-

ременных температурно-влажностных полей прочность дорожных сооружений постепенно снижается и может наступить предельное состояние, при котором сооружение по прочности перестанет удовлетворять эксплуатационным требованиям.

Под воздействием нагрузки от колеса автомобиля возникают напряжения в конструктивных слоях дорожной одежды и ее прогиб. Распределяющая способность слоев обеспечивает постепенное затухание напряжений по их толщине.

Исследования показали, что монолитные слои дорожной одежды из асфальтобетона и материалов, обработанных ВМ, часто разрушаются под влиянием растягивающих напряжений при изгибе σ_x . В несвязных и малосвязных слоях из песка, гравийных смесей и аналогичных им материалов, а также в грунте земляного полотна нарушение предельного равновесия может происходить при наличии напряжений сдвига. Наибольшие растягивающие напряжения при изгибе возникают в направлении действия нагрузки на нижней поверхности монолитного слоя, а максимальные напряжения сдвига — в том же направлении, но на границе несвязного или малосвязного слоя с вышележащим слоем.

Чем больше прогиб дорожной одежды, тем сильнее изгибается монолитный слой под нагрузкой и выше значение σ_x . Кроме того, при увеличении прогиба снижается жесткость одежды, возрастает глубина проникновения напряжений и, следовательно, повышается напряжение сдвига. Таким образом, прогиб дорожной одежды под нагрузкой, будучи характеристикой ее жесткости, связан с показателями прочности конструктивных слоев — растягивающими напряжениями при изгибе и напряжениями сдвига. Помимо этого прогиб характеризует сопротивляемость одежды разрушению под воздействием многократно повторяющихся нагрузок, создаваемых автомобилями. Его рассматривают как обобщающую расчетную оценку дорожной одежды.

В некоторых грунтах земляного полотна, а иногда и в нижних слоях дорожной одежды в районах сезонного промерзания в осенне-зимний период происходит активное влагонакопление и замерзание воды. В результате в указанных слоях могут образоваться ледяные линзы, вызывающие неравномерное пучение дорожной одежды, деформирование покрытия и появление растягивающих напряжений при изгибе, которые достигают наибольших значений, как правило, на внешней поверхности монолитного покрытия.

Конструктивные слои, содержащие органический ВМ, при низкой температуре, характерной для периода пучения, обладают повышенным модулем упругости, что приводит к значительному увеличению возникающих в этот период растягивающих напряжений. Чем больше высота пучения, тем значительнее при

прочих равных условиях растягивающее напряжение. В результате в покрытии могут иметь место остаточные деформации.

Экспериментальные исследования показали, что при весеннем оттаивании дорожной одежды на участках пучения происходит переувлажнение грунта земляного полотна, а иногда и материалов нижних слоев одежды, существенное снижение их прочности, модуля упругости E и, следовательно, увеличение прогиба и растягивающего напряжения. Для предотвращения такого влагонакопления земляное полотно и нижние слои дорожной одежды осушают.

Необходимо, чтобы общий модуль упругости дорожной одежды, зависящий от модулей упругости грунта земляного полотна и материалов конструктивных слоев, а также толщины этих слоев, был не меньше ее требуемого модуля упругости (*первый, основной, критерий прочности нежесткой дорожной одежды*).

Допустимое напряжение сдвига $\tau_{\text{доп}}$, Па, грунта определяют по следующей формуле (*второй критерий прочности нежесткой дорожной одежды*):

$$\tau_{\text{доп}} \geq \tau_{\text{а max}} + \tau_{\text{а.в}},$$

где $\tau_{\text{а max}}$ — максимальное активное напряжение сдвига, вызываемого воздействием транспортных средств (временная нагрузка), Па; $\tau_{\text{а.в}}$ — активное напряжение сдвига, обусловленное весом вышележащих слоев (постоянная нагрузка), Па.

Напряжение сдвига $\tau_{\text{а max}}$ зависит от наличия или отсутствия сцепления между рассматриваемым слоем и слоем, расположенным над ним.

Установлено также, что $\tau_{\text{а max}}$ зависит от средневзвешенного значения модуля упругости вышележащих слоев, относительной толщины этих слоев, общего модуля конструкции, диаметра круга, равновеликого отпечатку колеса расчетного автомобиля, угла внутреннего трения материала и давления, создаваемого колесом расчетного автомобиля. Значение $\tau_{\text{а max}}$ вычисляют в зависимости от массы вышележащих слоев, выраженной через их толщину, и угла внутреннего трения.

В монолитном слое дорожной одежды (из асфальтобетона и аналогичных материалов) напряжения σ_r , Па, возникающие при ее прогибе под действием повторных кратковременных нагрузок, не должны вызывать нарушения структуры материала и образования трещин, т. е. должно выполняться условие (*третий критерий прочности нежесткой дорожной одежды*)

$$\sigma_r \leq K_{\text{п}} R_{\text{и}},$$

где $K_{\text{п}}$ — коэффициент, учитывающий многократное воздействие нагрузки и зависящий от интенсивности движения; $R_{\text{и}}$ — допустимое растягивающее напряжение при изгибе, Па, в материале.

Растягивающее напряжение при изгибе σ_r зависит от наличия или отсутствия вышележащих слоев, модулей упругости этих слоев и рассматриваемого слоя, среднего давления под колесом расчетного автомобиля, коэффициента динамичности, учитывающего перегрузки, обусловленные колебаниями автомобиля на рессорах и ударами о неровности покрытия, а также от высоты морозного пучения, которая не должна превышать допустимую.

Если в конструктивных слоях дорожной одежды предусмотрено использование теплоизолирующих материалов, которые снижают глубину промерзания или полностью предотвращают его, то при расчете или корректировке параметров конструкции одежды необходимо учитывать соответствующее снижение или полное отсутствие зимнего пучения. Повышенное уплотнение грунта снижает его способность переувлажняться, что также приводит к уменьшению пучения.

Допустимая высота пучения определяется пределом прочности материала покрытия на растяжение при изгибе.

Морозное пучение и последующая осадка не имеют существенного значения в следующих случаях:

- земляное полотно выполнено на всю глубину промерзания из грунтов (легкие крупные супеси, пески, обломочные материалы), не подверженных морозному пучению;
- толщина дорожной одежды (обеспечивающая ее прочность) составляет более $2/3$ глубины промерзания;
- дорога расположена на местности 1-го типа по условиям увлажнения, за исключением участков с усовершенствованными капитальными покрытиями на земляном полотне из пылеватых песчаных грунтов.

При расчете дорожной одежды учет указанных условий, а также условий осушения позволяет обеспечить необходимую прочность всех конструктивных слоев и, следовательно, надежность дорожной одежды в процессе эксплуатации.

Увеличение степени однородности дорожной одежды по прочности обуславливает повышение ее надежности и снижение риска разрушения. В процессе полевого контроля качества одежды ее однородность по прочности наиболее просто характеризовать однородностью по модулю упругости E с помощью коэффициента вариации C_E величины E :

$$C_E = \sigma_E / E_{cp},$$

где σ_E — среднеквадратичное отклонение измеренных значений модуля упругости; E_{cp} — его средневзвешенное значение на определенном участке.

Допустимой можно приближенно считать степень однородности механических свойств, соответствующую $C_E \leq 0,18$ — для дорожной одежды с асфальтобетонным усовершенствованным капитальным покрытием и $C_E \leq 0,20$ — с усовершенствованным облегченным покрытием. Если в процессе строительства достигается более высокая однородность свойств (максимальные значения C_E менее указанных), то допустимо некоторое снижение требуемых значений общего модуля упругости $E_{тр}$ дорожной одежды.

Повышение однородности механических свойств дорожной одежды без снижения $E_{тр}$ обеспечивает улучшение условий для движения автомобильного транспорта вследствие уменьшения остаточных деформаций, ухудшающих ровность дороги. При снижении C_E после выполнения соответствующих расчетов могут быть увеличены межремонтные сроки.

Довольно высокими показателями надежности обладают жесткие дорожные одежды.

Необходимая прочность *жесткой дорожной одежды* согласно *первому* (основному) *критерию ее прочности* обеспечивается при выполнении условия

$$R_{p,и} \geq k_1 \sigma_{p,и},$$

где $R_{p,и}$ — предел прочности, Па, на растяжение при изгибе; k_1 — коэффициент запаса на растяжение при изгибе, зависящий от требуемого уровня надежности покрытия, коэффициента вариации фактического предела прочности цементобетона на растяжение при изгибе и напряжений растяжения при изгибе в нижнем волокне цементобетонного покрытия; $\sigma_{p,и}$ — среднее нормальное растягивающее напряжение, Па, при изгибе в нижнем волокне цементобетонного покрытия при действии расчетной нагрузки.

Эквивалентный модуль упругости поверхности основания под жесткое покрытие определяют последовательно снизу вверх для каждого двух слоев, применяя при этом динамические модули упругости дорожно-строительных материалов и грунтов, учитывающие кратковременное действие нагрузки.

Необходимая *прочность жесткой дорожной одежды* согласно *второму критерию* обеспечивается при выполнении условия

$$\tau_{пред} \geq k_2 \tau_a,$$

где $\tau_{пред}$ — среднее предельное сопротивление сдвигу материала основания жесткой дорожной одежды, Па; k_2 — коэффициент запаса прочности на сдвиг в основании; τ_a — среднее активное напряжение сдвига в основании жесткой дорожной одежды, Па.

Один из наиболее простых способов повышения однородности механических свойств дорожной одежды — уплотнение подстилающего грунта. После достаточно большого числа проходов уплотняющего средства (например, после 8 — 10 проходов катка) каждый очередной проход по хорошо уплотненным участкам приводит к менее значительному повышению плотности грунта. В то же время в недостаточно уплотненных местах (случайно пропущенных при некоторых проходах) плотность существенно возрастает. Это приводит к выравниванию плотности и повышению однородности грунта по модулю упругости. Исследования показывают, что при удвоении числа проходов катка коэффициент вариации C_E модуля упругости грунта часто снижается в 1,5 — 2 раза по сравнению с нормативным значением.

Для уплотнения нежестких оснований и покрытий применяют катки (статические с гладкими вальцами и на пневматических шинах), машины, работающие по принципу ударного вибрирования, или виброударного действия.

Характер уплотнения самоходными катками с гладкими вальцами зависит от их общей массы, диаметра вальца, давления на единицу длины вальца, числа проходов и скорости движения при уплотнении, а для катков на пневматических шинах — от давления воздуха в шинах, диаметра следа, массы, приходящейся на одно колесо, числа проходов и скорости уплотнения.

Уплотняемый материал характеризуют углом трения, предельным сцеплением при минимальной скорости деформирования и динамической вязкостью среды. Эти характеристики меняются в зависимости от типа основания или покрытия, температуры и степени уплотнения. Уплотнение основания или покрытия связано с остаточной деформацией, сопровождающейся уменьшением пористости. Деформация при каждом проходе зависит от прикладываемого усилия и сопротивления слоя, обусловливаемого вязкостью.

Если при последовательных проходах катка деформация осуществляется не за счет снижения пористости, т. е. уменьшения объема, а вследствие просадки основания или пластического течения материала, то эффект уплотнения отсутствует. Чтобы избежать пластической деформации, давление, создаваемое катком, не должно превышать сопротивление сдвигу уплотняемого слоя при определенной длительности нагружения.

При работе катка на пневматических шинах давление на грунт передается через участок поверхности, близкий к кругу диаметром 30...35 см, с наибольшим давлением для указанного диапазона диаметров (с учетом тангенциальной силы и жесткости покрышки) 0,6...1,0 МПа. При отношении диаметра круга к толщине конструктивного слоя менее пяти согласно теории предельного равновесия среднее давление, Па,

$$p = 5c \operatorname{tg}^2(45 + \varphi/2),$$

где c — сцепление, Па, изменяющееся в зависимости от длительности приложения нагрузки, степени увлажнения (для минеральных материалов, содержащих мелкозем) и температуры (для органических ВМ); φ — угол трения, ...°, зависящий главным образом от характера материала и в меньшей мере от степени его увлажнения и температуры.

Для щебня, уложенного способом заклинивания с ВМ и без него, для холодного асфальтобетона и цементогрунта угол трения $\varphi \geq 45^\circ$, для гравия и грунтощебня φ уменьшается при увеличении содержания в них мелкозема, для горячего асфальтобетона $\varphi = 27 \dots 35^\circ$. Сцепление материалов без органических ВМ зависит в основном от наличия в них мелкозема, плотности и степени увлажнения, но мало изменяется в зависимости от длительности приложения нагрузки.

При уплотнении щебня, гравия и грунтов, обработанных значительным количеством органического ВМ, важную роль играют их температура и длительность воздействия нагрузки (число проходов), при этом сцепление может меняться в несколько раз (признак пластичности материалов).

Для непластичных материалов недостаточное сцепление, вызванное пересыханием или округлением щебня (при перекате), приводит к образованию трещин и нервноностей поверхности без достижения должного уплотнения.

В табл. 1.1 приведены ориентировочные значения угла трения φ , начального сцепления c_n , сцепления c_k после уплотнения, наибольшего допустимого давления p_n и p_k , действующего на уплотняемые слои из разных материалов соответственно на начальной и конечной стадиях уплотнения. На начальной стадии давление катка на слои должно несколько превосходить начальное допустимое давление p_n , а на конечной — быть меньше конечного допустимого давления p_k .

Существенная разница давлений катка в начальный период и p_n вызывает значительную деформацию поверхности слоя, что нарушает режим, а иногда и возможность уплотнения. Сопоставляя p_n и p_k с давлениями, создаваемыми катками, можно правильно выбрать технологию уплотнения.

Из табл. 1.1 видно, что при перекате щебня (№ 2) уплотнение слоя без повышения сцепления, например, посредством добавления ВМ (№ 4), неэффективно. Пластичные смеси (№ 7, 8 и 11) можно уплотнять только без остановки катков, т.е. при минимальной длительности нагружения. По этой причине в жаркую погоду на уплотненном слое недопустимо оставлять катки (особенно тяжелые, с гладкими вальцами).