

А. Ф. ЗУБКОВ

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ГОРЯЧИХ
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**



**Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2014**

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

А. Ф. Зубков

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

*Утверждено Учёным советом университета
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся
по специальностям «Автомобильные дороги и аэродромы»,
«Строительство, эксплуатация, восстановление
и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей»,
бакалавров и магистров*



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2014

УДК 625:691.168
ББК 0311-08
3-91

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Строительство автомобильных дорог» ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАСУ»
В. П. Подольский

Доктор технических наук, профессор кафедры
«Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
В. В. Леденёв

3-91 **Зубков, А. Ф.** Технология ремонта дорожных покрытий автомобильных дорог с применением горячих асфальтобетонных смесей : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям «Автомобильные дороги и аэродромы», «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей» / А. Ф. Зубков. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 80 с. – 50 экз.

ISBN 978-5-8265-1259-3

Рассмотрены вопросы технологии ремонта дорожных покрытий нежесткого типа с применением горячих асфальтобетонных смесей.

Предложены зависимости, устанавливающие связь между температурой поверхности выбоины и температурой горячей смеси при укладке при разных температурах окружающего воздуха с учётом типа смеси и марки битума. Предложена методика выбора технологических режимов при производстве работ с применением горячих асфальтобетонных смесей по ремонту выбоин на дорожных покрытиях нежесткого типа.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Автомобильные дороги и аэродромы», «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей», бакалавров и магистров.

УДК 625:691.168
ББК 0311-08

ISBN 978-5-8265-1259-3

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2014

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог достигается в процессе строительства. Под действием нагрузок от транспортных средств и влияния погодных условий на поверхности дорожных покрытий возникают дефекты в виде выбоин, просадок, трещин и волн, что приводит к ухудшению транспортно-эксплуатационных показателей и снижению срока эксплуатации автомобильной дороги. Для устранения таких дефектов проводят ямочный ремонт, который позволяет устранять образовавшиеся дефекты на дорожном покрытии и при своевременном качественном ремонте увеличить продолжительность эксплуатации автомобильной дороги с обеспечением требуемых транспортно-эксплуатационных показателей автомобильной дороги в течение нескольких лет. Такой вид работ производится при условии нецелесообразности устройства поверхностного слоя дорожного покрытия.

Наиболее распространённым методом ремонта дорожных покрытий нежёсткого типа является ремонт с использованием горячих асфальтобетонных смесей, который позволяет обеспечить заданный срок службы ремонтируемого участка покрытия и, при условии соблюдения технологии, характеризуется высоким качеством работ. Производство работ с применением битумных материалов ограничено температурой окружающего воздуха, за исключением применения в качестве вяжущего материала битумных эмульсий или на их основе других применяемых вяжущих материалов. В то же время для обеспечения безопасности движения транспортных средств, независимо от погодных условий и времени года, возникает необходимость выполнять работы по ямочному ремонту покрытия и при низких температурах окружающего воздуха (срочный аварийный ремонт).

Практика производства ремонтных работ по устранению выбоин на дорожных покрытиях нежёсткого типа показывает, что нарушение технологии ремонтных работ способствует значительному снижению срока службы отремонтированной поверхности дорожного покрытия, что приводит к дополнительным затратам для обеспечения безопасности движения транспортных средств.

Глава 1

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕМОНТА ВЫБОИН НА ПОКРЫТИЯХ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

1.1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПОКРЫТИЯМИ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Ежегодное увеличение транспортных средств, при недостаточно высоких темпах строительства автомобильных дорог, приводит к повышению интенсивности движения и возрастанию грузового потока на всех дорогах страны. Ежегодно парк транспортных средств увеличивается более чем на 4...5% при одновременном росте их грузоподъёмности. Увеличение грузоподъёмности способствует снижению расходов на транспортные операции, но характеризуется повышением осевой нагрузки на дорожные одежды автомобильных дорог. Это способствует изменению транспортно-эксплуатационных характеристик дороги и приводит к ухудшению состояния автомобильной дороги. Поэтому для обеспечения безопасности движения транспортных средств необходимы дополнительные затраты на содержание дороги с учётом требований нормативных документов. Под действием осевых нагрузок от транспортных средств и влияния погодных условий на дорожных покрытиях возникают пластические деформации и разрушения в виде выбоин, просадок, трещин и волнообразования, что приводит к снижению скоростных режимов транспортных средств, увеличению нагрузок на трансмиссии машин и часто является причиной дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Для обеспечения транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог дорожные организации выполняют большой объём работ по ремонту и содержанию, обеспечивающий безопасность дорожного движения. Для этого из бюджета страны выделяются денежные средства. Однако для обеспечения транспортно-эксплуатационного состояния дорог выделяемых средств недостаточно.

Состояние автомобильных дорог федерального значения Российской Федерации на настоящий момент характеризуется данными обследования, согласно которым общая протяжённость федеральных автодорог составляет 54 000 км, из которых около 30% перегружены. Более половины всех федеральных дорог не отвечают нормативным требованиям по транспортно-эксплуатационным показателям, предъявляемым к автомобильным дорогам. Свыше 67% от общей протяжённости дорог имеют недоста-

точную прочность дорожных одежд и более 37% имеют неудовлетворительную ровность дорожных покрытий. Превышение допустимой нагрузки от транспортных средств на дорожные одежды (53%) способствует быстрому износу дорожных конструкций, что приводит к значительному сокращению сроков службы автомобильных дорог (в 1,5 раза). В результате, свыше 35% автомобильных дорог федерального значения требуют реконструкции и модернизации для обеспечения пропускной способности современных транспортных средств.

Анализ научных исследований и практических мероприятий по повышению работоспособности и долговечности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог показал, что широкое применение в настоящее время находят модифицированные асфальтобетоны, которые имеют пониженную температурную чувствительность вяжущего и эластичность дорожного материала, что обеспечивает повышенную теплоустойчивость в летний период, более высокую способность к возникновению температурных трещин зимой и образованию усталостных трещин в процессе эксплуатации покрытия дороги. В то же время применение модифицированных битумов приводит к удорожанию строительства асфальтобетонных покрытий.

Одним из основных направлений в увеличении срока службы и повышении работоспособности покрытий нежесткого типа является проведение дорожно-ремонтных работ. Потребность в проведении таких работ возникает и в более ранние сроки эксплуатации дороги, что предусматривается существующими нормативными документами. Задержки с проведением работ приводят к ухудшению состояния дорог и требуют в дальнейшем дополнительных затрат для их приведения в нормативное состояние. Установлено, что проведение более позднего ремонта дороги требует усиления дорожной одежды и при задержках в течение трёх лет требуются удвоенные затраты на проведение ремонта покрытия. В то же время проведение своевременных ремонтов обеспечивает безопасность дорожного движения и продлевает срок службы дорожного покрытия автомобильных дорог.

1.2. ТРЕБОВАНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ К ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОМУ СОСТОЯНИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПОКРЫТИЯМИ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Статистический анализ ДТП, проведённый ГИБДД, показал, что неблагоприятные дорожные условия до 2000 г. не превышали 12% от общего количества ДТП. Однако с 2000 г. наметилась тенденция к росту ДТП, связанных с несоответствием параметров дорог нормам на проектирование. Так, если количество ДТП по дорожным условиям в 1998 г. составляло 5,8%, то в 2002 г. это количество составляло 17%. Такая тенденция со-

храняется до настоящего времени, и по данным Центра стратегических исследований (ЦСИ) «Росгосстраха», свыше 20% автомобильных аварий в России происходит из-за плохого качества дорожного полотна. Так, за 2010 г. в Российской Федерации было зарегистрировано 199 431 ДТП (42 000 случилось из-за некачественных дорог), а в 2009 г. было на 10% меньше.

По транспортно-эксплуатационным характеристикам автомобильные дороги разделены в три группы:

- группа А – автомобильные дороги с интенсивностью движения более 3000 авт./сут, которые расположены в городах и населённых пунктах. К ним относятся магистральные дороги скоростного движения и магистральные улицы общегородского значения непрерывного движения;
- группа Б – автомобильные дороги с интенсивностью движения от 1000 до 3000 авт./сут. Они расположены в городах и населённых пунктах и к ним отнесены магистральные дороги регулируемого движения, магистральные улицы общегородского значения регулируемого движения и дороги районного значения;
- группа В – автомобильные дороги с интенсивностью движения менее 1000 авт./сут, расположенные в городах и населённых пунктах, и к ним относятся улицы и дороги местного значения.

Параметры автомобильных дорог и улиц в городах и населённых пунктах определены требованиями СНиП 2.07.01–89*. Эксплуатационное состояние автомобильных дорог определено требованиями ГОСТ Р 50597–93. Предельно допустимые повреждения покрытия, а также сроки их ликвидации приведены в табл. 1.1.

1.1. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения

Группа дорог и улиц по их транспортно-эксплуатационным характеристикам	Повреждения на 1000 м ² покрытия, м ² , не более	Сроки ликвидации повреждений, сут, не более
А	0,3(1,5)	5
Б	1,5(3,5)	7
В	2,5(7,0)	10

Пр и м е ч а н и е. 1. В скобках приведены значения повреждений для весеннего периода.

2. Сроки ликвидации повреждений указаны для строительного сезона, определяемого погодными условиями, приведёнными в СНиП 3.03.06.85 по конкретным видам работ.

1.2. Требования к ровности дорожного покрытия

Группа дорог и улиц по транспортно-эксплуатационным характеристикам	Показатель ровности по прибору ПКРС-2, см/км, не более	Число просветов под 3-метровой рейкой, %, не более
А	660	7
Б	860	9
В	1200	14

Ровность покрытия проезжей части должна соответствовать требованиям, приведённым в табл. 1.2. Коэффициент сцепления покрытия должен обеспечивать безопасные условия движения с разрешённой скоростью и быть не менее 0,3 при его измерении шиной без рисунка протектора и 0,4 – шиной, имеющей рисунок протектора.

Основными характеристиками, определяющими транспортно-эксплуатационное состояние дороги, являются:

- геометрические параметры дороги, к которым относится ширина проезжей части, краевой укрепленной и остановочной полос обочин, продольные уклоны, радиусы кривых в плане и профиле, уклоны виражей и расстояние видимости;

- прочность дорожной одежды проезжей части, краевой укрепительной и остановочной полос обочин;

- ровность и сцепные свойства покрытия проезжей части, краевой укрепительной и остановочной (укрепленной связным материалом) полос обочин;

- прочность и устойчивость земляного полотна и его элементов;

- целостность и работоспособность водоотводных и дренажных сооружений;

- наличие и требуемое состояние элементов инженерного оборудования и обустройства дороги.

На покрытии проезжей части не допускается наличие выбоин, проломов и просадок с размерами по длине, ширине и глубине более чем 15×60×5 см.

1.3. ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Качество работ по устранению дефектов на дорожных покрытиях нежесткого типа зависит не только от применяемой технологии ремонта и используемого оборудования, но также и от свойств применяемого мате-

риала. В зависимости от конкретных условий эксплуатации автомобильной дороги для устранения дефектов покрытия применяют разные материалы, которые характеризуются физико-механическими, теплофизическими и технологическими параметрами.

Наиболее интенсивно образование дефектов на дорожном покрытии происходит в весенний и осенний периоды эксплуатации автомобильных дорог, когда под действием проникающей влаги в дорожные одежды и температуры окружающего воздуха происходит понижение прочностных параметров дорожных слоёв материала, способствующих возникновению на покрытиях дорог дефектов в виде выбоин. Для их устранения производят ямочный ремонт, при котором, в зависимости от температуры воздуха и применяемых материалов, используют разные технологии.

Широкое применение при производстве ямочного ремонта получили холодные асфальтобетонные смеси, которые в меньшей степени зависят от температурных режимов укладки и уплотнения. К холодным смесям относятся смеси всех типов (за исключением типа А), приготовленные на жидком или разбавленном битуме марок СГ 70/130 или МГ 70/130. Холодная асфальтобетонная смесь бывает нескольких видов:

- смесь на эмульсии немедленного применения;
- холодные эмульсионно-минеральные асфальтобетонные смеси;
- холодная складуемая (пакетируемая) органоминеральная смесь и другие виды смесей.

Холодные асфальтобетонные смеси по своей структуре представляют традиционный асфальт, который готовится по специальной технологии с применением модифицированных добавок или модифицированного битума (битум составляет от 4,2 до 4,5% от веса щебня, а добавки – от 15 до 25% от веса битума). Технология ремонта асфальтобетонных покрытий с применением таких смесей позволяет выполнять работы по ямочному ремонту дорожных покрытий в сухую погоду при среднесуточной температуре воздуха до -10°C . После укладки в выбоину покрытия, для образования монолитного слоя, такая смесь должна прогреваться за счёт температуры окружающего воздуха с одновременным уплотнением катками и транспортом в течение 2–3 недель. Такая технология ремонта дорожных покрытий эффективна при положительных температурах окружающего воздуха с интенсивностью движения транспортных средств не более 1000...3000 авт./сут на дорогах третьей–четвёртой технических категорий. Технология ремонта и выполняемые операции аналогичны ямочному ремонту покрытий с применением горячих смесей. При такой технологии отсутствует ограничение на время укладки и уплотнение уложенной смеси, которое присутствует при применении горячей технологии из-за быстрого охлаждения смеси и снижения её уплотняемости. Анализ применения технологий для строительства дорожных покры-

тий с использованием холодных смесей на маловязких и жидких битумах показал, что в некоторых зарубежных странах (Швеция, Финляндия, Норвегия и др.) ограничивают область применения и допускается их применять на дорогах с интенсивностью движения до 1000...1500 авт./сут. При использовании маловязких или жидких битумов асфальтобетонные смеси приготавливают и укладывают в дорожные покрытия по обычной горячей технологии.

Широкое применение для ямочного ремонта получили холодные асфальтобетонные смеси, приготовленные с использованием эмульсий на основе вязких битумов. Такие смеси называют эмульсионно-минеральными (ЭМС). Такая технология ремонта дорожных покрытий эффективна при положительных температурах окружающего воздуха.

При выборе холодной технологии для производства ремонтных работ на покрытиях дорог третьей и ниже категорий применяют также влажную органоминеральную смесь (ВОМС). Этот материал пластичен, устойчив к трещинообразованию и рекомендуется в 1–2 климатических зонах, при этом толщина укладываемого слоя материала должна быть не менее 3 см. При неблагоприятных погодных условиях и необходимости проведения аварийного ямочного ремонта, ремонтные работы могут проводиться с применением такого материала. ВОМС состоит из известнякового или доломитового щебня фракции 5...20 мм (до 40%), песка с модулем крупности не менее 1,0, минерального порошка (6...12%), вяжущего (гудрон, жидкий или разжиженный вязкий битум) в количестве 6...7% и воды. Вместо щебня допускается применение отсевов дробления, ПГС, дроблёного шлака. После перемешивания готовую смесь при температуре 25...40 °С подают на склад, где она хранится в штабеле в течение нескольких месяцев. Применение таких смесей допускается при глубине выбоины не менее 3...4 см. Достоинством является то, что она может использоваться при температуре воздуха до –10 °С и не зависит от влажности поверхности выбоины. К недостаткам следует отнести то, что в зимний период и ранней весной формирование прочной структуры ВОМС происходит медленно из-за частых переходов температуры воздуха через 0 °С. Наибольшую прочность материал приобретает после полного высыхания, но его прочность в 1,5–2 раза ниже прочности холодного и в 2,5–3 раза ниже прочности горячего асфальтобетона.

Для проведения ямочного ремонта дорожных покрытий нежёсткого типа в СоюздорНИИ разработаны складированные асфальтобетонные смеси (САС) на основе вязких битумов с добавками специальных пластификаторов. Такой материал можно хранить, укладывать и уплотнять в холодном виде. Однако широкого применения при производстве ремонтных работ этот материал не получил.

При проведении ямочного ремонта вместо вязкого битума применяют катионную битумную эмульсию (эмульсионно-щебёночная обработка), что позволяет продлить строительный сезон (работы можно проводить на влажном покрытии и при температуре воздуха не ниже +5 °С). Рекомендуемый тип используемой эмульсии – ЭБК-1 при концентрации 65...70%. При работах используют мытый щебень кубовидной формы. Его расход для фракций 5...10 мм и 10...15 мм составляет, соответственно, 0,008...0,009 $\text{дм}^3/\text{м}^2$ и 0,011...0,013 $\text{дм}^3/\text{м}^2$. Норма дозирования остаточного вяжущего (эмульсионного битума) – ориентировочно, 1,0...1,3 $\text{л}/\text{м}^2$.

При производстве ремонтных работ на дорогах с интенсивным движением и значительной осевой нагрузкой от транспортных средств применяют горячую битумощебёночную смесь с содержанием щебня от 50 до 85%, которая по составу аналогична горячей асфальтобетонной смеси типа А. В последнее время для этих целей используют щебёночно-мастичные смеси, которые характеризуются повышенными показателями водо-, морозоустойчивости и усталостной стойкостью в дорожном покрытии. Применение таких смесей характеризуется более высоким темпом охлаждения, что способствует уменьшению времени на процессы укладки и уплотнения. Кроме того, использование таких смесей представляет определённые сложности при производстве работ, так как они характеризуются повышенной жёсткостью при укладке, имеют более высокую температуру приготовления и укладки. За счёт высокой жёсткости этих смесей необходимо применять при производстве работ уплотняющие машины с повышенными силовыми параметрами и строгом соблюдении температурных режимов укладки и уплотнения.

С целью устранения отмеченных недостатков при производстве работ по устранению выбоин применяют вибролитую асфальтобетонную смесь (ВЛА), которая содержит щебень с содержанием частиц крупнее 5 мм (50...55%) и 10...12% битума и частиц минерального порошка. Для приготовления ВЛА используют вязкие битумы, которые характеризуются высокими температурами при укладке в выбоину (190...200 °С). Устройство ремонтного слоя покрытия завершается распределением и втапливанием чёрного щебня из расчёта 5...6 $\text{кг}/\text{м}^2$. К недостаткам данного материала следует отнести высокие технологические режимы приготовления и укладки горячей смеси. Опыт применения такой технологии ремонтных работ показал, что из-за высокого содержания битума в процессе эксплуатации покрытия, при высоких температурах окружающего воздуха, наблюдается выделение битума на поверхности покрытия, что ухудшает сцепные качества дорожного покрытия.

Горячие асфальтобетонные смеси и литой асфальт применяют при ремонте покрытий дорог первой–второй категорий. Применение литого асфальтобетона для производства ремонтных работ позволяет производить работы практически в течение всего года. К достоинствам этого ме-

тогда следует отнести высокую долговечность ремонтируемого участка, отсутствие водонасыщения и набухания асфальта, не требуется техника для уплотнения уложенной смеси. В то же время применение этого метода характеризуется сравнительно высокой стоимостью материала за счёт повышенного содержания битума и минерального порошка, а также сравнительно большого энергопотребления в процессе приготовления горячей литой смеси. Содержание битума в таких смесях может достигать до 13% и минерального порошка до 30...35%. Применение высоковязкого битума в процессе приготовления асфальта требует более высоких температур, что приводит к высоким энергетическим затратам в процессе его производства (220...250 °С). Применение литого асфальтобетона требует наличия специальных транспортных средств для доставки материала к месту производства работ. Существенным недостатком, с точки зрения транспортно-эксплуатационных показателей, являются низкие сцепные показатели, что приводит к проведению дополнительной операции по повышению шероховатости (вдавливанию мелкого щебня в уложенный слой горячего асфальтобетона).

В некоторых случаях, с целью экономии материальных ресурсов, для восстановления покрытия применяют способ термопрофилирования, при котором в старый асфальтобетонный материал после фрезерования добавляют новую асфальтобетонную смесь (20...50 кг/м²). Такой способ использования старого асфальтобетона позволяет не только уменьшить материальные ресурсы, но и корректировать состав восстанавливаемого покрытия в соответствии с ранее применяемой структурой асфальтобетонного покрытия с одновременным устранением последствий старения битума в покрытиях.

При строительстве дорожных покрытий нежесткого типа, независимо от дорожно-климатической зоны, в качестве основного материала применяют плотный и высокоплотный асфальтобетон марки I с высоким содержанием щебня. Однако на практике, при производстве ремонтных работ, ввиду того, что смеси типа А обладают более высокой жесткостью из-за высокого содержания щебня, предпочтение отдают смесям типа Б, В и Г. Для приготовления горячих смесей могут быть использованы разные марки битума, в зависимости от климатической зоны расположения автомобильной дороги. Температура смесей при приготовлении и начала уплотнения регламентированы нормативными документами. Известно, что для обеспечения качества уплотнения горячих смесей необходимо определенное силовое воздействие на материал и время действия нагрузки, что и определяет требуемое число проходов уплотняющей машины по одному следу. Эффективность работы уплотняющей машины зависит от температурных режимов горячей смеси, определяемых типом смеси и маркой битума. Вопрос установления нижней границы эффективного уплотнения горячей смеси рассмотрен в работе. На основании предло-

женных температурных режимов уплотнения горячей смеси можно установить продолжительность выполнения операции уплотнения горячей смеси при производстве работ в зависимости от объема укладываемой смеси.

Наиболее распространённым методом ремонта дорожных покрытий нежесткого типа является метод ремонта с использованием горячих асфальтобетонных смесей, который позволяет обеспечить требуемые эксплуатационные показатели асфальтобетона в выбоине, заданный срок службы ремонтируемого участка покрытия и обеспечивает высокое качество ремонтных работ при условии соблюдения технологии. Однако качество ремонтных работ при этом методе в значительной степени зависит от погодных условий производства работ, точности выполнения требований технологии, обеспечения температурных режимов укладки и уплотнения горячей смеси при соответствующих параметрах уплотняющих машин.

1.4. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Образование дефектов на асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог связано с комплексным воздействием различных факторов в процессе эксплуатации автомобильных дорог.

В процессе строительства дороги, из-за нарушений технологии укладки и уплотнения слоёв материала, имеет место недоуплотнение уложенного материала, что в дальнейшем способствует образованию дефектов в виде выбоин. Экспериментально доказано, что при недостаточном коэффициенте уплотнения земляного полотна ($K_y = 0,9 \dots 0,92$) на дорожном покрытии образуются выбоины. Одновременно с этим на дорожных покрытиях нежесткого типа наблюдается просадка покрытия, т.е. вертикальная просадка покрытия без образования трещин за счёт деформаций грунтов земляного полотна и материалов конструктивных слоёв дорожных одежд, что также влияет на качество дорожных покрытий.

При устройстве асфальтобетонных покрытий за счёт температурной сегрегации и гранулометрической неоднородности укладываемого материала наблюдаются участки покрытия с разными физико-механическими характеристиками и водонепроницаемостью, что в процессе эксплуатации способствует образованию дефектов на покрытиях дороги в виде отслоения частиц материала из покрытия и появлению в дальнейшем выбоин.

Эксплуатация автомобильных дорог в осенне-весенний период года и сопутствующие им изменения температур окружающего воздуха приводят к разрушительным процессам в конструкциях автомобильных дорог, связанных с промерзанием и оттаиванием конструктивных элементов автомобильных дорог. Наличие повышенной влажности в конструктивных слоях автомобильной дороги при низких температурах окружающего воз-

духа приводит к переходу влаги из жидкого состояния в кристаллообразное, что связано с увеличением её объёма, а следовательно, возникновению сил, под действием которых происходит разрушение структуры материала и разуплотнение материала земляного полотна и дорожных одежд.

Под воздействием осевой нагрузки от транспортных средств и неблагоприятных климатических условий ухудшаются основные эксплуатационные показатели дороги – водонепроницаемость, прочность, ровность и сцепные свойства покрытия автомобильной дороги. Ухудшение транспортно-эксплуатационных параметров дороги приводит к понижению несущей способности конструктивных элементов дороги, что проявляется в виде образования выбоин, просадок, проломов, трещин, волн, сдвигов и колеяности на поверхности покрытия. Возникающие на поверхности покрытия выбоины приводят к снижению скоростных режимов транспортных средств, увеличивают динамические нагрузки на трансмиссии машин и влияют на безопасность дорожного движения.

Разрушение дорожных покрытий нежесткого типа автомобильных дорог происходит за счёт процессов старения и износа асфальтобетонных покрытий, усталостного разрушения и накопления остаточных деформаций в процессе эксплуатации автомобильных дорог.

С повышением интенсивности движения и грузоподъёмности транспортных средств происходит интенсивное накопление остаточных деформаций в покрытиях дорожных одежд нежесткого типа. Изменение свойств вяжущего в процессе эксплуатации дороги приводит к снижению трещиностойкости асфальтобетона и усталостному разрушению материала, на поверхности покрытия появляются трещины, что приводит к водонасыщению асфальтобетона и в дальнейшем является причиной образования сквозных трещин. Образование сквозных трещин приводит к снижению прочностных характеристик дорожных одежд и, как следствие, образуются просадки на дорожном покрытии. Появление просадок, а также образование продольных трещин на покрытиях нежесткого типа возможно при недостаточной плотности нижележащих слоёв материала дорожной одежды. За счёт действия осевой нагрузки от транспортных средств на дорожные покрытия, а также влияния погодных условий при эксплуатации дорог на прочностные характеристики материала покрытия, на поверхности покрытия образуются неровности, влияющие на безопасность дорожного движения. Для безопасности движения транспортных средств наибольшую опасность представляют проломы и выбоины на поверхности покрытия, приводящие к снижению скоростных режимов движения транспортных средств, поломкам трансмиссий и некоторых случаях являются причиной ДТП. Образование выбоин происходит за счёт локальных разрушений дорожных покрытий в виде углублений разной формы с резко выраженными краями. Причиной образования выбоин могут служить разные

факторы, в том числе трещины, нарушения технологии при строительстве дорожных одежд и покрытия, недостаточная прочность применяемого материала. Следовательно, комплексное воздействие на автомобильную дорогу приводит к появлению дефектов на покрытии дороги.

Следует заметить, что причины образования дефектов на поверхности покрытия нежесткого типа известны, разработаны методы и рекомендации по их снижению или предотвращению, которые постоянно совершенствуются. Однако, как показывает практика эксплуатации автомобильных дорог, до настоящего времени происходят разрушения дорожных покрытий.

1.5. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕМОНТА ВЫБОИН НА ПОКРЫТИЯХ ДОРОГ НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Воздействие погодно-климатических факторов и превышение осевой нагрузки от транспортных средств по отношению к нормативной нагрузке способствует интенсивному износу и разрушению дорожных покрытий, что приводит к снижению транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог. Для обеспечения безопасности движения транспортных средств необходим постоянный контроль за состоянием дорожного покрытия и проведением необходимых работ по содержанию и ремонту автомобильных дорог.

В настоящий момент времени для содержания и ремонта дорожного покрытия автомобильных дорог применяются разные материалы и технологии. Главная задача таких работ – обеспечение безопасного движения автомобильного транспорта с установленным скоростным режимом. Выбор конкретной технологии определяется конструктивными параметрами дороги, материалом покрытия, погодными условиями, объемами работ и видами дефектов.

Нормативными документами установлено, что производство ремонтных работ на покрытиях нежесткого типа с применением битумов должно выполняться с наступлением устойчивой теплой и сухой погоды при температуре окружающего воздуха не ниже +5 °С. Однако на практике возникает потребность в проведении срочного внепланового или аварийного ремонта практически в любое время года и при любых погодных условиях. При выборе технологии для ремонта дорожных покрытий необходимо учитывать следующие критерии: достижение высокого качества работы с обеспечением требуемых показателей плотности, прочности, водонепроницаемости, ровности и шероховатости по отношению к основной части покрытия; обеспечения заданного срока службы отремонтированного участка покрытия; наличия требуемых материалов и механизмов по выбранной технологии; возможность реализации принятой технологии ремонта с учётом погодных условий; оперативность открытия движения

транспорта по месту ремонта; высокая экономичность ремонтных работ. Совместное решение по обеспечению указанных критериев определяет эффективность применяемой технологии для ремонтных работ. Следует заметить, что ямочный ремонт, выполненный без тщательной подготовки места к производству работ и соблюдения требований технологии к выполнению ремонтных работ, снижает срок службы отремонтированной поверхности покрытия в 2 – 4 раза. Ремонтные работы дорожных покрытий нежесткого типа зависят от температуры воздуха и влажности дорожного покрытия. Поэтому актуальной задачей в настоящее время является разработка такой технологии ремонта асфальтобетонных дорожных покрытий, которая позволяет проводить эти работы в любое время года с обеспечением требуемого срока службы и качества. Из применяемых технологий ремонта дорожных покрытий нежесткого типа наибольшее распространение получили технологии с применением горячих асфальтобетонных смесей, литого асфальтобетона, струйно-инъекционного метода и холодного асфальтобетона с использованием битумных эмульсий и гелеобразных битумов. Каждый метод проведения ремонтных работ имеет свои особенности, достоинства и недостатки. Поэтому выбор конкретной технологии зависит от многих факторов, которые необходимо учитывать при подготовке и производстве ремонтных работ.

Применение технологий, в которых используются битумные эмульсии и эмульсионно-минеральные смеси, не эффективны при низких температурах окружающего воздуха из-за наличия в битумных эмульсиях воды.

Применение холодных битумосодержащих смесей и материалов на основе жидких или разжиженных битумов позволяет уменьшить влияние погодных условий на производство ремонтных работ. Для формирования структуры смеси после укладки она должна прогреться для испарения легких фракций битума с одновременным уплотнением в течение 2–3 недель. Поэтому такой ямочный ремонт предпочтительнее проводить при положительной температуре воздуха на дорогах третьей–четвертой категорий при незначительной интенсивности движения транспортных средств. Технология в этом случае аналогична ямочному ремонту покрытий горячими смесями. Такие технологии ремонта получили широкое применение во многих странах благодаря простоте, увеличению продолжительности сезонности работ и меньшей строгости требований нормативных документов к погодным условиям.

Производство работ по устранению выбоин на поврежденном участке покрытия может выполняться одним из следующих способов:

- с разделкой покрытия и удалением старого материала;
- без разделки покрытия.

При этом состав работ без разделки покрытия включает аналогичные операции технологии с разделкой покрытия, за исключением разметки

мест ремонта выбоин, нарезки контуров выбоин и отгрузки отходов в транспортные средства.

Способ ремонта с применением холодной складированной органоминеральной смеси предусматривает промывку выбоины водой, заделку её смесью из увлажнённого минерального материала подобранного состава и жидкого органического вяжущего (гудрона или разжиженного битума) и её уплотнение. К преимуществам такой технологии относится возможность использования в течение длительного срока хранения; простота выполнения технологии работ; ввод в эксплуатацию отремонтированного асфальтобетонного покрытия сразу после завершения ремонтных работ. Существенным недостатком данной технологии является высокая цена материала, малая сопротивляемость сдвигу материала под действием касательных сил, что исключает их применение при ремонте покрытий в местах торможения, на перекрёстках и автобусных остановках.

В некоторых зарубежных странах (Швеция, Финляндия, Норвегия и др.) асфальтобетонные смеси готовят на маловязких и жидких битумах. При использовании таких материалов его готовят и укладывают в покрытие по обычной горячей технологии.

Ремонт выбоин с использованием катионной эмульсии (*инъекционный метод*) выполняют с применением прицепного специального оборудования, например, пломбировщика марки БЦМ-24, УДМ-1. Очистку выбоины под ремонт осуществляют струёй сжатого воздуха или методом всасывания, подгрунтовку – подогретой до 60...75 °С эмульсией, заполнение – чёрным в процессе инъектирования щебнем. При этом методе ремонта обрубку кромок не производят. Движение открывают через 10...15 мин. Работы выполняют при температуре воздуха не ниже +5 °С как на сухом, так и на влажном покрытии.

При возникновении на поверхности дорожного покрытия выбоин, влияющих на безопасность дорожного движения и создающих аварийные ситуации для транспортных средств, допускается применять любые методы ремонта, материалы и средства, которые способны обеспечить временную (не менее 2–3 месяцев) безаварийную эксплуатацию дороги. Аварийный ремонт выполняется в любое время года и при неблагоприятных условиях отражается на качестве работы. Такие некачественно отремонтированные места с наступлением тёплой и сухой погоды подлежат повторному ремонту, но с соблюдением всех требований и правил выполнения качественной заделки выбоин. Это приводит к дополнительным затратам и при небольших объёмах ремонтных работ экономически допустимо. При аварийном ремонте выбоин используются такие способы, которые не требуют дополнительной подготовки выбоин, за исключением очистки от грязи, влаги, снега и льда. Основным требованием такого ремонта является обеспечение прочной связи применяемого материала с поверхностью выбоины и чтобы частицы укладываемого материала имели

достаточно прочные контакты между собой за счёт механического распора или склеивающих прослоек.

Устранение выбоины возможно способом втрамбовывания холодного щебня с последующей его обработкой битумной эмульсией путём распределения эмульсии по поверхности выбоины. В итоге получается заделка выбоины щебнем, пропитанным битумной эмульсией.

Метод пропитки щебня в выбоине битумом, разжиженным и горячим, практикуется дорожниками разных стран для ликвидации аварийных выбоин. Отличие от метода пропитки эмульсией заключается в том, что сама пропитка выполняется до трамбования щебня. При этом битум нагревают до температуры не ниже 170...180 °С.

В практике ремонтных работ применяется метод обратной пропитки, в котором нагретый битум 170...180 °С, попадая на оставшуюся на дне и стенках выбоин влагу и на сырой щебень, вспенивается с кратностью до 4–6 и покрывает тонким слоем поверхность выбоины и частиц щебня. Проникновение битума между частицами и зёрнами щебня идёт снизу вверх, поэтому этот технологический приём ремонта получил название «метод обратной пропитки». Его эффективность ограничена температурой воздуха +5...+10 °С. При более низких температурах битум плохо и трудно вспенивается. В некоторых случаях вместо битума используют полимерные материалы. Например, при ремонте полимербетоном выбоина заполняется щебнем, который затем пропитывается жидкотекучим составом на основе полиуретановой, акриловой или другой смолы, при трамбовании материала остаточная вода отжимается из лунки наверх. Такой ремонт возможен при температуре воздуха от –30 до +50 °С. Движение транспорта открывается через 30 мин. При неблагоприятных погодных условиях (сырость, холод) аварийный ямочный ремонт может быть также выполнен влажной органоминеральной смесью (ВОМС), состав и технологию приготовления и использования которой разработали в РосдорНИИ. Такой смесью ремонтируют выбоины глубиной не менее 3...4 см. Преимущество применения ВОМС состоит в том, что она используется уже в готовом виде по холодной технологии, на сухом или сыром покрытии и при температуре воздуха до –10 °С. Однако следует иметь в виду, что зимой и ранней весной формирование прочной структуры ВОМС в покрытии происходит медленно и трудно из-за частых перепадов температуры воздуха через 0 °С. Наибольшую прочность этот материал приобретает после полного высыхания, однако эта прочность в 1,5–2 раза ниже прочности холодного и в 2,5–3 раза ниже прочности горячего асфальтобетона. Поэтому такую технологию можно применять для аварийного ремонта покрытий.

Для проведения ямочного ремонта покрытий нежесткого типа в СоюздорНИИ разработана складываемая асфальтобетонная смесь (САС) на вязких битумах, которую можно хранить, укладывать и уплотнять в

холодном виде. Их готовят на вязких битумах с повышенными тиксотронными свойствами, что достигается путём ввода в них специальных пластификаторов (летнее автотракторное дизельное топливо ЛТД и нефтяное сырьё СБ для производства вязких дорожных битумов).

В последнее время для ремонта выбоин и просадок применяют инжекторную или струйно-инъекционную холодную технологию. При этой технологии все операции выполняются рабочим органом одной машины (установки) самоходного или прицепного типа. Подготовка выбоины к ремонту сводится фактически к её очистке от пыли, мусора и влаги путём продувки высокоскоростной струёй воздуха и обработке поверхности выбоины битумной эмульсией. Операции обрезки, разлома или фрезерования асфальтобетона вокруг выбоины в этой технологии может не производиться. Заделка выбоины осуществляется посредством её заполнения мелким щебнем, предварительно обработанным битумной эмульсией в камере смешения машины. За счёт вовлечения и подачи щебня воздушной струёй его укладка в выбоину происходит с высокой скоростью, что обеспечивает хорошую его упаковку (уплотнение), исключая необходимость в уплотнении. Для ямочного ремонта по этой технологии рекомендуется использовать чистый мелкий щебень фракции 5...10(15) мм и быстрораспадающуюся катионную (для кислых каменных пород) или анионную (для основных каменных пород) битумную эмульсию 60%-ной концентрации. Практика его применения показывает, что фактически крепкую и долговечную заделку выбоины можно обеспечить даже при температуре воздуха до $-10...15$ °С. Не рекомендуется проводить работы этим способом при дожде и снегопаде, когда затруднена или даже исключена очистка выбоины от влаги, пыли и мусора и подгрунтовка битумной эмульсией.

При выборе между горячей и холодной технологиями ремонта асфальтобетонных покрытий следует обязательно учитывать, что прочность и водостойкость холодного асфальтобетона, приготовленного на жидком или разжиженном битуме, в 2–3 раза ниже, чем горячего. Поэтому его используют, в основном, для устройства и ремонта покрытий дорог третьей–четвёртой категорий. Холодные смеси на эмульсиях, полученных из высокосортных битумов или полимербитумов, хорошо себя показали на ямочном ремонте покрытий всех категорий дорог. Горячие асфальтобетонные смеси и литой асфальт применяют, как правило, преимущественно при ремонте покрытий дорог первой–второй категорий.

В последнее время для ремонта выбоин используется литой асфальт. Применение этого метода характеризуется сравнительно высокой стоимостью асфальтобетонной смеси за счёт повышенного содержания битума и минерального порошка, а также сравнительно большого энергопотребления при приготовлении горячей литой смеси. Применение высоковязкого битума в процессе приготовления асфальта требует более высоких темпе-

ратур, что приводит к высоким энергетическим затратам в процессе его производства (220...250 °С). К месту работ смесь доставляют специальными машинами с обогреваемой ёмкостью и выливают в подготовленную карту. После остывания смеси до 50...60 °С по отремонтированному участку открывают движение. Существенным недостатком, с точки зрения транспортно-эксплуатационных показателей покрытия, являются низкие сцепные показатели, что требует дополнительной операции по повышению шероховатости (вдавливание мелкого щебня в уложенный слой горячего асфальтобетона). Вязкую массу заливают в подготовленные ямы. Остывая, смесь уплотняется сама собой, без обработки катком. Такая технология обеспечивает высокие адгезионные свойства при морозах и повышенной влажности. Однако в летний период времени, нагреваясь на солнце до +60 °С, на покрытиях образуются пластические деформации, что приводит к образованию колеи, дорога продавливается колёсами транспорта, в результате, образуется колея.

Наиболее распространённым методом ремонта дорожных покрытий нежесткого типа является метод ремонта с использованием горячих асфальтобетонных смесей, который позволяет обеспечить заданный срок службы ремонтируемого участка покрытия и обеспечивает высокое качество ремонтных работ при условии соблюдения технологии. Однако качество ремонтных работ при этом методе в значительной степени зависит от погодных условий, точности выполнения требований технологии по подготовке рабочего места производства работ и обеспечения температурных режимов укладки и уплотнения горячей смеси.

При определении размеров ямочного ремонта учитывают, что разрушение нижележащего слоя происходит на большую площадь, чем разрушенная площадь покрытия. Поэтому граница обрабатываемой поверхности покрытия должна превышать разрушенную зону не менее чем на 5 см. Вырезка покрытия в месте ремонта производится фрезой методом холодного или горячего фрезерования. При небольших объёмах работ возможно применение нарезчика швов. Поверхность под ремонт покрытия может иметь любую форму, но без острых углов. Установлено, что использование перфораторов для отбора материала по границе зоны деформированного покрытия способствует образованию микротрещин, что приводит в дальнейшем к снижению срока службы отремонтированного покрытия. Удаление материала старого покрытия при отсутствии фрезерной машины производят ручным способом. Для обеспечения требуемого сцепления уложенного асфальтобетона со старым покрытием границы выбоины обрабатывают вяжущим материалом. После этого в подготовленную карту укладывается горячая асфальтобетонная смесь и уплотняется катками ручного типа или вибрационными плитами. Для обеспечения однородности структуры покрытия при восстановлении стараются использовать материал, свойства которого близки по прочности, деформа-

тивности и шероховатости состава материала, применяемому ранее при строительстве дорожных покрытий автомобильных дорог. Чаще всего при ремонте для этих целей применяют мелкозернистые и среднезернистые асфальтобетонные смеси типов Б и В. Жёсткие и прочные крупнозернистые и многощелебенистые смеси типа А из-за своих технологических характеристик применяются редко. В некоторых странах (Германия, Голландия и др.) нормативными документами определено в обязательном порядке при производстве ремонтных работ применение теплоизолированных контейнеров, так как применение асфальтобетонных смесей при температуре ниже 110...120 °С не допускается и считается браком. При отсутствии возможности приготовления горячей асфальтобетонной смеси на заводе рекомендуется применять технологию рециклинга, позволяющую готовить горячую смесь путём вторичной переработки асфальтобетонного материала непосредственно на месте производства работы. Наиболее эффективно рециклер работает, если в него загружается мелкая асфальтобетонная крошка, полученная путём холодного фрезерования покрытия. При этом для улучшения свойств смеси рекомендуется при загрузке крошки или кускового лома добавлять твёрдый битум в количестве 1...2% по весу. Применение такой технологии позволяет снизить затраты на ремонт дорожного покрытия на 50...60% с учётом доставки горячей смеси с завода.

Анализ технологий ремонтных работ с применением горячих смесей показывает, что основными недостатками, способствующими невысокому качеству работ, является нарушение требований по подготовке участка покрытия к производству работ, несоблюдение температурных режимов укладки и уплотнения горячих смесей, недостаточное уплотнение уложенной асфальтобетонной смеси, укладка горячей смеси на мокрую поверхность. При подготовке основания выбоины необходимо осуществлять контроль за плотностью основания выбоины и при необходимости производить доуплотнение нижележащего слоя основания.

Укладка горячей смеси на подготовленное место выбоины производится вручную или, если площадь выбоины сравнительно большая, непосредственно с автотранспорта. Дорожные катки, применяемые при строительстве асфальтобетонных покрытий, в зависимости от места назначения в технологическом процессе, имеют линейные давления в пределах от 40 до 100 кН/п.м. Линейное давление ручного катка статического действия соответствует 0,05...0,1 кН/п.м. Поэтому обеспечить требуемые эксплуатационные показатели асфальтобетона при использовании такой технологии практически невозможно. Применение вибрационных ручных катков не устраняет данный недостаток, хотя его воздействие на горячую асфальтобетонную смесь более эффективно за счёт дополнительного динамического фактора. В то же время малая масса вибрационного катка при значительной вынуждающей силе не обеспечивает требуемой плотно-

сти материала по толщине слоя, что способствует низкому качеству работ. Более эффективным для этих целей является применение вибрационных плит.

Контрольные вопросы к главе 1

1. От каких факторов зависит выбор технологии при ремонте выбоин и просадок на дорожных покрытиях нежесткого типа?
2. Какие технологии применяются при ремонте асфальтобетонных покрытий и назовите условия их эффективного применения?
3. Какие эксплуатационные параметры асфальтобетона влияют на работоспособность дорожного покрытия?
4. Перечислите технологические операции, выполняемые при производстве ремонтных работ выбоин и просадок на дорожных покрытиях.
5. Назовите нормативные документы, применяемые при строительстве и ремонте асфальтобетонных покрытий.
6. Перечислите факторы, влияющие на процессы разрушения асфальтобетонных покрытий при эксплуатации автомобильных дорог.
7. Какие средства механизации применяют при производстве ремонтных работ? Назовите области их применения.
8. Чем объясняется высокая эффективность вибрационных плит при ремонте выбоин на дорожном покрытии?

Основная литература

1. **Подольский, В. П.** Технология и организация строительства автомобильных дорог / В. П. Подольский. Т. 2: Дорожные покрытия ; под ред. В. П. Подольского. – Москва : Академия, 2012. – 297 с.
2. **Справочная** энциклопедия дорожника / А. П. Васильев и др. Т. II: Ремонт и содержание автомобильных дорог ; под ред. заслуж. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – Москва : Информавтодор, 2004. – 505 с.

Дополнительная литература

3. **Алферов, В. И.** Дорожные материалы на основе битумных эмульсий / В. И. Алферов. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2003. – 1542 с.
4. **Горельшева, Л. А.** Органоминеральные смеси в дорожном строительстве / Л. А. Горельшева // Обзорная информация. Вып. 3. – Москва, 2000. – 95 с.
5. **Автомобильные** дороги общего пользования Российской Федерации (справочник о наличии и протяженности по состоянию на 01.01.2005 год). – Москва : ФГУ «Дороги России», 2005.

6. **ГОСТ Р 50597–93.** Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Госстандарт России. 1994-07-01. – Москва. – 11 с.

7. **СНиП 3.03.06.85.** Автомобильные дороги. – Москва: ФГУП ЦПП, 1985.

8. **ГОСТ 9128–2009.** Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромы и асфальтобетон. Технические условия. – Москва : МНТКС, 2009.

9. **Государственная** служба дорожного хозяйства министерства транспорта РФ. Руководство по производству работ дорожным мастером (при содержании и ремонте автомобильных дорог). – Москва, 2001. – 48 с.

10. **ОДМД.** Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования. Утверждены министерством транспорта РФ от 17.03.2004. – № ОС-28/1270 ИС. – Москва, 2004. – 131 с.

11. **Евсеев, Е. Ю.** Влияние технологии работ на эксплуатационные показатели асфальтобетонного покрытия / Е. Ю. Евсеев, Р. В. Куприянов, А. Ф. Зубков // Механизация строительства. – 2011. – № 1. – С. 25–26.

Глава 2

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Технологические свойства дорожно-строительных материалов с применением битумных материалов зависят от температуры и регламентированы нормативными документами. Температурные режимы зависят от теплофизических свойств асфальтобетонных смесей, которые влияют на тепловые процессы, происходящие в асфальтобетоне как при производстве работ по устройству дорожных покрытий, так и при выполнении ремонтных работ.

В отличие от технологии устройства дорожных покрытий нежесткого типа производство ремонтных работ по устранению выбоин на асфальтобетонных покрытиях связано с использованием небольших объемов горячей смеси. Качество выполнения таких работ, особенно при пониженных температурах окружающего воздуха, зависит от характера распределения температуры в уложенном объеме горячего материала и влияет на достижение эксплуатационных параметров на ремонтном участке и на срок службы дорожного покрытия. Установлено, что процесс охлаждения слоя горячей смеси относится к нестационарным тепловым процессам, и расчёт температурных режимов укладки и уплотнения дорожных покрытий необходимо производить по средней температуре слоя смеси.

2.1. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ НА КАЧЕСТВО РАБОТ ПО РЕМОНТУ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЕСТКОГО ТИПА

Анализ технологий ремонта покрытий из горячих асфальтобетонных смесей показал, что в зависимости от конкретных условий производства работ и применяемого материала используются разные технологические схемы производства работ. Качество работ по устройству дорожных покрытий из горячих смесей зависит от многих факторов, каждый из которых влияет на технологию производства работ, выбор технологических параметров и режимов работы применяемых машин.

Установлено, что достигаемая плотность асфальтобетона при уплотнении, независимо от типа смеси, зависит от температуры начала уплотнения. Температура начала уплотнения смеси влияет также на другие показатели качества уплотнения (коэффициент уплотнения, плотность, водонепроницаемость).

Известно, что эффективность работы машины зависит от температуры начала уплотнения горячей смеси независимо от применяемого метода и в то же время конечный результат зависит от применяемого метода уплотнения. При динамическом режиме уплотнения максимальная величина коэффициента уплотнения достигается при более низких температурах окончания уплотнения, что подтверждается результатами экспериментальных исследований.

Установлено, что температура смеси влияет на прочностные характеристики и деформативную её способность во всём интервале температур. Изменение температуры горячего асфальтобетона от 150 до 50 °С приводит к увеличению предела прочности в 2,0–2,5 раза и модуля деформации материала в 4 раза. Наибольший эффект уплотнения достигается при высокой температуре смеси, когда битум, а следовательно, и смесь, имеют наименьшую вязкость и имеют малую способность сопротивляться внешней нагрузке. С понижения температуры смеси увеличивается вязкость битума. За счёт этого образовавшиеся связи между частицами материала усиливаются, что приводит к повышению предела прочности и модуля деформации смеси. Поэтому для обеспечения требуемого качества уплотнения необходимо увеличивать нагрузку на рабочий орган машины.

Эффективность работы уплотняющих машин зависит от температурных режимов смеси. Установлено, что каждому типу уплотняющей машины соответствует оптимальный температурный интервал смеси. Вязкость битума и температура начала уплотнения смеси влияет на получаемую плотность асфальтобетонного покрытия. Чем больше вязкость битума, тем в большей степени влияет температура начала уплотнения смеси на плотность асфальтобетона. Установлено, что максимальная плотность асфальтобетонных смесей может быть достигнута в определённых температурных интервалах, зависящих от марки битума. Увеличение температуры смеси выше определённой максимальной величины не даёт положительного эффекта, так как происходит снижение получаемой плотности. Это связано с разрушением структуры битума. При высокой температуре смеси частицы материала сжимаются под действием вальца катка, вытесняя битум в зонах контакта. При снятии нагрузки плёнка вяжущего, за счёт расклинивающего давления, восстанавливает начальную толщину, уменьшая тем самым получаемую плотность смеси. Чем меньше вязкость битума, тем быстрее протекает этот процесс. С понижением температуры смеси увеличивается вязкость битума, что приводит к увеличению сопротивления при сжатии частиц материала и ухудшению уплотняемости смеси при действии постоянной нагрузки. Экспериментальными исследованиями установлено, что асфальтобетонная смесь, независимо от марки битума, лучшим образом уплотняется в диапазоне вязкостей битумов от 10 до 25 Па·с, что позволяет определять температурные границы эффективного уплотнения горячих смесей при использовании разных марок

битумов. На основании данных экспериментов сделан вывод о том, вибрационные машины способны уплотнять асфальтобетонные смеси при более низких температурах. Экспериментальными исследованиями доказано, что вибрационный каток массой 4 т обеспечивает коэффициент уплотнения 0,98...0,99 при температуре начала уплотнения смесей 60 °С, чего достичь катками статического действия практически невозможно. Такой эффект объясняется тем, что под действием циклической нагрузки происходит разжижение битумной плёнки, уменьшается её вязкость, что позволяет получить более высокую плотность покрытия. Температурные режимы горячей асфальтобетонной смеси влияют на организацию и продолжительность работ. Продолжительность работ определяется темпом охлаждения смеси и зависит от разных факторов. Влияние температуры на свойства материала и характер охлаждения смеси в зависимости от метеорологических условий при строительстве покрытий рассмотрены в работе А. А. Иноземцева. Установлено, что охлаждение горячей асфальтобетонной смеси, независимо от её состава, температуры воздуха и скорости ветра, подчиняется экспоненциальному закону.

Работами В. Н. Богословского, Г. Ф. Мучника, М. А. Михеева установлено, что скорость охлаждения (темп охлаждения) в регулярных нестационарных теплопередачах не зависит от времени и начального распределения температуры. Величина скорости охлаждения зависит от размеров тела, его теплофизических характеристик и условий теплообмена на поверхности тела.

В работах Б. И. Ладыгина и Н. В. Горельшева влияние нагрева нижележащего слоя дорожной одежды учитывается за счёт коэффициента влияния температуры основания. По данным исследований Б. И. Ладыгина учитывать влияние нагрева основания необходимо при температуре воздуха 40...45 °С. При равной температуре основания и окружающего воздуха коэффициент равен единице. По данным Н. В. Горельшева, численное значение коэффициента принимается единице при равенстве температур основания и воздуха, а с повышением температуры воздуха выше 25 °С значение коэффициента принимается 1,25. Установлено, что температура основания влияет на температурные режимы слоя смеси, закономерность носит общий характер и численное значение коэффициента зависит от разницы температур основания и воздуха. Горячая асфальтобетонная смесь доставляется к месту производства работы с температурой, зависящей от марки битума и типа смеси. За счёт разницы в температурах смеси и основания, а также окружающего воздуха, происходят тепловые процессы, влияющие на качество работ. Понижение температуры смеси способствует изменению теплофизических и деформационно-прочностных характеристик, что необходимо учитывать при производстве работ с применением горячих асфальтобетонных смесей.

2.2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Темп охлаждения слоя покрытия зависит от теплофизических характеристик горячей смеси, к которым относятся удельная теплоёмкость (c), коэффициент теплоотдачи (α) и коэффициент теплопроводности смеси (λ). Установлено, что удельная теплоёмкость смеси зависит от температуры. Исследованиями Л. Б. Гезенцева, Н. В. Горельшева, А. М. Богуславского и И. В. Королева установлено, что удельная теплоёмкость каменных материалов в два раза ниже удельной теплоёмкости битума. В результате обработки экспериментальных данных установлено, что между температурой и удельной теплоёмкостью битума существует зависимость, которая имеет вид

$$C_{\text{б}} = 1,1333e^{00036t}, \text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}, \quad (2.1)$$

где $C_{\text{б}}$ – удельная теплоёмкость битума, кДж/кг \cdot° С; t – температура битума, $^{\circ}$ С.

Горячие асфальтобетонные смеси, в зависимости от процентного содержания минеральных материалов, делятся на типы. Процентное содержание каменного материала, в зависимости от типа смеси, влияет на удельную теплоёмкость смесей. Поэтому количество тепла, соответствующее объёму горячей смеси, зависит от типа смеси и влияет на тепловые процессы при производстве ремонтных работ. Численное значение удельной теплоёмкости смеси можно определить по формуле [2]

$$C_{\text{см}} = 0,01[(100 - z)c_{\text{б}} + zc_{\text{агр}}], \text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}, \quad (2.2)$$

где z – процент массы агрегатов от общей массы смеси; $c_{\text{агр}}$ – удельная теплоёмкость агрегатов смеси, кДж/кг \cdot° С; $c_{\text{б}}$ – удельная теплоёмкость битума, которая зависит от её температуры.

Величиной, характеризующей перераспределение тепла внутри слоя смеси и передачу тепла боковым стенкам выбоины, является коэффициент теплопроводности (λ), который зависит от плотности материала. Производство работ по устройству дорожных покрытий выполняется с применением горячих асфальтобетонных смесей. При пониженных температурах воздуха горячая смесь укладывается в выбоину, где температура боковых поверхностей и основания выбоины покрытия, как правило, равняется температуре воздуха. Известно, что коэффициент теплопередачи зависит также от температуры смеси. В результате обработки экспериментальных данных, представленных в работе, установлена зависимость коэффициента теплопроводности асфальтобетона от температуры в интервале от -20 до $+170$ $^{\circ}$ С. Численное значение коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры определяется из выражения

$$\lambda = 0,92e^{0,0008t}, \text{ Вт/м}\cdot\text{°С}, \quad (2.3)$$

где t – температура смеси. Коэффициент корреляции равен 0,997.

Следовательно, задавая типом смеси и температурными режимами при производстве работ, с учётом марки битума, по данным зависимостям можно определить теплофизические характеристики смесей.

2.3. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Выбор технологии уплотнения асфальтобетонных смесей позволяет регулировать процесс формирования макроструктуры дорожного покрытия в процессе производства ремонтных работ. Обеспечить качество уплотнения дорожного материала возможно при соблюдении условия, когда величина контактных напряжений под рабочим органом машины близка пределу прочности уплотняемого материала.

Если величина контактных напряжений превышает предел прочности материала, то происходит перемещение частиц материала относительно друг друга без изменения объёма, и в результате наблюдается течение материала из-под рабочего органа машины. Такая деформация приводит к неравномерности уплотнения материала и получению неровной поверхности, а также к образованию микро- и макротрещин, что приводит к снижению качества уплотнения дорожных покрытий.

Известно, что предел прочности горячего асфальтобетона зависит от температуры, типа смеси, степени уплотнения и толщины уплотняемого слоя. В общем виде зависимость предела прочности горячего асфальтобетона от перечисленных факторов можно представить в виде зависимости

$$[\sigma]_{\text{пр}} = f(t^{\circ}_{\text{см}}; K_y; h/d), \quad (2.4)$$

где $t^{\circ}_{\text{см}}$ – температура смеси, °С; K_y – коэффициент уплотнения; h/d – отношение толщины слоя к дуге контакта вальца катка с материалом.

С учётом влияния переменных факторов на предел прочности горячего асфальтобетона установлена общая зависимость для определения предела прочности горячего асфальтобетона от перечисленных факторов, которая имеет вид [2]

$$\sigma_{\text{пр}} = 0,08 e^{[5,876K_y - 0,697(h/d) - 0,025t_{\text{см}}]}, \quad (2.5)$$

где K_y – коэффициент предварительного уплотнения; e – основание натурального логарифма; h – толщина слоя, м; d – диаметр штампа, соответствующий длине дуги контакта рабочего органа машины с материалом, м; $t_{\text{см}}$ – температура горячей смеси, °С.

Контрольные вопросы к главе 2

1. Какие теплофизические характеристики применяемого материала при устройстве покрытия влияют на температурные режимы уплотняющих машин?
2. Назовите требуемое значение коэффициента уплотнения при приёмке работ по уплотнению дорожных одежд автомобильной дороги.
3. Объясните характер происходящих тепловых процессов при укладке и уплотнении горячих асфальтобетонных смесей в дорожное покрытие.
4. От каких факторов зависит продолжительность работ по укладке и уплотнению горячих смесей?
5. Перечислите технологические параметры, влияющие на качество работ при устройстве асфальтобетонного покрытия.
6. Объясните причину понижения эффекта уплотнения при пониженных температурах горячей смеси.

Основная литература

1. **Справочная** энциклопедия дорожника / А. П. Васильев и др. Т. II: Ремонт и содержание автомобильных дорог ; под ред. заслуж. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – Москва : Информавтодор, 2004. – 505 с.
2. **Зубков, А. Ф.** Технология устройства дорожных покрытий с учётом температурных режимов асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2006. – 151 с.
3. **Подольский, В. П.** Технология и организация строительства автомобильных дорог / В. П. Подольский. Т. 2: Дорожные покрытия ; под ред. В. П. Подольского. – Москва: Академия, 2012. – 297 с.

Дополнительная литература

4. **Технология** и организация строительства автомобильных дорог / Н. В. Горельшев и др. – Москва : Транспорт, 1991. – 551 с.
5. **Мучник, Г. Ф.** Методы теории теплообмена / Г. Ф. Мучник, И. Б. Рубашов. Ч. 1: Теплопроводность. – Москва : Изд-во «Высшая школа», 1987.

Глава 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЕМОНТНЫХ РАБОТ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

При моделировании температурных режимов горячей смеси при строительстве асфальтобетонных покрытий принимают, что изменение температуры горячей смеси происходит за счёт передачи тепла в окружающую среду и основание покрытия. Устранение дефектов дорожных покрытий в виде выбоин предусматривает укладку и уплотнение небольших объёмов горячей асфальтобетонной смеси, где тепловые потоки от уложенного объёма горячей смеси перемещаются не только в окружающую среду и основание выбоины, но и в направлениях боковых стенок выбоины. Поэтому математическая модель должна решать задачу в трёхмерном пространстве и иметь возможность определять температуру смеси в любой точке объёма материала. Продолжительность охлаждения уложенного слоя горячей асфальтобетонной смеси определяется темпом охлаждения и зависит от геометрических размеров выбоины, теплофизических свойств смеси и погодных условий производства ремонтных работ. Анализ процессов охлаждения слоя горячей асфальтобетонной смеси при устройстве покрытия и производстве ремонтных работ показал, что имеются различия в процессе охлаждения горячей смеси, при этом характер охлаждения по толщине уложенного слоя подчиняется общей закономерности. В начальный момент времени при укладке горячей смеси температура по глубине уложенного слоя имеет одинаковую температуру. После укладки и распределения горячей смеси в выбоине часть тепла отдаётся в окружающую среду, зависящую от скорости воздушного потока, что приводит к интенсивному охлаждению смеси на поверхности слоя. За счёт разности температуры горячей смеси и нижнего слоя покрытия часть тепла передаётся основанию выбоины, причём интенсивность охлаждения уложенного слоя смеси зависит от коэффициента теплопередачи на границе слоёв горячей смеси и основания выбоины. За счёт разницы температуры поверхности дорожного покрытия и укладываемой горячей смеси тепло передаётся через боковые поверхности выбоины дорожному покрытию, что способствует резкому понижению температуры горячей смеси в зоне выбоина–покрытие. Потери тепла в контактных зонах контакта выбоины и дорожного покрытия восполняются за счёт передачи тепла из средней части слоя горячей смеси, что способствует общему снижению температуры всего объёма уложенной горячей смеси.

3.1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Для определения температуры горячей асфальтобетонной смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать температуру смеси в любой точке уложенного объёма материала в выбоине. В основе аналитической модели теплопроводности принята модель теплового потока, определяемая уравнением Био–Фурье:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}, \quad (3.1)$$

где q – поверхностная плотность теплового потока, проходящего через плоскость, перпендикулярную тепловому потоку, Вт/м²; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°C); T – температура, изменяющаяся вдоль оси x , °C; $\frac{dT}{dx}$ – градиент температуры, °C/м.

При разработке модели приняты следующие допущения:

- температурные режимы укладки и уплотнения горячей смеси при производстве ремонтных работ дорожного покрытия нежёсткого типа зависят от типа смеси, марки битума и ограничены во времени температурным интервалом 160...50 °C;
- толщина укладываемого слоя горячей смеси зависит от глубины выбоины или просадки дорожного покрытия и находится в пределах 0,01...0,3 м;
- в начальный момент времени распределения смеси температура по толщине слоя имеет одинаковую величину;
- укладываемый материал в выбоину однородный;
- потери тепла происходят через верхнюю поверхность слоя за счёт теплового излучения и конвективного обмена в атмосферу и через боковые поверхности выбоины за счёт теплопроводности материала;
- направление тепловых потоков принимается перпендикулярно к поверхности слоя;
- потери тепла в основание выбоины происходят через нижнюю поверхность слоя за счёт теплопроводности материала;
- сцепление слоёв обеспечивает достаточный термоконттакт;
- температура окружающей среды и скорости воздушных масс с момента укладки слоя смеси и до окончания процесса уплотнения остаются постоянными.

При моделировании тепловых процессов приняты граничные условия на основе следующих допущений:

- соблюдается условие конвективного теплообмена на границе верхнего слоя с окружающей средой;
- соблюдается условие равенства тепловых потоков на границах слоёв горячей смеси и слоя покрытия;
- соблюдается условие на бесконечность, ограничивающее температуру в полупространстве.

Аналитическая модель основана на уравнении теплопроводности, имеющей вид

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_V T) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (3.2)$$

где ρ – плотность среды; c_V – теплоёмкость среды при постоянном объёме; t – время; x, y, z – координаты; $T = T(x, y, z, t)$ – температура, которая вычисляется при помощи уравнения теплопроводности; λ – коэффициент теплопроводности.

Установлено, что коэффициент теплопроводности для асфальтобетона, в зависимости от плотности и температуры, имеет вид

$$\lambda = K_T (0,649\gamma - 0,229), \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}; \quad (3.3)$$

где K_T – безразмерный коэффициент, зависящий от температуры, численное значение которого можно определить из выражения

$$K_T = 0,895e^{0,0898(t/100)}.$$

Передача теплоты конвекцией основывается на законе Ньютона–Рихмана, согласно которому тепловой поток от поверхности горячей смеси выбоины к воздуху пропорционален поверхности теплообмена и разности температур между температурой твёрдой стенки T_c и температурой воздуха T_B . При разработке модели использована эмпирическая зависимость, основанная на том, что охлаждение горячей асфальтобетонной смеси в тонком слое, независимо от её состава, температуры воздуха и скорости ветра подчиняется экспоненциальному закону:

$$\ln \left(\frac{T_0 - T_B}{T_p - T_B} \right) = m\tau = \frac{2\lambda}{\gamma ch} t, \quad (3.4)$$

где t – время, ч; T_0 – температура смеси в начальный момент времени, °C; T_B – температура воздуха, °C; T_p – температура смеси в расчётный момент времени, °C; m – скорость охлаждения, (град)⁻¹; λ – коэффициент теплоотдачи смеси, Вт/(м·°C); c – теплоёмкость смеси, Дж/(кг·°C); γ – объёмная масса смеси, кг/м³; h – толщина слоя смеси, м.

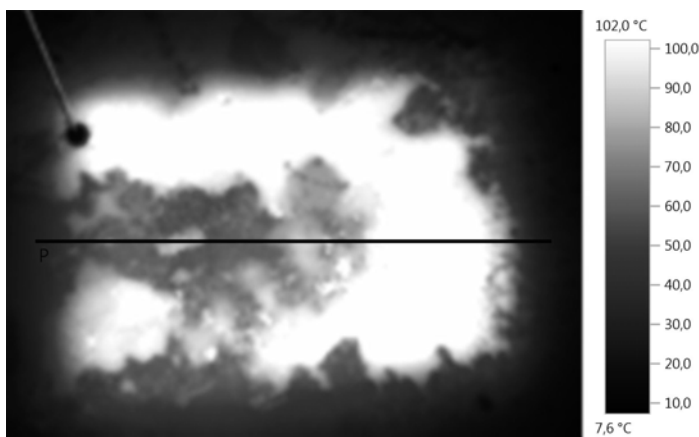


Рис. 3.1. Распределение температуры горячей асфальтобетонной смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия:

температура смеси при укладке – 150 °С; температура воздуха – 2 °С;
 время замера температуры – 5 мин после укладки

Построение имитационной модели производилось на основе сеточной модели. Для уточнения теплофизических характеристик горячей асфальтобетонных смесей использованы экспериментальные данные по охлаждению смеси при ремонте выбоин на дорожном покрытии в г. Тамбове при разных температурах окружающего воздуха (рис. 3.1).

Разработанная программа позволяет, используя экспериментальные данные, моделировать тепловые процессы при ремонте выбоин с применением горячих смесей и определять температуру горячей смеси в любой точке уложенного объема материала. На рисунке 3.2 представлены результаты моделирования распределения температуры заданной точки объема горячей смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия автомобильной дороги по длине и глубине выбоины с учётом временного фактора.

Установлено, что время остывания слоя асфальтобетонной смеси зависит от толщины слоя, температуры смеси, воздуха и основания, теплофизических свойств смесей и теплообмена на поверхности слоя

Анализ характера охлаждения горячей смеси при устройстве покрытия и при ремонте выбоины по толщине уложенного слоя показал, что они аналогичны между собой. В то же время продолжительность работ по ремонту выбоин, в отличие от времени при устройстве покрытия, с учётом температурных режимов смеси, составляет значительно меньший промежуток времени. Следовательно, для обеспечения качества ремонтных работ необходимо применять прогрессивные методы организации и технологии ремонтных работ, позволяющие за малый промежуток времени выполнить ремонтные работы по устранению дефекта на покрытии дороги.

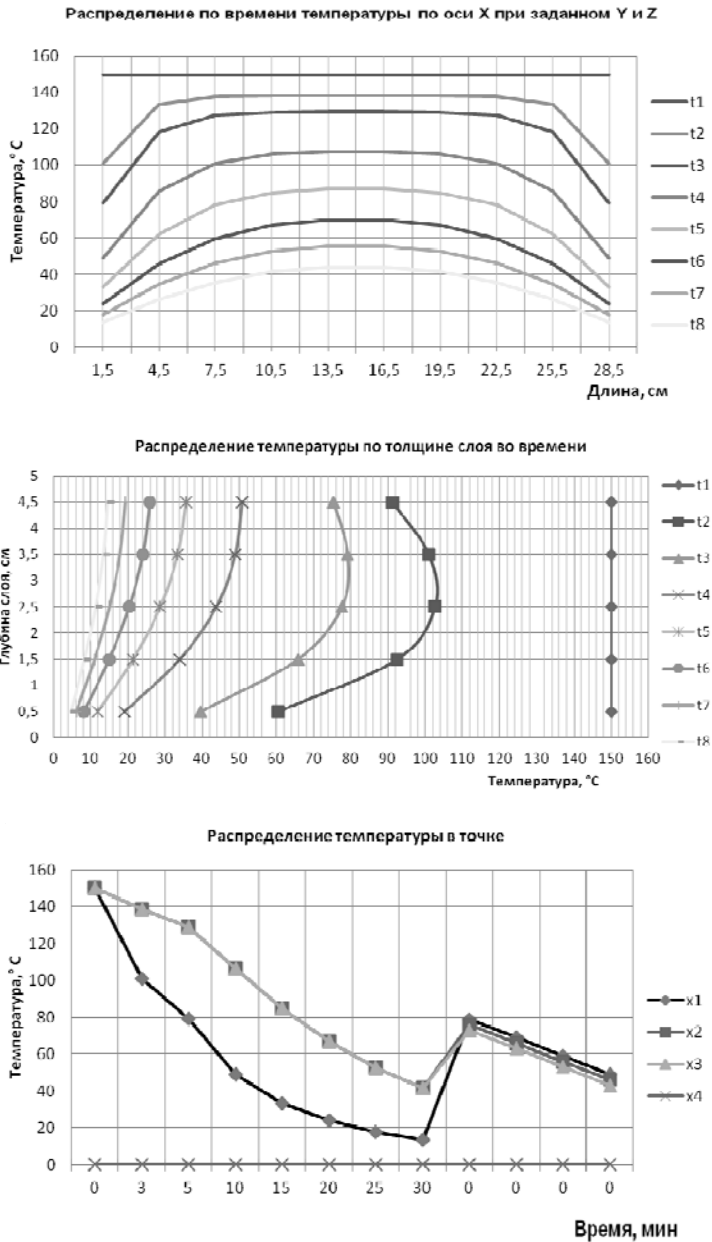


Рис. 3.2. Распределение температуры в выбоине дорожного покрытия при укладке горячей смеси с температурой 150 °С и температуре воздуха 0 °С

3.2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ РЕМОНТЕ ВЫБОИН ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Производство работ по ремонту дорожных покрытий нежесткого типа с применением горячих асфальтобетонных смесей в соответствии с нормативными документами должно производиться при температуре окружающего воздуха не ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, и при этом поверхность выбоины должна быть сухой, за исключением применения в качестве вяжущего материала битумных эмульсий или на их основе других применяемых материалов. На практике для обеспечения безопасности движения транспортных средств в течение круглого года приходится выполнять работы по ямочному ремонту покрытия и при других погодных условиях (срочный аварийный ремонт). Известно, что ямочный ремонт, выполненный без тщательной подготовки места к производству работ и соблюдения требований к технологии выполнения ремонтных работ, снижает срок службы отремонтированной поверхности. Одним из основных факторов, влияющим на качество ремонта выбоин, является температурный режим при укладке и уплотнении горячей асфальтобетонной смеси.

С целью определения распределения температуры горячей смеси при укладке и уплотнении её в выбоину при ямочном ремонте дорожного покрытия проведены лабораторные и производственные исследования, в результате которых определялся характер распределения температуры в зависимости от формы выемки и температуры горячей смеси. В качестве объектов исследования приняты выбоины с разными размерами и поверхностями соприкосновения с дорожным покрытием (прямой угол, прямая линия и криволинейная поверхность) при производстве ремонтных работ в Тамбове. Температура воздуха находилась в интервале от $+10$ до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для устранения дефекта на покрытии дороги использовалась горячая асфальтобетонная смесь типа Б с температурой укладки $140\text{...}120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Измерение температуры проводилось по площади выбоины и по толщине укладываемого слоя смеси с помощью датчиков измерения температуры и тепловизионной камеры (testo 880).

Экспериментально установлено, что распределение температуры в горизонтальной плоскости выемки с течением времени меняется. С учётом небольших объёмов укладываемой горячей смеси темп охлаждения смеси выше, чем при устройстве дорожного покрытия, что способствует быстрому охлаждению смеси в выбоине покрытия и уменьшению продолжительности ремонтных работ с учётом температурных режимов горячей асфальтобетонной смеси.

Установлено, что характер охлаждения горячей смеси подчиняется экспоненциальной зависимости и наиболее интенсивно смесь охлаждается в течение нескольких минут сразу после укладки. Если на начальном эта-

после укладки горячей смеси на поверхности выбоины наблюдается незначительная зона материала с пониженной температурой смеси, то через несколько минут зона материала с пониженной температурой значительно увеличивается. Участок асфальтобетонной смеси с пониженной температурой зависит от формы сечения выемки.

Объём смеси с пониженной температурой зависит температуры укладываемой смеси, от формы сечения выемки и увеличивается со временем (рис. 3.3).

Установлено, что наиболее интенсивно процесс охлаждения происходит вблизи прямого угла выемки и характеризуется максимальной зоной охлаждённого материала. Другие формы выемки подчиняются общим закономерностям процесса охлаждения горячей смеси и незначительно отличаются между собой по формированию зон с пониженной температурой смеси (рис. 3.4). Из представленных данных видно, что распределение температуры по объёму уложенной горячей смеси неравномерно. На определённой площади горячей смеси, уложенной в выбоину, наблюдается резкое падение температуры, которое в зависимости от размеров выбоины и объёма уложенной смеси может значительно отличаться от температуры в центре выбоины.

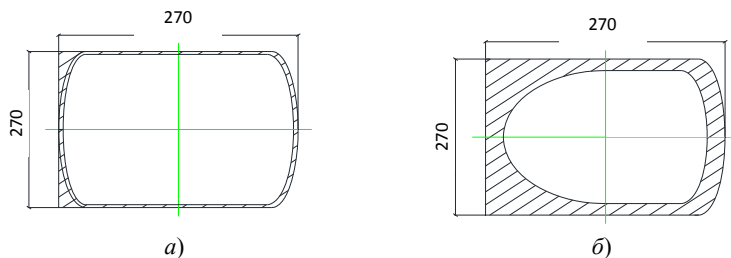


Рис. 3.3. Изменение зоны выбоины с пониженной температурой смеси во времени:

a – после укладки смеси; *б* – через 10 мин

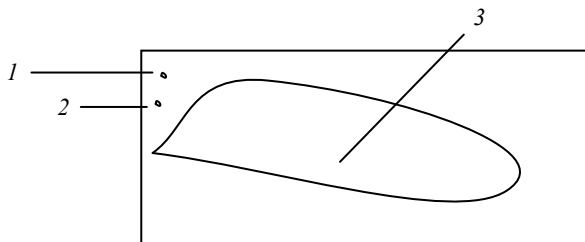


Рис. 3.4. Распределение температуры в горячей смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия:

1 – прямой угол, температура смеси 59 °С; *2* – прямая линия, 48 °С; центр выбоины – 100 °С

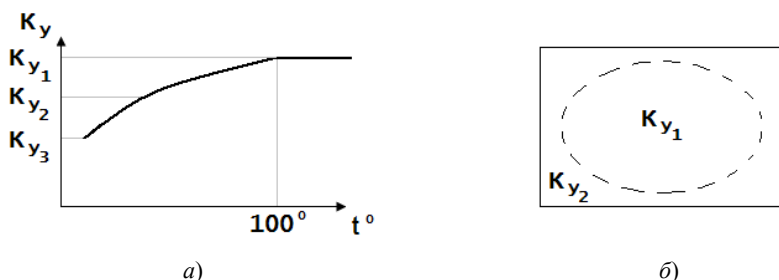


Рис. 3.5. Распределение коэффициента уплотнения горячей асфальтобетонной смеси по площади выбоины покрытия

Известно, что обеспечение эксплуатационных показателей асфальтобетона зависит от температуры смеси при уплотнении. Такое изменение температуры горячей смеси по площади выбоины приводит к разным коэффициентам уплотнения, водонепроницаемости и плотности асфальтобетона (рис. 3.5).

Следовательно, на тех участках выбоины, где эксплуатационные параметры асфальтобетона не соответствуют требованиям, в процессе эксплуатации покрытия происходит разрушение материала и снова будет образовываться выбоина (рис. 3.6).

На основании представленных результатов исследований можно сделать вывод, что несоблюдение температурных режимов при производстве ремонтных работ, независимо от качества приготовления горячей асфальтобетонной смеси и применяемых машин для уплотнения, качество ремонта выбоин будет невысоким. Для достижения требуемого качества



Рис. 3.6. Разрушение асфальтобетона в выбоине в зоне контакта с покрытием

ремонта выбоины с применением горячей асфальтобетонной смеси необходимо обеспечить, особенно при пониженных температурах окружающего воздуха соблюдение температурных режимов при укладке и уплотнении горячей смеси в выбоину. Это обеспечивает равномерное распределение температуры по всему объёму уложенной смеси и увеличить продолжительность работ по уплотнению горячей смеси.

3.3. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

3.3.1. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСИ В ВЫБОИНЕ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Производство работ с применением горячих асфальтобетонных смесей зависит от температуры окружающего воздуха. Нормативными документами допускается производство работ при положительной температуре окружающего воздуха. В то же время оговаривается, что при исключительных случаях, для обеспечения безопасности движения, допускается производство работ при температуре воздуха до -10°C . В зависимости от температуры воздуха, с учётом температурных режимов укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей, отличаются и требования к технологии выполнения работ.

При пониженных температурах воздуха увеличивается темп охлаждения горячей смеси за счёт отдачи тепла в окружающую среду и основание, а также за счёт контакта поверхности слоя с рабочими органами уплотняющих машин.

Установлено, что продолжительность выполнения работ с горячими асфальтобетонными смесями при понижении температуры воздуха от $+5$ до -10°C приводит к уменьшению продолжительности работ на 20...22% независимо от толщины слоя. Поэтому на практике для увеличения продолжительности работ и обеспечения температурных режимов горячих смесей при производстве работ применяют смеси с температурой, выше допустимой для вяжущего материала. Такой способ увеличения продолжительности ремонтных работ приводит к необратимым структурным изменениям и свойствам битума, которые происходят в результате термоокислительных процессов при высоких температурах, что способствует ухудшению качества смеси.

По результатам проведённых исследований установлено, что температура окружающего воздуха влияет на темп охлаждения горячей смеси, особенно в зоне границы контакта с уложенным ранее асфальтобетоном в покрытие. Это способствует тому, что в пограничной зоне темп охлаждения горячей смеси возрастает за счёт передачи тепла боковым граням

3.1. Влияние температуры воздуха на ширину зоны смеси с пониженной температурой

Температура воздуха, °С	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Ширина зоны, см	6,0	5,5	3,5	3,0	2,0	1,5	1,0	0

выбоины, что приводит к образованию зоны материала с пониженной температурой по отношению к общему объёму уложенного горячего материала, которую можно охарактеризовать шириной зоны. В таблице 3.1 представлены результаты измерения ширины зоны с пониженной температурой смеси при укладке горячей смеси типа В с температурой 160 °С и её понижения до температуры 80 °С.

Из представленных в таблице данных видно, что зона понижения температуры горячей смеси в зоне контакта с дорожным покрытием наблюдается даже при температуре окружающего воздуха до +40 °С, причём ширина зоны зависит от температуры воздуха. Это объясняется тем, что при укладке смеси с высокой температурой, за счёт разницы температуры дорожного покрытия и горячей смеси, в зоне контакта происходит интенсивная передача тепла от горячей смеси к покрытию, которая имеет более низкую температуру.

На основании этого можно сделать вывод, что при производстве ремонтных работ покрытия нежесткого типа с применением горячих асфальтобетонных смесей на границе выбоины и уложенного ранее асфальтобетона в дорожное покрытие, существуют объёмы асфальтобетона, уплотняемые при температуре смеси, которые не позволяют достичь высокого коэффициента уплотнения по всей поверхности выбоины или просадки покрытия. С целью уточнения данного вывода были взяты образцы асфальтобетона при производстве ямочного ремонта на дорогах Тамбова, выполненные в летний период года при температуре окружающего воздуха +25 °С. Результаты испытания взятых образцов показали, что если в центре выбоины коэффициент уплотнения асфальтобетона равен 0,99, то на границе выбоины он равен 0,98.

В таблице 3.2 представлены результаты измерения ширины зоны с пониженной температурой асфальтобетонной смеси ниже 80 °С, уложенной при температуре 160 °С, что соответствует температурным режимам укладки и уплотнения горячей смеси типа В с битумом марки БНД 90/130.

Из представленных данных видно, что величина ширины зоны уложенного слоя горячей асфальтобетонной смеси в выбоину зависит от температуры окружающего воздуха и температуры смеси при укладке. Следовательно, при производстве ремонтных работ и укладке горячей асфальтобетонной смеси в выбоину практически всегда имеется объём

3.2. Влияние температуры воздуха на ширину зоны выбоины с температурой горячего асфальтобетона ниже допустимой с учётом влияния температуры смеси при укладке

Температура смеси, °С	Температура воздуха, °С							
	-20	-10	0	10	20	30	40	50
160	5,0	5,5	3,5	3,0	2,0	1,5	1,0	0
150	7,5	5,0	4,0	3,5	3,0	2,0	1,5	0
140	15,0	10,5	6,0	4,0	3,2	2,0	1,5	1,0
130	–	–	7,5	5,0	3,5	2,5	1,0	0,5
120	–	–	–	9,0	6,0	4,5	3,0	2,0
110	–	–	–	–	–	7,5	5,0	3,0
100	–	–	–	–	–	–	–	4,5
90	–	–	–	–	–	–	–	–

асфальтобетонной смеси с пониженной температурой, независимо от температуры окружающего воздуха. В то же время величина ширины зоны с пониженной температурой зависит от температуры смеси при укладке.

3.3.2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСИ ПРИ УКЛАДКЕ В ВЫБОИНУ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ ПО РЕМОНТУ ВЫБОИН

При производстве работ с использованием горячих асфальтобетонных смесей основным параметром, определяющим начало выполнения работ, принята температура с учётом типа смеси. Отмечалось, что рекомендуемые температурные интервалы для разных типов смесей не учитывают марки вяжущего, которые имеют разные температурные границы эффективного уплотнения для одного и того же типа смеси. К тому же выбор параметров уплотняющих машин по этому параметру не учитывает прочностные характеристики асфальтобетонных смесей, зависящих не только от температуры смеси, но и от конструктивных параметров объекта работ.

В отличие от строительства дорожных покрытий нежёсткого типа, когда толщина укладываемого слоя горячей смеси имеет заданную величину, при производстве ремонтных работ толщина слоя укладываемого материала зависит от параметров образовавшегося дефекта на поверхности покрытия, что влияет на тепловые процессы в уложенном материале.

Доказано, что интенсивность охлаждения слоя смеси при укладке и уплотнении протекает по законам нестационарных теплопередач и зависит от различных факторов. Исследованиями других авторов показано, что продолжительность процессов укладки и их уплотнения горячих асфальтобетонных смесей при строительстве дорожных покрытий зависит от свойств смеси, применяемого оборудования, производственных и погодных условий и может значительно отличаться между собой, что требует учёта при выполнении работ.

Температура материала, доставляемого к месту производства работ, зависит от свойств смеси, дальности перемещения и скорости движения транспортных средств, температуры воздуха и использования специальных устройств для сохранения температуры при транспортировке смеси. Температура смеси влияет как на величину коэффициента уплотнения, так и на прочность асфальтобетона.

Температура смеси при отгрузке потребителю зависит от марки битума и регламентирована ГОСТ 9128–2009. Температура укладки смеси регламентируется СНиП 3.06.03–85.

Продолжительность транспортировки асфальтобетонных смесей без использования специальных устройств устанавливается из условия обеспечения минимально допустимой температуры при укладке. Анализ температуры смеси при отгрузке и укладке показывает, что в процессе транспортировки смеси тепловые потери должны быть сведены к минимуму, что возможно только при использовании различных специальных устройств. Для приготовления смеси любого типа могут быть использованы разные марки битума БН и БНД, свойства которых зависят от температуры, а следовательно, имеют разные температуры окончания работ.

Повышение температуры окончания эффективного уплотнения смесей способствует повышению качества уплотнения и одновременно приводит к уменьшению времени работы уплотняющих машин, что требует тщательной проработки технологии ремонтных работ и постоянного контроля температуры применяемой смеси.

Отличительной особенностью производства ремонтных работ по устранению выбоин и просадок на дорожных покрытиях является укладка и уплотнение небольших объёмов горячей асфальтобетонной смеси, что характеризуется интенсивным охлаждением уложенной смеси и незначительным временем нахождения смеси в заданном температурном интервале. В отличие от процесса устройства дорожного покрытия из горячих асфальтобетонных смесей, когда смесь находится в заданных температурных интервалах до 50...60 мин, при производстве работ по устранению выбоин и просадок на поверхности дорожного покрытия время нахождения горячей смеси в заданном температурном интервале для слоя толщи-

ной 0,05 м, в зависимости от температуры окружающего воздуха, составляет 5...12 мин. Это можно объяснить тем, что температурные режимы уложенной горячей смеси в выбоину покрытия соответствуют нестационарным процессам, происходящим на стадии укладки горячей смеси в покрытие, которые характеризуются незначительными интервалами времени и зависят от тех же факторов, что и при ремонте покрытия. С учётом небольшого объёма укладываемой горячей смеси время нахождения в заданном температурном интервале незначительно.

3.4. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЯЧЕЙ СМЕСИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВЫБОИНЕ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

При устройстве дорожного покрытия толщина укладываемого слоя покрытия находится в заданных значениях, определяемых при проектировании дорожных одежд с учётом нагрузки от транспортных средств и интенсивности движения. В соответствии с этим при разработке технологических процессов укладки и уплотнения горячей асфальтобетонных смесей, а также определения температурных режимов исходят из условий, что распределение температуры в смеси происходит в одной плоскости. Отдача тепла горячей смесью происходит в окружающую среду (воздух) и нижележащий слой дорожной одежды. Установлено, что в этом случае увеличение толщины слоя горячей смеси значительно влияет на температурные режимы смеси и продолжительность операций по укладке и уплотнению слоя покрытия. Доказано, что повышение толщины слоя покрытия, особенно при пониженных температурах окружающего воздуха, является более эффективным методом повышения времени на устройства асфальтобетонного покрытия с заданным качеством работы по отношению к методу повышения температуры приготовления, укладки и уплотнения горячих смесей. С повышением толщины слоя горячей смеси основание прогревается до более высокой температуры (50...60 °С), что сказывается на качестве уплотнения. При одной и той же относительной толщине укладываемого слоя смеси допустимое время на процесс уплотнения зависит от типа смеси. С увеличением крупности фракций минерального материала допустимая продолжительность работы уменьшается. Это объясняется тем, что с увеличением крупности фракций минерального материала возрастает коэффициент теплопроводности материала, что способствует более интенсивной передаче тепла в нижележащие слои дорожной одежды. Экспериментально доказано, что при увеличении толщины слоя из песчаной асфальтобетонной смеси в 2 раза время на её уплотнение увеличивается в 3 раза, для среднезернистых смесей время возрастает в 2,5 раза, а для крупнозернистых – в 2 раза.

Нормативными документами максимальные параметры выбоины определены размерами 0,6×0,3×0,05 м. С целью уточнения влияния размеров выбоины на зону материала с пониженной температурой смеси при производстве работ была принята выбоина глубиной 0,05 м при разной её длине и постоянных параметрах смеси: тип смеси В, приготовленной на битуме марки БНД 90/130; температура смеси при укладке 140 °С; скорость ветра –0 м/с; температура окончания работ 80 °С и температура воздуха –10 °С. На основании полученных результатов установлено, что зона понижения температуры горячей смеси симметрична по ширине и длине выбоины относительно центра и её величина зависит от условий производства ремонтных работ и теплофизических характеристик материала. Установлено также, что наиболее интенсивно охлаждение горячей смеси происходит около прямого угла сопряжения выбоины с дорожным покрытием, что объясняется более интенсивной отдачей тепла в двух плоскостях и разница температуры по отношению к центру выбоины может достигать 40...50 °С. В меньшей степени отдача тепла от горячей асфальтобетонной смеси наблюдается при передаче тепла перпендикулярно к поверхности выбоины, поскольку в этом случае тепло передаётся в одной плоскости. При сопряжении поверхности выбоины с дорожным покрытием в виде дуги интенсивность передачи тепла от горячей смеси к поверхности выбоины занимает промежуточное значение. Величина зоны выбоины с пониженной температурой горячей смеси зависит от температуры смеси при укладке, температуры воздуха и геометрических параметров выбоины.

Следовательно, при укладке горячей асфальтобетонной смеси в выбоину по периметру возникает зона горячей смеси с пониженной температурой, причём ширина зоны зависит от температуры воздуха и укладываемой смеси и не зависит от размеров выбоины в плане.

Как показывает практика содержания и ремонта дорожных покрытий нежесткого типа, глубина выбоин является величиной переменной и на небольшой протяжённости покрытия встречаются выбоины с разными размерами, зависящими от разных факторов. Изменение глубины выбоины способствует, при одних размерах в горизонтальной плоскости, разным объёмам укладываемой смеси. Известно, что изменение толщины укладываемого слоя горячей смеси влияет на характер распределения температуры по толщине слоя и, тем самым, на температурные режимы уплотнения смеси в выбоине. Следовательно, с увеличением объёма укладываемого материала, за счёт увеличения толщины слоя горячей смеси, зона пониженной температуры материала на стыке выбоины и дорожного покрытия уменьшается. Данная закономерность изменения температурных режимов уложенной горячей смеси наблюдается и при строительстве асфальтобетонных покрытий с повышенной толщиной слоя материала.

3.4.1. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ТЕМП ОХЛАЖДЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Ранее показано, что качество работ с применением горячих асфальтобетонных смесей зависит от температуры смеси при выполнении технологических операций по устройству и ремонту дорожных покрытий. Температура смеси в начале и окончания работ влияет на продолжительность выполнения технологических операций, в результате которых обеспечиваются требуемые эксплуатационные показатели асфальтобетона.

Одним из факторов, влияющих на процесс охлаждения горячей смеси при устройстве дорожных покрытий, является скорость перемещения воздушных масс. Температура смеси при сравнительно небольшой толщине укладываемого слоя горячей смеси на нижележащий слой и большей поверхности покрытия в значительной степени зависит от скорости перемещения воздушных масс. Поэтому при устройстве дорожных покрытий с применением горячих асфальтобетонных смесей в нормативных документах введены ограничения на производство работ в зависимости от скорости ветра.

Для уточнения влияния скорости ветра на процесс охлаждения горячей асфальтобетонной смеси при производстве работ по устройству дорожного покрытия и при ремонте выбоин рассмотрены закономерности влияния скорости ветра на охлаждение горячей смеси. Для этого применялась программа, разработанная на кафедре «Городское строительство и автомобильные дороги» ФГБОУ ВПО «ТГТУ». На рисунках 3.7 и 3.8 представлены зависимости охлаждения горячей смеси при устройстве дорожного покрытия и при ремонте выбоины на дорожном покрытии при равных условиях производства работ (температура воздуха 0 °С; температура горячей смеси 150 °С; толщина слоя 0,05 м).

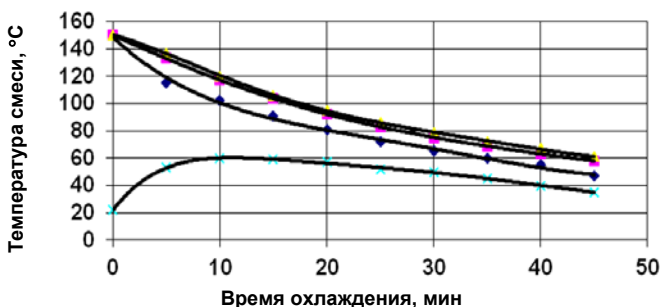


Рис. 3.7. Зависимость температуры смеси от времени при устройстве дорожного покрытия

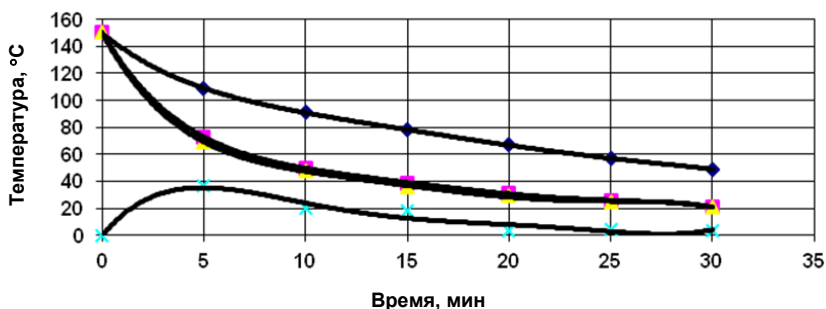


Рис. 3.8. Зависимость температуры смеси от времени при укладке в выбоину

Из представленных на рисунке данных по охлаждению смесей в дорожном покрытии и выбоине видно, что процессы охлаждения смесей протекают по одним и тем же законам. Различие заключается в том, что процессы охлаждения смеси в выбоине происходят более интенсивно, и это приводит к уменьшению времени нахождения горячей смеси в заданном интервале температур. Максимальная интенсивность охлаждения горячей смеси соответствует процессу укладки горячей смеси, и если при устройстве дорожного покрытия горячая смесь находится в заданном интервале температур в течение 20 мин, то при укладке в выбоину – в пределах 5 мин. Такое сокращение времени нахождения горячей смеси в заданном интервале температур предъявляет повышенные требования к организации и производству работ по ремонту выбоин с применением горячих асфальтобетонных смесей. В таблицах 3.3 и 3.4 представлены результаты моделирования процесса охлаждения горячей асфальтобетонной смеси в выбоине покрытия при разных температурах воздуха и скорости ветра.

3.3. Изменение температуры горячей смеси во времени в зависимости от скорости воздуха. Температура воздуха –20 °C

Скорость, м/с	Время, мин								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	160	136	114	96	80	69	59	51	44
2	160	133	110	91	76	63	54	46	39
4	160	130	106	86	71	59	49	41	35
6	160	128	102	82	66	54	45	37	31
8	160	125	99	78	63	51	41	34	28

3.4. Изменение температуры горячей смеси во времени в зависимости от скорости воздуха. Температура воздуха –0 °С

Скорость, м/с	Время, мин								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	160	139	120	103	89	79	70	63	57
2	160	136	116	99	85	74	66	59	53
4	160	137	112	95	81	70	61	54	49
6	160	131	109	91	77	66	57	51	45
8	160	129	106	88	74	63	59	3448	43

Из представленных результатов моделирования тепловых процессов при устройстве дорожного покрытия, а также экспериментальных данных, можно сделать вывод, что наиболее интенсивно охлаждение горячей смеси происходит в пределах 5...10 мин, где влияние скорости ветра на процесс охлаждения проявляется в меньшей степени, чем при дальнейшем охлаждении горячей смеси. При производстве ремонтных работ ввиду небольшой поверхности выбоины, сразу после укладки горячей смеси производят её уплотнение.

Исследованиями А. А. Иноземцева установлено, что независимо от состава смеси, температуры воздуха и скорости ветра, процесс охлаждения подчиняется экспоненциальному закону. Скорость охлаждения горячей смеси зависит от коэффициента теплоотдачи смеси, теплоёмкости смеси, объёмной массы смеси и толщины укладываемого слоя. Следовательно, скорость охлаждения горячей смеси, при постоянной толщине слоя и теплоёмкости материала определяется коэффициентом теплоотдачи, зависящим от скорости перемещения воздушных масс. Следовательно, можно предположить, что между скоростью ветра и темпом охлаждения горячей смеси существует зависимость. На рисунке 3.9 представлена зависимость изменения температуры уложенной горячей смеси в выбоину на глубине 0,015 м от поверхности слоя с учётом скорости ветра через 5 мин после укладки.

Используя зависимость для определения температуры горячей смеси при её транспортировке от места загрузки транспортных средств до её укладки, рассчитан темп охлаждения горячей асфальтобетонной смеси при разных температурах окружающего воздуха. Результаты расчётов представлены на рис. 3.10.

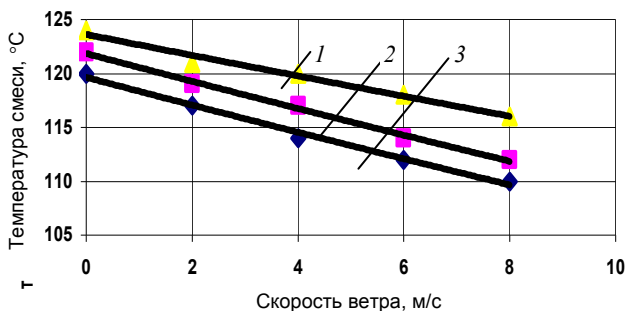


Рис. 3.9. Влияние скорости ветра на температуру горячей смеси:
 температура смеси при укладке 140 °С; толщина слоя 0,05 м; измерение температуры на глубине 0,015 м от поверхности слоя; температура воздуха:
 1 – +10 °С; 2 – -10 °С; 3 – -20 °С

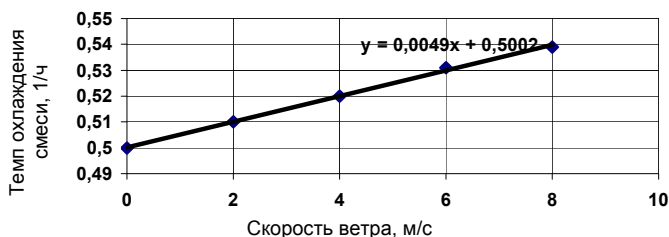


Рис. 3.10. Зависимость темпа охлаждения горячей смеси от скорости ветра
 (температура воздуха -0 °С)

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Охлаждение горячей смеси при устройстве дорожного покрытия и при укладке в выбоину дорожного покрытия при производстве ремонтных работ подчиняется одинаковым закономерностям.
2. Независимо от температуры воздуха и температуры смеси при укладке между темпом охлаждения горячей смеси и скоростью ветра существует связь, которая подчиняется экспоненциальной зависимости.
3. Темп охлаждения горячей смеси зависит от разницы температур воздуха и горячей смеси.

Контрольные вопросы к главе 3

1. Перечислите условия производства работ, влияющие на образование зоны горячей смеси с пониженной температурой по отношению к общему объёму материала в выбоине.

2. Объясните причину резкого понижения температуры горячей смеси в зоне контакта смеси в выбоине с поверхностью дорожного покрытия.

3. Почему у прямого угла выбоины температура смеси меньше, чем в других местах контакта смеси с поверхностью покрытия?

4. Объясните причину разрушения асфальтобетона на стыке двух полос покрытия при их раздельной укладке.

5. Чем объясняется уменьшение влияния скорости ветра при производстве ремонтных работ по отношению к устройству покрытия?

Основная литература

1. **Зубков, А. Ф.** Технология ремонта дорожных покрытий автомобильных дорог с применением горячих асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков, В. Г. Однолько, Е. Ю. Евсеев. – Москва : Издательский дом «Спектр», 2013. – 180 с.

2. **Зубков, А. Ф.** Технология устройства дорожных покрытий с учётом температурных режимов асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2006. – 151 с.

3. **Подольский, В. П.** Технология и организация строительства автомобильных дорог / В. П. Подольский. Т. 2: Дорожные покрытия ; под ред. В. П. Подольского. – Москва : Академия, 2012. – 297 с.

Дополнительная литература

4. **Технология** и организация строительства автомобильных дорог / Н. В. Горелышев и др. – Москва : Транспорт, 1991. – 551 с.

5. **Ищенко, И. С.** Технология устройства и ремонта асфальтобетонных покрытий / И. С. Ищенко, Т. Н. Калашникова, Д. А. Семенов. – Москва : Аир-Арт, 2001.

6. **Зубков, А. Ф.** Разработка теплофизической модели при производстве ремонтных работ покрытий нежесткого типа / А. Ф. Зубков, В. Н. Матвеев, Е. Ю. Евсеев // Российская академия наук, Вестник Центрального регионального отделения. – Тамбов–Воронеж, 2012. – Вып. 11. – С. 303 – 309.

Глава 4

ОБОСНОВАНИЕ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА ВЫБОИН ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Качество работ по ремонту дорожных покрытий нежесткого типа зависит не только от свойств применяемого материала, но и от эффективности применяемых механизмов при производстве работ. При образовании выбоины на поверхности покрытия и несвоевременном ремонте под действием нагрузок от транспортных средств по контуру образовавшей выбоины происходит разрушение материала покрытия, возникают трещины и микротрещины, что способствует снижению прочностных характеристик асфальтобетона и прогрессивному разрушению дорожного покрытия. Для устранения развития трещин и микротрещин на покрытиях технологией работ предусматривается обрубка кромок выбоины с приданием ей любой конфигурации с прямолинейным очертанием. Для выполнения работ по обработке кромок применяют фрезерные машины, дисковые пилы или перфораторы. Установлено, что применение перфораторов для обработки кромок выбоины способствует образованию микротрещин в асфальтобетоне. Поэтому такой способ обработки кромок выбоины не рекомендуется. С целью обеспечения сцепления укладываемого материала в выбоину и дорожного покрытия производят её очистку от асфальтобетонного лома и грязи, подгрунтовку дна и кромок выбоины вязким битумом. В качестве ремонтного материала преимущественно используют горячие асфальтобетонные смеси, для уплотнения которых применяют малогабаритные гладковальцевые катки или вибрационные плиты. При повышенном увлажнении выбоины её просушивают сжатым воздухом (горячим или холодным). Для этой цели, в некоторых случаях, применяют тепловое воздействие на материал выбоины.

Анализ технологий по ремонту выбоин на покрытиях нежесткого типа с применением горячих смесей показал, что основными недостатками, способствующими низкому качеству ремонтных работ, является нарушение требований по подготовке основания покрытия, несоблюдение температурных режимов горячих смесей при укладке и уплотнении и неэффективное применение уплотняющих механизмов.

4.1. ВЫБОР УПЛОТНЯЮЩИХ МАШИН ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Установлено, что эксплуатационные параметры асфальтобетона зависят от качества уплотнения, которое зависит от температурных режимов укладки и уплотнения, времени действия уплотняющей нагрузки на

материал и метода уплотнения. Выбор параметров уплотняющих средств зависит от физико-механических характеристик применяемого материала и способа его укладки. При распределении горячей смеси ручным способом, что происходит довольно часто при производстве ремонтных работ, коэффициент предварительного уплотнения горячего асфальтобетона находится в пределах $0,7...0,75$. За счёт низкого коэффициента предварительного уплотнения и незначительной деформативной способности горячего материала, на начальной стадии уплотнения необходимо применять механизмы с малыми контактными напряжениями, соответствующие прочностным характеристикам материала. С повышением плотности материала силовые параметры уплотняющих машин должны увеличиваться. Выполнение этого условия возможно только при применении уплотняющих машин динамического действия с переменными силовыми параметрами. К таким машинам относятся вибрационные катки и вибрационные плиты. При незначительной площади ремонтируемой поверхности применение серийных дорожных катков нецелесообразно. Поэтому на практике при производстве ремонтных работ по устранению выбоин на поверхности дорожного покрытия применяют ручные катки статического или вибрационного действия. Анализ параметров катков, применяемых для этих целей, показал, что они не в состоянии обеспечить требуемые характеристики укладываемого в выбоину асфальтобетона. Известно, что для обеспечения качественного уплотнения необходимо, чтобы контактные напряжения под рабочим органом машины были близки к пределу прочности уплотняемого материала. При строительстве асфальтобетонных покрытий дорожные катки, в зависимости от места назначения в технологическом процессе, имеют линейные давления в пределах $40...100$ кН/п.м. Линейное давление ручного катка статического действия соответствует $0,05...0,1$ кН/п.м. Следовательно, обеспечить требуемые эксплуатационные показатели асфальтобетона при использовании такой технологии практически невозможно. Применение вибрационных ручных катков не устраняет данный недостаток, хотя его воздействие на горячую асфальтобетонную смесь более эффективно за счёт дополнительного динамического фактора. В то же время малая масса вибрационного катка при значительной вынуждающей силе не обеспечивает требуемой плотности материала по толщине слоя, что приводит к неравномерности уплотнения по толщине уплотняемого слоя материала. Более эффективным для этих целей является применение вибрационных плит, которые в настоящее время получили широкое применение при производстве ремонтных работ на покрытиях нежесткого типа. С целью уточнения качества уплотнения горячих асфальтобетонных смесей при применении вибрационных плит и сравнения

с традиционными технологиями устройства покрытия были проведены экспериментальные исследования при реконструкции автомобильной дороги «Москва–Волгоград» на участке 423...431 км. В качестве базовой технологии для устройства асфальтобетонного покрытия с применением горячей смеси типа А, приготовленной на битуме марки БНД 60/90, принято звено машин, состоящее из асфальтоукладчика (с трамбуемым брусом и выглаживающей вибрационной плитой) и звеном дорожных катков в составе среднего и тяжёлого типов. Температура горячей смеси при укладке и уплотнении измерялась на глубине одной трети от толщины уложенного слоя и соответствовала существующим рекомендациям по устройству дорожных покрытий. В процессе уплотнения температура смеси менялась в пределах от 130 до 85 °С. После укладки горячей смеси асфальтоукладчиком коэффициент предварительного уплотнения асфальтобетона составлял 0,935. Измерение коэффициента уплотнения производилось плотномером ПАБ-1. В качестве сравниваемой технологии принято звено машин из асфальтоукладчика и вибрационной плиты массой 110 кг с контактной поверхностью 1800 см². Величина вынуждающей силы соответствовала 25 кН. Полученные результаты измерения коэффициента уплотнения в зависимости от числа проходов по одному следу представлены на рис. 4.1.

Из представленных данных видно, что применение вибрационных плит для уплотнения горячих асфальтобетонных смесей позволяет обеспечить более высокие показатели уплотнения. При уплотнении вибраци-

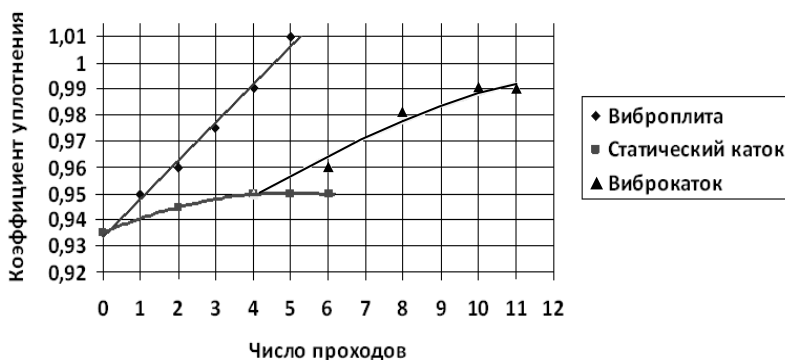


Рис. 4.1. Зависимость коэффициента уплотнения асфальтобетона от числа проходов:

- ◆ – комбинированный каток статического действия;
- – вибрационный каток, тандем, WB151-AD; ▲ – вибрационная плита

оной плитой рост коэффициента уплотнения происходит интенсивнее, чем при уплотнении дорожными катками. Достигаемая величина коэффициента уплотнения выше, чем при работе звена дорожных катков. Полученный эффект при уплотнении горячего асфальтобетона вибрационной плитой объясняется тем, что остаточная деформация уплотняемого материала зависит не только от силового воздействия рабочего органа на материал, но и времени его действия. При одинаковой рабочей скорости перемещения уплотняющей машины время действия на уплотняемый материал у вибрационной плиты значительно больше. Если при укатке катком время действия нагрузки за один проход на частицу материала составляет 0,2...0,4 с, при работе катка на пневматических шинах 0,4...0,6 с, то при уплотнении вибрационной плитой время действия составляет 0,8...1,6 с.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что при определённых условиях производства ремонтных работ, применение технологии уплотнения горячих асфальтобетонных смесей вибрационными плитами, при соответствующих их параметрах, эффективнее, чем дорожными катками.

Контрольные вопросы к главе 4

1. Дайте определение понятию «уплотняющая способность машины».
2. Какие силовые параметры катков влияют на процесс уплотнения материала?
3. Чем объясняется более высокая плотность уплотнённого асфальтобетона в выбоине вибрационными плитами по отношению к каткам?
4. Перечислите основные параметры вибрационных плит.

Основная литература

1. **Зубков, А. Ф.** Технология ремонта дорожных покрытий автомобильных дорог с применением горячих асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков, В. Г. Однолько, Е. Ю. Евсеев. – Москва : Издательский дом «Спектр», 2013. – 180 с.
2. **Зубков, А. Ф.** Технология устройства дорожных покрытий с учётом температурных режимов асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2006. – 151 с.

Дополнительная литература

3. **Ищенко, И. С.** Технология устройства и ремонта асфальтобетонных покрытий / И. С. Ищенко, Т. Н. Калашникова, Д. А. Семенов. – Москва : Аир-Арт, 2001.

4. **Евсеев, Е. Ю.** Влияние технологии работ на эксплуатационные показатели асфальтобетонного покрытия / Е. Ю. Евсеев, Р. В. Куприянов, А. Ф. Зубков // Механизация строительства. – 2011. – № 1. – С. 25–26.

5. **Зубков, А. Ф.** Технология строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / А. Ф. Зубков. – Москва : Машиностроение, 2009. – 223 с.

6. **Костельов, М. П.** Современные методы и средства ямочного ремонта дорожных покрытий / М. П. Костельов // Еженедельник «Стройка»: информационно-строительный портал. – Санкт-Петербург ; опубл. 30.09.2003, WWW.STROIT.ru

Глава 5

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

При строительстве автомобильных дорог и в процессе их эксплуатации они должны соответствовать нормативным требованиям, направленным на обеспечение безопасности движения транспортных средств. С учётом непрерывного движения транспортных средств в течение года возникает необходимость в проведении качественного ремонта дорожных покрытий в любое время года, независимо от погодных условий, что предъявляет повышенные требования к технологиям ремонта дорожных покрытий. Существующие технологии ремонта дорожных покрытий нежёсткого типа рассчитаны, в основном, на их применение при положительных температурах окружающего воздуха. Однако на практике возникает необходимость проводить ремонтные работы при отрицательных температурах воздуха с обеспечением требуемого качества работ. Применение в качестве вяжущего материала дорожных нефтяных битумов накладывает специфические требования к технологии строительства и ремонта дорожных покрытий нежёсткого типа. Зависимость свойств битумных материалов от температуры требует соблюдения температурных режимов на всех этапах строительства и производства ремонтных работ.

5.1. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ НА ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ПОКРЫТИЯХ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Жизненный цикл автомобильной дороги зависит от разных факторов, связанных как с проектной документацией, так и с процессами строительства и эксплуатации во времени.

При разработке проектной документации, с учётом данных прогноза эксплуатации дороги на установленный срок, принимаются конструктивные решения дорожной одежды. В процессе эксплуатации автомобильной дороги расчётные данные, принятые на стадии проектирования, не всегда соответствуют реальным значениям, что влияет на состояние дороги и требует в процессе её эксплуатации дополнительных расходов на приведение в состояние, соответствующее нормативным требованиям. При эксплуатации на дорожных покрытиях возникают деформации и разрушения, что проявляется в виде различных выбоин, просадок, трещин и волн, что

ухудшает транспортно-эксплуатационные показатели и снижает срок эксплуатации автомобильной дороги. Для устранения образовавшихся дефектов на поверхности дорожного покрытия в процессе эксплуатации дороги применяются разные технологии, зависящие как от времени проведения работ, так и применяемого материала. Наиболее распространённым методом ремонта дорожных покрытий нежесткого типа является ремонт с использованием горячих асфальтобетонных смесей, который позволяет обеспечить заданный срок службы ремонтируемого участка покрытия, и при условии соблюдения технологии характеризуется высоким качеством работ. Установлено, что ямочный ремонт, выполненный с нарушениями технологии, снижает срок службы отремонтированной поверхности дорожного покрытия в 2 – 4 раза.

Качество ремонтных работ по устранению выбоин и просадок на покрытиях нежесткого типа с применением горячих асфальтобетонных смесей зависит от качества подготовки места для укладки горячей смеси, обеспечения температурных режимов смеси при укладке и уплотнении горячей смеси и достижения требуемых показателей асфальтобетона в месте заделки выбоины. Применение материала для ремонта выбоин, отличающегося по структуре от уложенного ранее в дорожное покрытие, влияет на прочностные и теплофизические характеристики дорожного покрытия. Применение горячих смесей с использованием битума разных марок, а также разные толщины укладываемого слоя материала, влияют на прочностные характеристики и температурные режимы горячих смесей при производстве ремонта покрытий и предъявляют повышенные требования к укладке и уплотнению горячих асфальтобетонных смесей.

5.2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ГОРЯЧЕЙ СМЕСИ ПРИ УКЛАДКЕ В ВЫБОИНУ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Действующими нормативными документами производство работ с горячей асфальтобетонной смесью зависит от температуры окружающего воздуха и их выполнение допускается при температуре воздуха весной и летом не ниже +5 °С и осенью +10 °С. С учётом особенностей эксплуатации автомобильных дорог и обеспечения безопасности движения транспортных средств рекомендациями допускается, при соблюдении особых условий, производство работ при пониженных температуре воздуха до –10 °С. Такое условие на производство работ объясняется значительным влиянием температуры воздуха на температурные режимы горячей смеси, от которых зависит качество работ по устройству и ремонту дорожных покрытий нежесткого типа в процессе эксплуатации автомобильной дороги. При производстве работ по устранению выбоины на поверх-

ности дорожного покрытия, после проведения подготовительных работ, горячая асфальтобетонная смесь укладывается и распределяется по объёму выбоины. Установлено, что после укладки смеси, одновременно с общим процессом охлаждения горячей смеси, происходит интенсивное охлаждение небольших объёмов горячей смеси по периметру выбоины. Образование зоны асфальтобетонной смеси с пониженной температурой смеси по периметру выбоины в процессе уплотнения способствует образованию объёмов смеси с низкими эксплуатационными параметрами. Температура воздуха влияет на общий темп охлаждения горячей смеси, особенно в зоне контакта горячей смеси с боковой поверхностью выбоины. Это способствует повышению темпа охлаждения горячей смеси в пограничной зоне горячей смеси с покрытием и способствует образованию зоны горячей смеси с пониженной температурой по отношению к общему объёму уложенного горячего материала, которую можно охарактеризовать шириной зоны смеси с пониженной температурой. На рисунке 5.1 представлены размеры зоны с пониженной температурой смеси в выбоине с размерами 0,27 на 0,27 м при температуре воздуха +10 °С и температуре горячей смеси при укладке 119 °С.

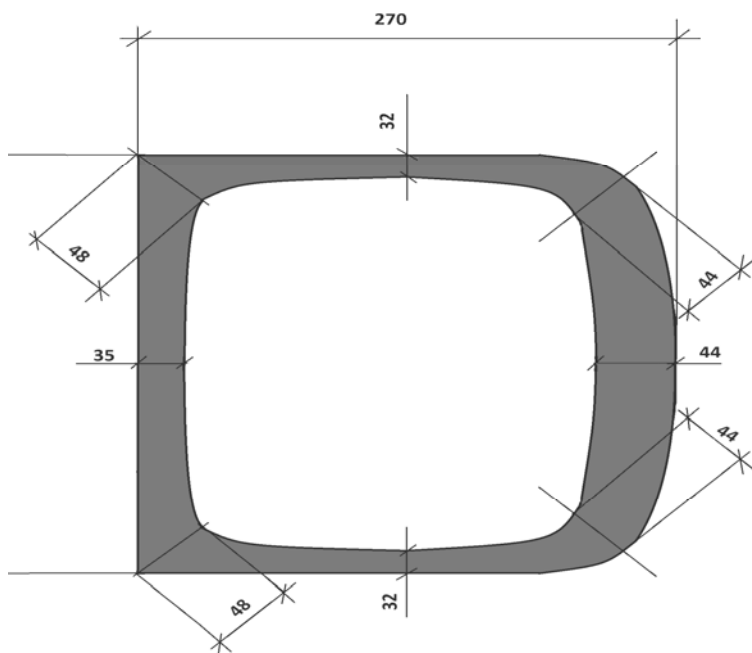


Рис. 5.1. Зона пониженной температуры смеси по периметру выбоины

5.1. Влияние температуры воздуха на ширину зоны с температурой горячего асфальтобетона ниже допустимой с учётом влияния температуры смеси при укладке

Температура смеси, °С	Температура воздуха, °С							
	-20	-10	0	10	20	30	40	50
150	3,0	1,8	1,5	1,4	1,2	0,5	0	0
140	3,0	2,2	1,6	1,5	1,4	1,0	0	0
130	3,1	3,0	2,2	1,6	1,5	1,4	0	0
120	3,7	3,2	3,1	3,0	2,2	1,5	1,0	0,5
110	4,5	3,8	3,3	3,2	3,0	2,8	1,5	1,0
100	6,0	5,7	4,4	4,2	4,0	3,3	3,0	1,8
90	Вся зона пониженных температур			10,0	6,5	6,0	5,0	4,5
80	Вся зона пониженных температур							

В таблице 5.1 представлены результаты измерения ширины зоны с пониженной температурой асфальтобетонной смеси ниже 80 °С, уложенной при температуре 150 °С, что соответствует температурным режимам укладки и уплотнения горячей смеси типа В с битумом марки БНД 90/130.

Из представленных в таблице данных видно, что ширина зоны материала с пониженной температурой смеси зависит от температуры воздуха. С понижением температуры горячей смеси при укладке увеличивается зона асфальтобетонной смеси, не соответствующая технологическим режимам укладки и уплотнения для данного типа смеси, что не позволяет достичь высокого качества ремонтных работ даже при высокой температуре окружающего воздуха.

Следовательно, при производстве ремонтных работ и, особенно при низких температурах окружающего воздуха, необходим постоянный контроль за температурой горячей смеси при укладке в выбоину. На основании полученных данных можно сделать вывод, что в зависимости от типа смеси и марки битума, с учётом температуры воздуха, имеется определённая температурная граница, ниже которой применение горячей смеси не допускается. Для горячей смеси типа В с битумом марки БНД 90/130

такой граничной температурой, при температуре воздуха от -20 до 0 °С, является температура смеси 90 °С. Применение горячей смеси с такой температурой при положительной температуре окружающего воздуха способствует образованию зоны материала выбоины с пониженными эксплуатационными параметрами асфальтобетона в выбоине.

Нормативными документами допускается для приготовления горячей асфальтобетонной смеси использовать, в зависимости от климатической зоны района строительства дорожных покрытий, разные марки битумов. Установлено, что асфальтобетонные смеси, приготовленные на битумах разных марок, имеют разные температурные режимы приготовления, укладки и окончания процесса эффективного уплотнения. По результатам моделирования установлено влияние температуры воздуха, типа смеси и марки битума на ширину зоны материала с пониженной температурой горячей смеси в выбоине. Численные значения ширины зоны материала с пониженной температурой смеси представлены в табл. 5.2.

5.2. Влияние температуры воздуха и марки битума на ширину зоны пониженной температуры выбоины

Марка битума	Температура воздуха, °С							
	-20	-10	0	10	20	30	40	50
<i>Тип смеси А</i>								
БНД 40/60	3,9	3,7	3,2	3,2	2,8	2,2	1,6	1,5
БНД 60/90	3,7	3,3	2,9	2,7	2,3	1,7	1,4	0,8
БНД 90/130	3,2	3,0	2,5	2,2	1,5	1,3	0,8	0,4
БНД130/200	3,1	3,0	2,6	2,3	1,3	1,0	0,5	0
БНД200/300	2,7	2,2	1,5	1,3	0	0	0	0
<i>Тип смеси Б</i>								
БНД 40/60	3,7	3,3	2,9	2,7	2,3	1,7	1,5	0,8
БНД 60/90	3,2	3,0	2,5	2,2	1,5	1,3	0,8	0,4
БНД 90/130	3,0	2,8	2,0	1,5	1,0	0,7	0	0
БНД 130/200	2,8	2,4	2,2	1,5	0,8	0,5	0	0
БНД 200/300	2,0	1,5	1,0	0,7	0	0	0	0

Марка битума	Температура воздуха, °С							
	-20	-10	0	10	20	30	40	50
<i>Тип смеси В</i>								
БНД 40/60	3,2	3,0	2,8	2,6	2,2	2,0	1,5	1,0
БНД 60/90	3,0	2,8	2,5	2,0	1,8	1,5	0,7	0
БНД 90/130	2,8	2,2	2,0	1,7	1,5	1,3	0,5	0
БНД130/200	1,8	1,7	1,5	0,8	0	0	0	0
БНД200/300	1,5	1,3	1,0	0,5	0	0	0	0
<i>Тип смеси Г</i>								
БНД 40/60	3,7	3,3	2,9	2,7	2,3	1,7	1,5	0,8
БНД 60/90	3,2	3,0	2,5	2,2	1,5	1,3	0,8	0,4
БНД 90/130	3,0	2,8	2,0	1,5	1,0	0,7	0	0
БНД 130/200	2,8	2,4	2,2	1,5	0,8	0,5	0	0
БНД 200/300	2,0	1,5	1,0	0,7	0	0	0	0

Из представленных в таблице данных видно, что ширина зоны материала с пониженной температурой горячей смеси в выбоине ниже допустимой зависит от температуры окружающего воздуха и с учётом типа смеси и марки битума находится в интервале 0...4,0 см по периметру выбоины. Образование такой зоны способствует при выполнении ремонтных работ достижению низкого коэффициента уплотнения асфальтобетонной смеси с высоким водонасыщением, что приводит при эксплуатации дороги к разрушению асфальтобетона в выбоине.

5.3. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ В ВЫБОИНЕ

При производстве работ с применением горячих асфальтобетонных смесей за основу, при выборе технологических параметров процессов укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей, принята темпе-

ратура с учётом типа смеси. Технологические режимы горячих смесей зависят от марки битума и различаются температурными для одного и того же типа смеси. В таблице 5.3 представлены рекомендуемые температурные режимы окончания уплотнения асфальтобетона разных типов в зависимости от марки битума.

Соблюдение температурных режимов укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей позволяет обеспечить требуемые показатели качества работы при устройстве и ремонте дорожных покрытий нежёсткого типа, зависящие также от продолжительности работы уплотняющих машин.

Отличительной особенностью производства ремонтных работ по устранению выбоин и просадок на дорожных покрытиях является укладка и уплотнение небольших объёмов горячей асфальтобетонной смеси, что характеризуется интенсивным охлаждением уложенной смеси и незначительным временем нахождения смеси в заданном температурном интервале.

В таблице 5.4 представлены данные по времени нахождения горячей асфальтобетонной смеси в интервале температур 150...90 °С для смеси типа Б с битумом марки БНД 60/90.

5.3. Рекомендуемые температурные режимы уплотнения плотного асфальтобетона разных типов в зависимости от марки битума

Марка битума	Температура укладки, °С	Температура окончания уплотнения горячих смесей				
		А	Б	В	Г	Д
БНД 40/60	150...160	105...100	100...95	95...90	100...95	95...90
БНД 60/90	145...155	100...95	95...90	90...85	95...90	90...85
БНД 90/130	140...150	95...90	90...85	85...80	90...85	85...80
БНД 130/200	130...140	85...80	80...75	75...70	80...75	75...70
БНД 200/300	120...130	75...70	70...65	65...60	70...65	65...60
СГ 130/200	110...120	60...55	55...50	50...45	55...50	50...45

5.4. Время нахождения горячей смеси при укладке в выбоину

Температура воздуха, °С	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50
Время, мин	12,0	12,5	13,0	15	16	17,5	20	22

Из представленных данных видно, что в отличие от процесса устройства дорожного покрытия из горячих асфальтобетонных смесей, когда смесь находится в заданных температурных интервалах до 50...60 мин, при производстве работ по устранению выбоин и просадок на поверхности дорожного покрытия время нахождения горячей смеси в заданном температурном интервале для слоя толщиной 0,05 м, в зависимости от температуры окружающего воздуха, составляет 12...22 мин. Объясняется это тем, что температурные режимы горячей смеси в выбоине соответствуют нестационарным процессам, происходящим на стадии укладки горячей смеси в покрытие. С учётом небольшого объёма укладываемой горячей смеси время нахождения в заданном температурном интервале незначительно. Величина ширины образующейся зоны с пониженной температурой горячей смеси зависит от разности температур покрытия и горячей смеси. При укладке горячих смесей с высокой температурой, за счёт интенсивной передачи тепла от смеси боковым поверхностям выбоины, происходит их нагрев за счёт отдачи тепла от горячей смеси. При уменьшении разницы температуры укладываемой смеси и покрытия интенсивность передачи тепла снижается, и передача тепла боковым граням выбоины происходит за счёт теплового потока из объёма уложенной смеси, что приводит к увеличению зоны асфальтобетона с пониженной температурой. На рисунке 5.2 представлена зависимость изменения ширины зоны с пониженной температурой от температуры укладываемой смеси. Из представленных данных видно, что при укладке горячих смесей с пони-

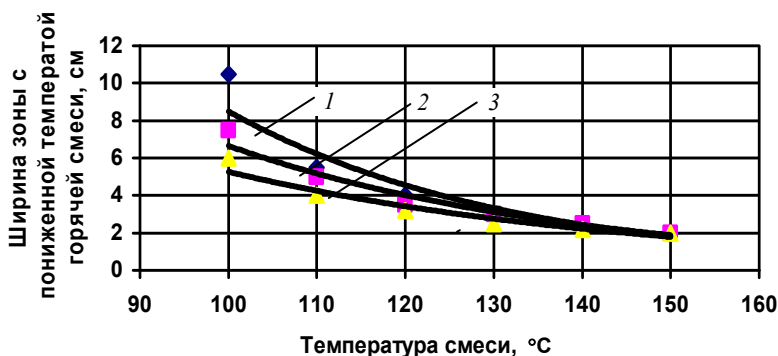


Рис. 5.2. Зависимость ширины зоны с пониженной температурой от температуры укладываемой смеси:

тип смеси Б, битум марки БНД 60/90, толщина слоя 0,05 м;

1 – при температуре воздуха –10 °C; 2 – при температуре воздуха 0 °C;

3 – при температуре воздуха +10 °C

женными температурами, что наблюдается при производстве ремонтных работ, весь объём уложенной смеси не соответствует температурным режимам горячих смесей, что приводит к быстрому разрушению уложенного материала в выбоине и малому сроку службы отремонтированного покрытия. Численные значения минимальной температуры горячей смеси при производстве ремонтных работ покрытия, ниже которой весь объём материала не соответствует технологическим режимам горячей асфальтобетонной смеси, представлен в табл. 5.5.

**5.5. Минимальная температура горячей смеси
при производстве ремонтных работ покрытия,
ниже которой весь объём материала не соответствует
технологическим режимам горячей асфальтобетонной смеси**

Марка битума	Тип смеси	Температура воздуха, °С							
		-20	-10	0	10	20	30	40	50
40/60	А	120	116	115	113	112	111	110	109
	Б	114	112	109	108	107	106	105	104
	В	108	106	104	103	101	100	99	98
	Г	114	112	109	108	107	106	105	104
60/90	А	114	112	109	108	107	106	105	104
	Б	108	106	104	103	101	100	99	98
	В	101	100	98	97	95	94	93	92
	Г	108	106	104	103	101	100	99	98
90/130	А	108	106	104	103	101	100	99	98
	Б	101	100	98	96	95	94	93	92
	В	96	94	92	90	88	87	86	85
	Г	101	100	98	96	95	94	93	92
130/200	А	96	94	92	90	88	87	86	85
	Б	90	88	86	84	83	82	81	80
	В	84	82	81	79	78	76	75	74
	Г	90	88	86	84	83	82	81	80

Марка битума	Тип смеси	Температура воздуха, °С							
		-20	-10	0	10	20	30	40	50
200/300	А	84	82	81	79	78	76	75	74
	Б	78	76	75	73	72	70	69	68
	В	72	70	68	66	64	63	62	61
	Г	78	76	75	73	72	70	69	68

Из представленных в таблице данных можно сделать следующие выводы:

- с повышением температуры воздуха минимальное значение температуры горячей асфальтобетонной смеси, независимо от марки битума, понижается;

- с понижением вязкости битума, с учётом дорожно-климатического районирования, минимальное значение горячей смеси уменьшается;

- независимо от марки битума и типа смеси наблюдается общий характер изменения минимальной температуры горячей асфальтобетонной смеси.

5.4. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ОХЛАЖДЕНИЕ ГОРЯЧЕЙ СМЕСИ ПРИ УКЛАДКЕ В ВЫБОИНУ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

При выполнении ремонта выбоин с использованием горячих асфальтобетонных смесей температурные режимы горячих смесей и продолжительность выполнения работ зависят от скорости ветра. Существуют ограничения на производство работ с горячими асфальтобетонными смесями в зависимости от скорости ветра. При понижении температуры воздуха существующими рекомендациями разрешается укладывать горячую асфальтобетонную смесь на подготовленное основание при условии, что скорость ветра не превышает пределов, указанных в табл. 5.6. Ограничение производства работ, в зависимости от скорости ветра, связано с интенсивной отдачей тепла в окружающую среду при распределении смеси небольшим слоем на значительной поверхности покрытия, что способствует повышению темпа охлаждения горячей смеси и снижению продолжительности устройства покрытия.

5.6. Допускаемая предельная скорость ветра при укладке горячей смеси при пониженных температурах окружающего воздуха

Температура воздуха, °С	от +10 до 0 °С	от 0 до -5 °С	от -5 до -10 °С
Скорость ветра, м/с	7	5	3

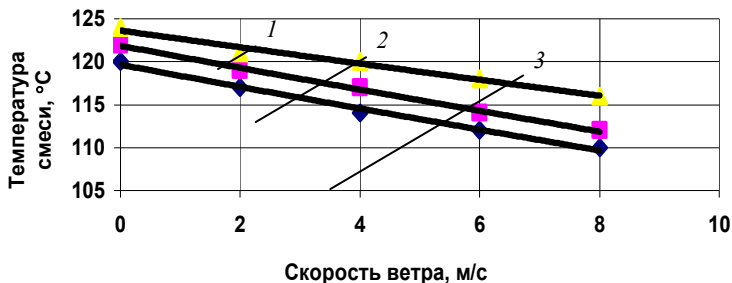


Рис. 5.3. Влияние скорости ветра на температуру горячей смеси: температура смеси при укладке 140 °С; толщина слоя 0,05 м; измерение температуры на глубине 0,015 м от поверхности слоя; температура воздуха: 1 – +10 °С; 2 – -10 °С; 3 – -20 °С

На рисунке 5.3 представлена зависимость изменения температуры горячей смеси в выбоине на глубине 0,015 м от поверхности слоя от скорости ветра через 5 мин после укладки. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что независимо от температуры окружающего воздуха и смеси при её распределении существует зависимость скорости охлаждения горячей смеси от перемещения воздушных масс.

Технологией работ по устранению выбоин и просадок на поверхности дорожного покрытия ввиду одиночного их расположения предусматривается операцию уплотнения выполнять сразу после распределения горячей смеси. Исходя из закономерностей протекания процесса охлаждения горячей смеси при устройстве покрытия, можно сделать вывод, что температурные режимы горячей асфальтобетонной смеси при производстве ремонтных работ соответствуют нестационарным тепловым процессам, продолжительность которых составляет 5...10 мин, в зависимости от объёма уложенного материала. Независимо от температуры воздуха и температуры смеси при укладке горячей смеси скорость ветра влияет на общий характер охлаждения смеси, который подчиняется экспоненциальной зависимости. Величиной, характеризующей процесс охлаждения, независимо от свойств и толщины слоя горячей смеси, является темп охлаждения. Установлено, что между темпом охлаждения горячей смеси и скоростью ветра существует прямая связь, что подтверждается экспериментальными исследованиями других авторов.

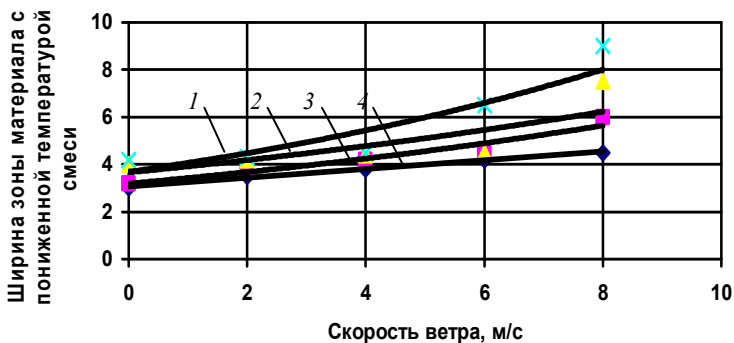


Рис. 5.4. Зависимость ширины зоны материала с пониженной температурой от скорости ветра при разных температурах воздуха: температура смеси при укладке $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура смеси при окончании работы $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура воздуха: 1 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$

Увеличение скорости ветра влияет на общий темп охлаждения горячей смеси и приводит к понижению температуры смеси в зоне контакта выбоины с дорожным покрытием. На рисунке 5.4 представлены зависимости ширины зоны материала с пониженной температурой смеси с учётом скорости ветра при разных температурах окружающего воздуха.

С учётом рекомендаций по температурным режимам горячих асфальтобетонных смесей при производстве работ в табл. 5.7 представлены максимальные значения скорости ветра, выше которых достичь требуемых эксплуатационных параметров асфальтобетона практически невозможно.

5.7. Значения допустимых скоростей ветра, обеспечивающих достижение требуемых эксплуатационных параметров асфальтобетона при производстве ремонтных работ дорожных покрытий

Марка битума	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$			
	+10	0	-5	-10
<i>Тип смеси А</i>				
40/60	0	0	0	—
60/90	4	2	0	0
90/130	6	4	2	2
130/200	6	4	3	3
200/300	10	8	8	8

Марка битума	Температура воздуха, °С			
	+10	0	-5	-10
<i>Тип смеси Б</i>				
40/60	4	2	2	2
60/90	6	4	4	4
90/130	8	6	6	4
130/200	9	6	5	5
200/300	10	8	8	8
<i>Тип смеси В</i>				
40/60	7	4	2	2
60/90	8	6	6	4
90/130	8	8	8	6
130/200	10	8	8	8
200/300	10	9	9	9
<i>Тип смеси Г</i>				
40/60	3	2	2	1
60/90	5	3	3	3
90/130	7	5	5	4
130/200	8	5	4	4
200/300	9	7	7	6

5.5. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОСНОВАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ГОРЯЧЕЙ СМЕСИ ПРИ УКЛАДКЕ В ВЫБОИНУ ПОКРЫТИЯ

Вопрос влияния температуры основания дорожного покрытия на технологию укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей при строительстве дорожных покрытий рассмотрен в работах Б. И. Ладыгина,

Н. В. Горельшева, А. Ф. Зубкова. Влияние нагрева основания на технологические режимы горячих смесей учитывается за счёт введения коэффициента влияния температуры основания на процесс охлаждения горячих смесей. При расчёте длины укладки горячей смеси асфальтоукладчиком Б. И. Ладыгин и Н. В. Горельшев учитывают влияние температуры основания за счёт введения коэффициента, зависящего от температуры окружающего воздуха. В работах А. Ф. Зубкова обоснована зависимость коэффициента влияния температуры основания на продолжительность охлаждения горячей асфальтобетонной смеси в зависимости от разницы температуры основания и воздуха и получена зависимость, позволяющая учитывать температуру нагрева основания на технологические процессы устройства дорожного покрытия. Опыт строительства асфальтобетонных покрытий с применением горячих асфальтобетонных смесей показал, что повышение температуры основания за счёт передачи тепла от горячей смеси зависит от температуры смеси при укладке и толщины укладываемого слоя. В условиях пониженных температур окружающего воздуха при устройстве дорожных покрытий нежесткого типа допускается укладывать верхний слой на свежеложенный нижний слой при его температуре 20...40 °С и температуре воздуха ниже +10 °С. Наличие нижнего слоя покрытия с более высокой температурой по отношению к температуре окружающего воздуха способствует уменьшению отдачи тепла основанию слоем горячей смеси, что приводит к увеличению времени устройства верхнего слоя покрытия в заданных температурных интервалах асфальтобетонной смеси. Увеличение температуры основания до 30...40 °С, при температуре окружающего воздуха –10 °С, способствует увеличению продолжительности устройства покрытия в интервале температур смеси 160...60 °С на 25...35%, аналогично увеличивается и возможная продолжительность процесса уплотнения. На продолжительность распределения смеси температура основания оказывает незначительное влияние.

Как отмечалось ранее, производство ремонтных работ имеет некоторые особенности по отношению к устройству дорожных покрытий. Поэтому технологические приёмы, применяемые при устройстве асфальтобетонных покрытий, не соответствуют технологии ремонтных работ. Применяемый на практике метод прогрева основания выбоины научно не обоснован. Использование открытого пламени при нагреве поверхности выбоины приводит к выжиганию составляющих компонентов битума, что ухудшает качество асфальтобетона на стыке покрытия с уложенным асфальтобетоном. Более эффективным для этих целей является применение инфракрасного излучения, при котором не происходит выгорания компонентов битума. Установлено, что нагрев поверхности выбоины позволяет устранить образование зоны материала с пониженной температурой при укладке горячей смеси в выбоину.

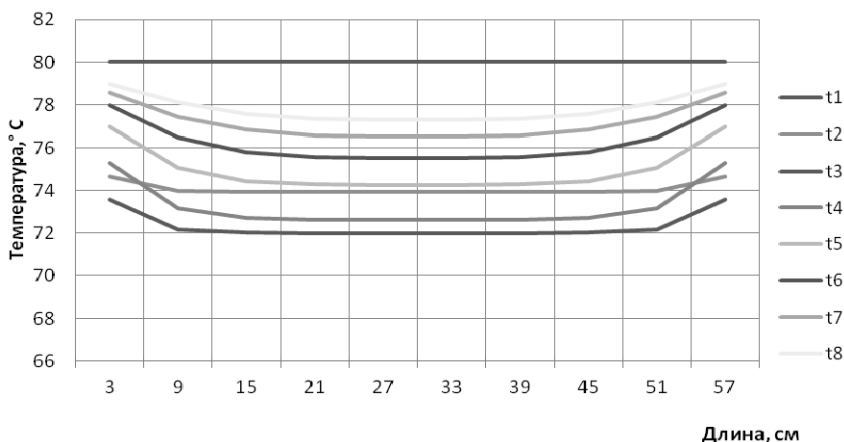


Рис. 5.5. Влияние температуры нагрева основания на температуру горячей смеси (при отсутствии зоны)

(температура воздуха $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, толщина слоя 5 см , температура основания $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 0 м/с , температура окончания $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$)

На рисунке 5.5 представлено распределение температуры в асфальтобетоне при нагреве боковых поверхностей выбоины до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температуре горячей смеси при укладке $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

По результатам моделирования тепловых процессов при укладке в выбоину дорожного покрытия горячих асфальтобетонных смесей установлено, что температура нагрева поверхности выбоины, для устранения образования в выбоине асфальтобетона с пониженными температурами, зависит от температуры воздуха и температуры смеси при доставке к месту производства работ. На рисунке 5.6 представлена зависимость между температурой окружающего воздуха и температурой нагрева поверхности выбоины при заданной температуре поставляемой горячей асфальтобетонной смеси к месту производства ремонтных работ (температура смеси при укладке $130\text{ }^{\circ}\text{C}$, толщина слоя 5 см , температура основания $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 0 м/с).

На основании установленной связи между температурой воздуха и температурой нагрева поверхности выбоины можно сделать вывод, что для каждого типа смеси и марки битума существуют зависимости, позволяющие производить качественный ремонт покрытия при условии обеспечения доставки заданной температуры горячей асфальтобетонной смеси к месту производства ремонтных работ.

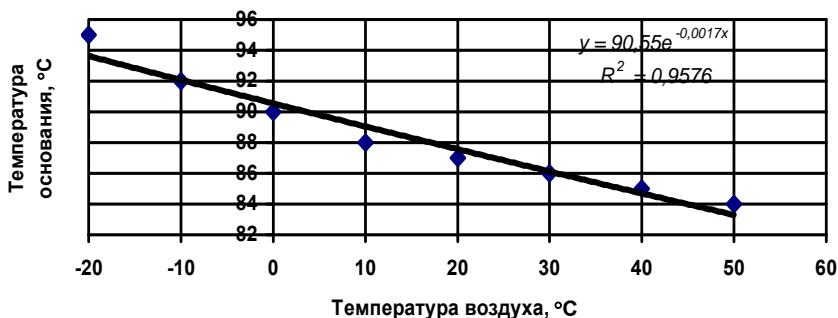


Рис. 5.6. Зависимость температуры нагрева основания от температуры воздуха

Производство работ по устранению выбоин на дорожных покрытиях связано с ремонтом отдельных участков, требующих мобильности для обеспечения высокого качества работ. Если температура окружающего воздуха в течение определённого периода времени остаётся постоянной, то температура горячей асфальтобетонной смеси со временем меняется. Поэтому температура горячей смеси при укладке зависит от температуры поверхности выбоины. На рисунке 5.7 представлена зависимость между температурой горячей асфальтобетонной смеси и температурой нагрева поверхности выбоины, исключающей образование объёмов материала в выбоине с пониженной температурой смеси.

Из представленной зависимости видно, что с понижением температуры горячей смеси при доставке к месту производства работ необходимо увеличивать температуру нагрева поверхности выбоины.

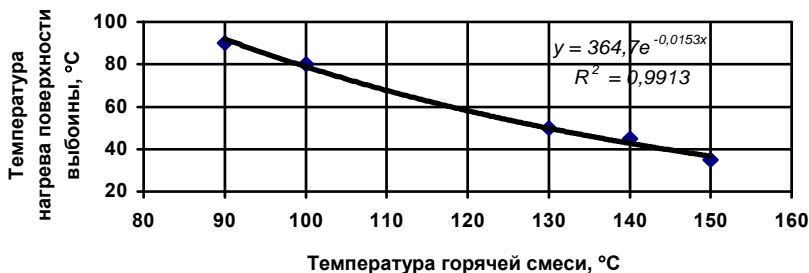


Рис. 5.7. Зависимость температуры нагрева основания от температуры укладки горячей смеси

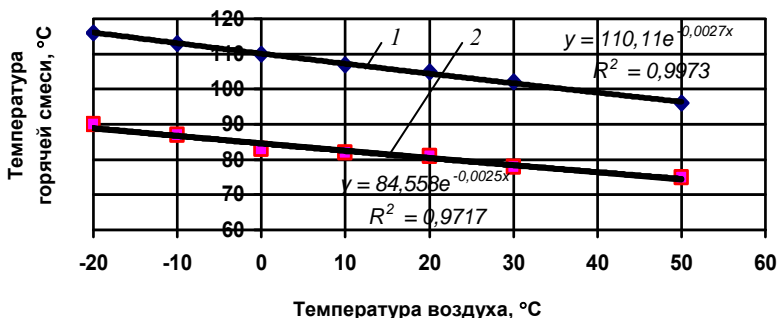


Рис. 5.8. Зависимости между температурой воздуха, температурой смеси к месту производства ремонтных работ и температурой нагрева поверхности выбоины для смеси типа Б на битуме марки БНД 90/130:

- 1 – минимальная температура смеси при укладке в выбоину;
 2 – температура основания при соответствующей температуре воздуха

На рисунке 5.8 представлены зависимости между температурой воздуха, поставляемой горячей смесью к месту производства работ, и температурой нагрева поверхности выбоины для смеси типа Б, приготовленной на битуме марки БНД 90/130.

На основании полученных результатов можно сделать выводы:

- уменьшение температуры горячей смеси при доставке к месту производства ремонтных работ способствует росту объема асфальтобетона выбоины в зоне контакта с покрытием с температурой ниже допустимой;
- с понижением температуры горячей смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия необходимо увеличивать температуру нагрева поверхности выбоины;
- нагрев поверхности выбоины перед укладкой горячей смеси обеспечивает температурные режимы горячей смеси при производстве ремонтных работ даже при условии доставки смесей с температурой, ниже минимально допустимой;
- нагрев боковых поверхностей выбоины позволяет уменьшить зону асфальтобетона с пониженной температурой при одновременном увеличении продолжительности работ по ремонту выбоин с обеспечением температурных режимов горячей смеси.

5.6. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ВЫБОИН ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

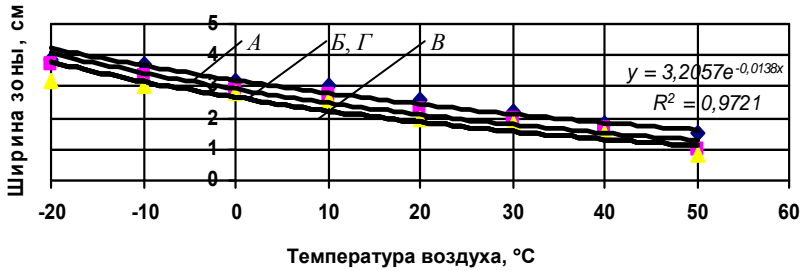
В зависимости от дорожно-климатической зоны расположения автомобильной дороги и её категории, для слоёв дорожного покрытия нежесткого типа рекомендуются асфальтобетоны определённых типов и марок битумов. Для устройства верхнего слоя покрытия рекомендуются мелкозернистые или песчаные высокоплотные и плотные асфальтобетонные смеси марки 1, которые характеризуются высокими прочностными характеристиками. В нижние слои покрытия рекомендуется укладывать крупнозернистые асфальтобетонные смеси. Для обеспечения безопасности движения транспортных средств в верхние слои покрытия укладывают смеси типов А, Б или Г. Для обеспечения одинаковых физико-механических и теплофизических параметров покрытия необходимо, чтобы применяемый материал для устранения дефектов покрытия, по своей структуре и свойствам соответствовал материалу дорожного покрытия. В зависимости от применяемого типа смеси и марки битума устанавливаются эффективные температурные режимы укладки и уплотнения, при которых обеспечиваются требуемые эксплуатационные показатели асфальтобетона. Обеспечение требуемых эксплуатационных показателей асфальтобетона (плотность, пористость, водонепроницаемость, прочность) при укладке в выбоину горячей смеси достигается в процессе уплотнения. Выбор параметров уплотняющих машин зависит от характеристик горячей смеси, свойства которой определяются её температурой. Продолжительность выполнения ремонтных работ определяется временем соответствия температуры горячей асфальтобетонной смеси заданным температурным интервалам в зависимости от свойств вяжущего материала и температуры воздуха (табл. 5.8).

До укладки горячей смеси в выбоину необходимо осуществлять контроль за её температурой. Если температура поставляемой горячей смеси ниже температуры, указанной в табл. 5.5, то необходимо прогреть поверхность выбоины или возвращать смесь на завод для нагрева.

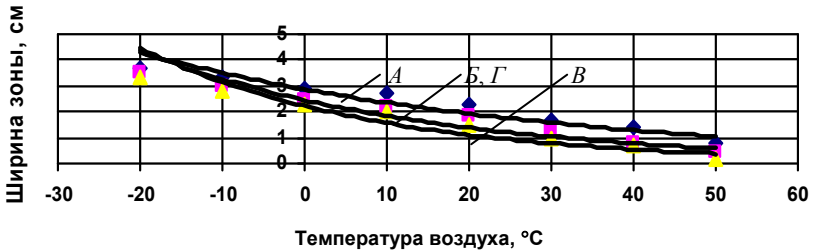
При укладке горячей асфальтобетонной смеси в выбоину с температурой выше минимальной, в зависимости от разности температур смеси и основания, на границе покрытия и свежееуложенной смеси образуется некоторый объём материала с пониженной температурой, что способствует образованию по периметру выбоины объёма асфальтобетона с пониженными эксплуатационными параметрами. Зависимость ширины зоны материала с пониженной температурой смеси, ниже минимально предельной температурой смеси, для конкретного типа смеси и марки битума представлена на рис. 5.9.

**5.8. Продолжительность укладки и уплотнения
горячей асфальтобетонной смеси при производстве
ремонтных работ выбоин дорожного покрытия, мин**

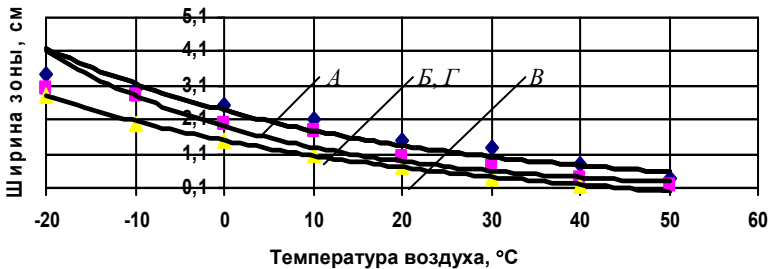
Тип смеси	Марка битума	Температура воздуха, °С						
		-20	-10	0	10	20	30	40
А	40/60	10,0	11,0	12,0	12,5	13,0	13,5	15,0
	60/90	11,5	12,5	13,0	14,0	14,5	15,0	17,5
	90/130	12,5	13,0	13,5	15,0	16,5	17,5	19,0
	130/200	11,5	12,0	13,0	14,0	15,0	17,5	20,0
	200/300	14,0	15,0	16,0	17,5	20,0	22,5	25,0
Б	40/60	11,5	12,5	13,0	14,0	14,5	15,0	17,5
	60/90	12,5	13,0	13,5	15,0	16,5	17,5	19,0
	90/130	13,5	14,0	15,0	16,0	17,5	19,0	21,0
	130/200	13,0	13,5	14,0	16,0	17,5	20,0	22,5
	200/300	15,0	17,0	18,0	20,0	21,5	25,0	30,0
В	40/60	12,5	13,0	13,5	15,0	16,5	17,5	19,0
	60/90	13,5	14,0	15,0	16,0	17,5	19,0	21,0
	90/130	14,0	15,0	16,0	17,5	19,0	20,0	24,0
	130/200	14,0	15,0	16,0	17,5	20,0	22,5	25,0
	200/300	19,0	17,5	19,0	21,0	24,0	27,5	32,0
Г	40/60	11,5	12,5	13,0	14,0	14,5	15,0	17,5
	60/90	12,5	13,0	13,5	15,0	16,5	17,5	19,0
	90/130	13,5	14,0	15,0	16,0	17,5	19,0	21,0
	130/200	13,0	13,5	14,0	16,0	17,5	20,0	22,5
	200/300	15,0	17,0	18,0	20,0	21,5	25,0	30,0
Д	40/60	9,0	10,0	11,0	12,0	12,5	14,0	15,0
	60/90	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	17,5
	90/130	12,0	12,5	13,0	14,0	15,0	147,5	20,0
	130/200	14,0	15,0	16,0	17,5	20,0	225,5	25,0
	200/300	16,0	17,5	19,0	21,0	25,0	27,0	32,0



а)



б)



в)

Рис. 5.9. Зависимость ширины зоны материала с пониженной температурой смеси, ниже минимально предельной температурой смеси, для конкретного типа смеси и марки битума:
а – марка битума БНД 40/60; *б* – марка битума БНД 60/90;
в – марка битума БНД 90/130

Из представленных данных видно, что ширина зоны материала с пониженной температурой горячей смеси в выбоине, ниже допустимой, зависит от температуры окружающего воздуха, и с учётом типа смеси и

марки битума может достигать разных значений по периметру выбоины. Образование такой зоны способствует при выполнении ремонтных работ достижению низкого коэффициента уплотнения асфальтобетонной смеси с высоким водонасыщением, что приводит при эксплуатации дороги к разрушению асфальтобетона в выбоине.

При работе с горячими асфальтобетонными смесями температурные режимы и продолжительность выполнения работ зависят от скорости ветра. При выполнении работ по устранению выбоин на дорожных покрытиях ввиду небольших объёмов укладываемых асфальтобетонных смесей, скорость ветра влияет на темп охлаждения горячей смеси, но в меньшей степени, чем при устройстве дорожных покрытий. В зависимости от типа смеси и марки битума скорости ветра при производстве ремонтных работ не должны превышать допустимых значений, представленных в табл. 5.7.

Для устранения образующихся зон горячего асфальтобетона с пониженной температурой смеси после укладки в выбоину необходимо осуществлять прогрев поверхности выбоины покрытия перед укладкой горячей смеси. Включение в технологию ремонтных работ такой операции позволит снизить температуру поставляемой горячей смеси к месту производства работ, а также обеспечивает требуемые эксплуатационные показатели асфальтобетона в выбоине при правильном подборе уплотняющих машин. Численное значение температуры нагрева поверхности выбоины дорожного покрытия в зависимости от температуры смеси при доставке к месту производства ремонтных работ и температуры окружающего воздуха представлено в табл. 5.9.

5.9. Зависимость нагрева поверхности выбоины от температуры смеси и воздуха

Тип смеси	Марка битума	Расчётная зависимость для определения температуры нагрева основания	Допустимая продолжительность работ, мин
А	40/60	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 361,43e^{-0,0113 t_{\text{см}}^{\circ} - 0,0024 t_{\text{возд}}^{\circ}}$	$t = 11,63e^{0,0064 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	60/90	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 609,03e^{-0,0165 t_{\text{см}}^{\circ} - 0,004 t_{\text{возд}}^{\circ}}$	$t = 13,16e^{0,0068 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	90/130	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 875,307e^{-0,0207 t_{\text{см}}^{\circ} - 0,04 t_{\text{возд}}^{\circ}}$	$t = 14,05e^{0,0073 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	130/200	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 488,57e^{-0,019 t_{\text{см}}^{\circ}}$	$t = 13,285e^{0,0094 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	200/300	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 1675,9e^{-0,0359 t_{\text{см}}^{\circ}}$	$t = 16,484e^{0,0099 t_{\text{см}}^{\circ}}$

Тип смеси	Марка битума	Расчётная зависимость для определения температуры нагрева основания	Допустимая продолжительность работ, мин
Б	40/60	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 619,81e^{-0,0166 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,004 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t = 13,16e^{0,0068 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	60/90	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 875,307e^{-0,0207 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,044 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t = 14,05e^{0,0073 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	90/130	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 1406,92e^{-0,0262 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,006 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t_{\text{осн}} = 15,204e^{0,0075 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	130/200	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 756,71e^{-0,026 t_{\text{см}}^{\circ}}$	$t_{\text{осн}} = 15,036e^{0,0092 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	200/300	$t_{\text{осн}}^{\circ} = -139,01\ln(t_{\text{см}}^{\circ}) + 675,91$	$t_{\text{осн}} = 18,423e^{0,0112 t_{\text{см}}^{\circ}}$
В	40/60	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 875,3,03e^{-0,0207 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,0044 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t_{\text{осн}} = 14,05e^{0,0073 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	60/90	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 1407,35e^{-0,0262 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,006 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t_{\text{осн}} = 15,204e^{0,0075 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	90/130	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 1676,92e^{-0,0275 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,0063 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t_{\text{осн}} = 16,289e^{0,0088 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	130/200	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 1196,3e^{-0,033 t_{\text{см}}^{\circ}}$	$t_{\text{осн}} = 16,484e^{0,0099 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	200/300	$t_{\text{осн}}^{\circ} = -116,46\ln(t_{\text{см}}^{\circ}) + 560,25$	$t_{\text{осн}} = 19,146,16e^{0,0122 t_{\text{см}}^{\circ}}$
Г	40/60	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 619,81e^{-0,0166 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,004 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t_{\text{осн}} = 13,16e^{0,0068 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	60/90	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 875,307e^{-0,0207 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,044 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t_{\text{осн}} = 14,05e^{0,0073 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	90/130	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 1406,92e^{-0,0262 t_{\text{см}}^{\circ}} - 0,006 t_{\text{возд}}^{\circ}$	$t_{\text{осн}} = 15,204e^{0,0075 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	130/200	$t_{\text{осн}}^{\circ} = 756,71e^{-0,026 t_{\text{см}}^{\circ}}$	$t_{\text{осн}} = 15,036e^{0,0092 t_{\text{см}}^{\circ}}$
	200/300	$t_{\text{осн}}^{\circ} = -139,01\ln(t_{\text{см}}^{\circ}) + 675,91$	$t_{\text{осн}} = 18,372e^{0,0109 t_{\text{см}}^{\circ}}$

Контрольные вопросы к главе 5

1. От каких факторов зависят размеры зоны асфальтобетона с пониженной температурой в выбоине дорожного покрытия при производстве ремонтных работ?

2. Что характеризует минимальная температура горячей смеси при производстве ремонтных работ по устранению выбоин на дорожных покрытиях автомобильных дорог?

3. Назовите максимально допустимую скорость ветра при работе с горячими смесями при пониженных температура воздуха.

4. Что необходимо изменить в технологии ремонта выбоин при использовании горячих асфальтобетонных смесей с минимально допустимой температурой смеси для обеспечения требуемых температурных режимов при выполнении ремонтных работ?

Основная литература

1. **Зубков, А. Ф.** Технология ремонта дорожных покрытий автомобильных дорог с применением горячих асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков, В. Г. Однолько, Е. Ю. Евсеев. – Москва : Издательский дом «Спектр», 2013. – 180 с.

2. **Зубков, А.Ф.** Технология устройства дорожных покрытий с учётом температурных режимов асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2006. – 151 с.

Дополнительная литература

4. **Технология** и организация строительства автомобильных дорог / Н. В. Горелышев и др. – Москва : Транспорт, 1991. – 551 с.

3. **Подольский, В. П.** Технология и организация строительства автомобильных дорог / В. П. Подольский. Т. 2: Дорожные покрытия; под ред. В. П. Подольского. – Москва : Академия, 2012. – 297 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Безопасность движения транспортных средств зависит от состояния дорожной сети. Под действием осевых нагрузок от транспортных средств и погодных условий на дорожных покрытиях возникают разрушения, что проявляется в виде различных выбоин, просадок, трещин и волн, что ухудшает условия движения транспортных средств и уменьшает срок эксплуатации автомобильной дороги. Для устранения таких дефектов применяют разные технологии, позволяющие устранить образовавшиеся дефекты на покрытиях, и при качественном ремонте увеличить продолжительность эксплуатации автомобильной дороги в течение нескольких лет. Выбор технологии и её параметров зависит от многих факторов, в том числе от свойств применяемого материала и погодных условий.

Широкое применение при ремонте выбоин на дорожных покрытиях получил метод ремонта с применением горячих асфальтобетонных смесей, позволяющий достичь требуемых эксплуатационных параметров асфальтобетона и обеспечить заданный срок службы покрытия. Анализ применяемой технологии с использованием горячих асфальтобетонных смесей показал, что низкому качеству работ способствует несоответствие температурных режимов при укладке и уплотнении горячих асфальтобетонных смесей условиям производства работ и недостаточное уплотнение. Предложенная методика выбора технологических режимов при ремонте выбоин на дорожных покрытиях нежёсткого типа позволит улучшить качество ремонтных работ и увеличить срок службы автомобильных дорог.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕМОНТА ВЫБОИН НА ПОКРЫТИЯХ НЕЖЁСТКОГО ТИПА	4
1.1. Анализ состояния автомобильных дорог с покрытиями нежёсткого типа	4
1.2. Требования нормативных документов к транспортно-эксплуатационному состоянию автомобильных дорог с покрытиями нежёсткого типа	5
1.3. Влияние свойств материала на выбор технологии ремонта покрытий нежёсткого типа	7
1.4. Факторы, влияющие на процессы разрушения дорожных покрытий нежёсткого типа	12
1.5. Анализ технологий для ремонта выбоин на покрытиях дорог нежёсткого типа	14
Контрольные вопросы	21
Глава 2. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	23
2.1. Влияние температуры горячей асфальтобетонной смеси на качество работ по ремонту дорожных покрытий нежёсткого типа	23
2.2. Влияние температуры на свойства асфальтобетонных смесей	26
2.3. Влияние температуры на прочностные характеристики горячих асфальтобетонных смесей	27
Контрольные вопросы	28
Глава 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЕМОНТНЫХ РАБОТ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ	29
3.1. Моделирование температурных режимов при производстве ямочного ремонта дорожных асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог	30

3.2. Экспериментальные исследования по определению температуры горячей асфальтобетонной смеси при ремонте выбоин дорожных покрытий	34
3.3. Влияние условий производства работ на температурные режимы горячих асфальтобетонных смесей	37
3.3.1. Влияние температуры окружающего воздуха на распределение температуры смеси в выбоине дорожного покрытия	37
3.3.2. Влияние температуры смеси при укладке в выбоину на продолжительность работ по ремонту выбоин	39
3.4. Влияние теплофизических характеристик горячей смеси на распределение температуры в выбоине дорожного покрытия	41
3.4.1. Влияние скорости ветра на темп охлаждения горячей асфальтобетонной смеси	43
Контрольные вопросы	46
Глава 4. ОБОСНОВАНИЕ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА ВЫБОИН ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА	48
4.1. Выбор уплотняющих машин при производстве ямочного ремонта покрытий нежёсткого типа	48
Контрольные вопросы	51
Глава 5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЯМОЧНОГО РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА	53
5.1. Влияние условий производства работ на выбор технологии ремонтных работ на покрытиях нежёсткого типа	53
5.2. Влияние температуры воздуха на тепловые процессы горячей смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия	54
5.3. Влияние температуры смеси на технологические режимы горячей асфальтобетонной смеси в выбоине	58
5.4. Влияние скорости ветра на охлаждение горячей смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия	62

5.5. Влияние температуры основания на температурные режимы горячей смеси при укладке в выбоину покрытия	65
5.6. Методика разработки технологии ремонта выбоин дорожных покрытий нежесткого типа с применением горячих асфальтобетонных смесей	70
Контрольные вопросы	74
Заключение	76

Учебное издание

ЗУБКОВ Анатолий Фёдорович

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

Учебное пособие

Редактор И. В. Калистратова

Инженер по компьютерному макетированию М. Н. Рыжкова

ISBN 978-5-8265-1259-3



Подписано в печать 21.03.2014

Формат 60 × 84/16. 4,65 усл. печ. л.

Тираж 50 экз. Заказ № 129

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

392000, Тамбов, ул. Советская, 106, к. 14.

Тел./факс (4752) 63-81-08, 63-81-33.

E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru