

**А. Ф. ЗУБКОВ, К. А. АНДРИАНОВ,
А. М. МАКАРОВ, Р. В. КУПРИЯНОВ**

ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОПОЛОСНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ



**Тамбов
◆ Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ» ◆
2016**

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

**А. Ф. ЗУБКОВ, К. А. АНДРИАНОВ,
А. М. МАКАРОВ, Р. В. КУПРИЯНОВ**

ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОПОЛОСНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Допущено УМО вузов РФ по образованию
в области строительства в качестве учебного пособия
для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки
магистров «Строительство» (программа магистерской
подготовки: «Проектирование, строительство и эксплуатация
автомобильных дорог») и по специальности «Строительство,
эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие
автомобильных дорог, мостов и тоннелей»
(специализация: «Строительство (реконструкция),
эксплуатация и техническое прикрытие автомобильных дорог»)*



Тамбов

◆ Издательство ФГБОУ ВО «ТГТУ» ◆
2016

УДК 625.7/8
ББК 0311-044
3-91

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация
автомобильных дорог» ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет»

В. П. Подольский

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

В. В. Леденев

3-91 **Технология** укладки асфальтобетонных смесей при строи-
тельстве многополосных дорожных покрытий : учеб. пособие /
А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, А. М. Макаров, Р. В. Куприянов. –
Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 80 с. – 300 экз.

ISBN 978-5-8265-1547-1

Рассмотрены вопросы, связанные с технологией строительства многополосных асфальтобетонных дорожных покрытий. Дан анализ современных методов укладки асфальтобетонных смесей многополосных покрытий нежесткого типа. Подробно освещены вопросы технологии устройства стыков сопряженных полос покрытия с учётом обеспечения температурных режимов горячей асфальтобетонной смеси при различных способах её укладки.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки магистров «Строительство» (программа магистерской подготовки: «Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог») и по специальности «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей» (специализация: «Строительство (реконструкция), эксплуатация и техническое прикрытие автомобильных дорог»).

УДК 625.7/8
ББК 0311-044

ISBN 978-5-8265-1547-1

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2016

ВВЕДЕНИЕ

Постоянный рост интенсивности движения на автомобильных дорогах требует решения вопросов, связанных с обеспечением скоростных режимов транспортных потоков и повышением безопасности дорожного движения при одновременном увеличении срока службы дорожной одежды. Устройство многополосных дорожных покрытий позволяет увеличить как пропускную способность дороги, так и обеспечить высокую безопасность движения транспортных средств.

На данный момент времени дорожные одежды нежесткого типа с покрытием из асфальтобетона составляют порядка 95% от общей протяженности сети дорог. При устройстве таких покрытий применяются разные технологические схемы укладки и уплотнения смежных полос движения.

Однако при эксплуатации дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием в зоне стыка сопряженных полос часто происходит разрушение. Образование таких дефектов, как правило, связано с нарушением технологии укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей в зоне стыка полос покрытия. Основной причиной разрушения стыка является нарушение температурных режимов в момент укладки горячей асфальтобетонной смеси. Поскольку обеспечение температурных режимов зависит от свойств применяемого материала, то данное обстоятельство необходимо учитывать при производстве работ.

В свою очередь производительность звена машин при устройстве дорожного покрытия зависит от эффективности работы асфальтоукладчика, который оказывает влияние на выбор состава машин и темп строительства. От принятой организации производства работ, а также от темпа охлаждения смеси будет зависеть длина захватки при укладке и уплотнении, что в дальнейшем влияет на качество выполненных работ и срок службы дорожной одежды.

Учебное пособие предназначено для изучения дисциплин: «Научные основы технологии и организации строительства автомобильных дорог», «Прогрессивные технологии организации и строительства автомобильных дорог» и «Технология строительства (реконструкции) автомобильных дорог и объектов транспортного назначения», после чего студент должен:

- знать достижения современных технологий разработки и внедрения технологических процессов, применение технологического оборудования и технологической оснастки, средств автоматизации и механизации при строительстве, реконструкции и ремонте дорожных покрытий;
- уметь проводить технико-экономический анализ различных вариантов конструкции дорожной одежды и технологических схем строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог, принимать обоснованные технико-экономические решения;
- владеть навыками использования новейших строительных технологий, разрабатывать проекты и схемы технологических процессов строительства, реконструкции и ремонта покрытий автомобильных дорог.

1. СТРОИТЕЛЬСТВО МНОГОПОЛОСНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1. РАЗВИТИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАРКА СТРАНЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Ежегодное увеличение транспортных средств в стране приводит к повышению интенсивности движения и способствует снижению пропускной способности автомобильных дорог. Анализ количества автомобильного парка страны показал, что он ежегодно увеличивается более, чем на 4...5 % при одновременном росте грузоподъёмности. Повышение интенсивности движения и увеличение осевой нагрузки влияет на эксплуатационное состояние автомобильных дорог, что проявляется в снижении их работоспособности и долговечности.

Мониторинг состояния автомобильных дорог, проведённый разными исследователями, показал, что в настоящий момент около 30% из них перегружены [1]. Превышение допустимой нагрузки от транспортных средств на дорожную одежду составляет порядка 53%, что способствует быстрому её износу и приводит к сокращению срока службы автомобильной дороги в 1,5 раза. В результате этого свыше 35% автомобильных дорог федерального значения требуют реконструкции и модернизации. Данное обстоятельство приводит к снижению безопасности движения и, соответственно, проявляется в увеличении дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Одним из направлений повышения безопасности движения на автомобильных дорогах с повышенной интенсивностью является строительство дорог с многополосными дорожными покрытиями. Практика строительства таких дорог показала, что увеличение количества полос движения способствует резкому снижению ДТП, обеспечению скоростных режимов и повышению пропускной способности транспортных средств. Однако это невозможно без обеспечения высокого качества строительства и ремонта таких дорог, что в первую очередь связано с технологией производства работ, в том числе с соблюдением температурных режимов укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей как в покрытиях, так и на стыке сопряжённых полос.

Анализ результатов исследований, проведённых в научно-исследовательских организациях страны и за рубежом показал, что в большинстве случаев для улучшения характеристик вяжущего материала используют различные модификаторы, влияющие на свойства

битума. Опыт строительства дорог с покрытиями нежесткого типа показал, что применение горячих асфальтобетонных смесей с модифицирующими добавками требует учёта изменения свойств вяжущего, которые влияют на технологические режимы укладки и уплотнения смесей. Существующими нормативными документами и рекомендациями [5, 6] в качестве основного параметра при укладке и уплотнении горячих смесей принята температура, влияющая на продолжительность работ по строительству дорожных покрытий нежесткого типа. В связи с этим применение новых (модифицированных) дорожных материалов на основе битумного вяжущего требует уточнения температурных режимов укладки и уплотнения таких смесей при устройстве покрытия.

1.2. ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

При определении конструктивных параметров автомобильной дороги основным фактором является интенсивность движения, которая определяется с учётом прогноза развития транспортной сети на определённый промежуток времени. Подход к определению параметров автомобильной дороги с учётом планируемой интенсивности движения транспортных средств на несколько лет вперёд способствует обеспечению требуемых параметров дороги на определённый промежуток времени без их изменения в процессе эксплуатации.

Интенсивность движения между двумя пунктами может быть определена из выражения [4]:

$$N_{ij} = \frac{P_p K_c Q_l V_l \tau_l K_l}{1000 L_{\text{пр}}^2} + \frac{P_p K_c Q_a V_a \tau_a K_a}{1000 L_{\text{пр}}^2} + \frac{P_p K_c Q_r V_r \tau_r K_r}{1000 L_{\text{пр}}^\alpha}, \quad (1.1)$$

где N_{ij} – ожидаемая среднегодовая суточная интенсивность движения между i -м и j -м населёнными пунктами, авт./сут; P_p – суммарная приведенная численность населения в i -м и j -м населённых пунктах, жит.; K_c – коэффициент связанности i -го и j -го населённых пунктов, определяемый в зависимости от их административной значимости и подчинённости; Q_l – существующий или перспективный уровень насыщения территории легковыми автомобилями, авт./1000 жит.; V_l – средняя скорость движения легковых автомобилей в эталонных условиях, принимается равной 83 км/ч; τ_l – средняя продолжительность работы в течение суток легковых автомобилей, ч/сут; K_l – коэффициент, характеризующий пользование легковыми автомобилями; $L_{\text{пр}}$ – приведённое расстояние между i -м и j -м населёнными пунктами, км; Q_a – существ-

вующий или перспективный уровень насыщения территории автобусами, авт./1000 жит.; V_a – средняя скорость движения автобусов в эталонных условиях, принимается равной 60 км/ч; t_a – средняя продолжительность работы в течение суток автобусов, ч/сут; K_a – коэффициент, характеризующий использование автобусов; Q_r – существующий или перспективный уровень насыщения территории грузовыми автотранспортными средствами, авт./1000 жит.; V_r – средняя скорость движения грузовых автотранспортных средств в эталонных условиях, принимается равной 75 км/ч; τ_r – средняя продолжительность работы в течение суток грузовых автотранспортных средств, ч/сут; K_r – коэффициент, характеризующий использование грузовых автотранспортных средств; α – показатель степени, используемый при расчёте интенсивности движения грузовых автотранспортных средств.

При использовании метода экстраполяции прогнозирование интенсивности движения на автомобильной дороге можно определить по формуле [4]:

$$N_t = N_0 (1 + B)^t, \quad (1.2)$$

где N_t – прогнозируемая интенсивность движения на t -й год, авт./сут; N_0 – исходная интенсивность движения, авт./сут; B – среднегодовой прирост интенсивности движения; t – перспективный период, лет.

При повышении технической категории существующей дороги необходимо учитывать более высокий темп роста интенсивности движения в первые 6 лет эксплуатации. В этих случаях прогнозирование интенсивности движения следует выполнять по формулам [4]:

– в первые 6 лет эксплуатации дороги

$$N_t = N_0 (1 + B_k)^{t-6}, \quad (1.3)$$

– после 6 лет эксплуатации дороги

$$N_t = (N_0 (1 + B_k)^6) (1 + B)^{t-6}, \quad (1.4)$$

где B_k – прирост интенсивности движения в первые 6 лет эксплуатации дороги, принимаемый в зависимости от проектной категории дороги по [4, табл. 1.4].

На рис. 1.1 приведена административная классификация автомобильных дорог в соответствии с [9].

В нормативном документе [8] приведены основные геометрические параметры поперечного профиля проезжей части автомобильной дороги (ширина и число полос движения проезжей части, обочин, остановочных и разделительных полос) в зависимости от её категории, техническая классификация автомобильных дорог приведена в табл. 1.1.



Рис. 1.1. Административная классификация автомобильных дорог РФ

1.1. Техническая классификация автомобильных дорог

Категория автомобильной дороги		Расчётная интенсивность движения, приведённых ед./сут
IA (автомагистраль)		Св. 14 000
IB (скоростная дорога)		Св. 14 000
Обычные дороги	IV	Св. 14 000
	II	Св. 6000 до 14 000
	III	Св. 2000 до 6000
	IV	Св. 200 до 2000
	V	До 200

1. Категорию дороги следует устанавливать в зависимости от её значения в сети (рис. 1.1) автомобильных дорог, а также требований заказчика.

Число полос движения для дороги категории I в зависимости от интенсивности движения и рельефа местности принимается согласно [8] и приведено в табл. 1.2.

1.2. Число полос движения на дорогах категории I

Рельеф местности	Интенсивность движения, приведённых ед./сут	Число полос движения
Равнинный и пересеченный	Св. 14 000 до 40 000	4
	Св. 40 000 до 80 000	6
	Св. 80 000	8
Горный	Св. 14 000 до 34 000	4
	Св. 34 000 до 70 000	6
	Св. 70 000	8

Необходимое количество полос движения определяется по формуле [10]:

$$n = \frac{\alpha K_n N_p \varepsilon}{z P \gamma}, \quad (1.5)$$

где n – число полос движения; α – коэффициент перехода от суточной интенсивности движения к часовой ($\alpha = 0,1$); $K_n N_p$ – приведённая интенсивность движения, прив. ед./сут.; ε – коэффициент сезонной неравномерности изменения интенсивности движения ($\varepsilon = 1$); z – расчётный коэффициент загрузки дороги движением, зависящий от уровня удобства движения ($z = 0,3 \dots 0,5$); γ – коэффициент, зависящий от рельефа местности (для равнинного рельефа – 1,0; пересечённого – 0,8; сильно пересечённого – 0,6); P – пропускная способность одной полосы движения. Результаты расчёта количества полос в зависимости от интенсивности представлены на рис. 1.2.

Повышение экономического развития страны и рост численности населения способствуют увеличению транспортных средств и грузоперевозок, что ведёт к увеличению интенсивности движения на дорогах страны. Следовательно, для обеспечения пропускной способности автомобильных дорог и повышения безопасности движения транспортных средств потребность в строительстве автомобильных дорог с многополосными покрытиями будет возрастать с каждым годом.

Интенсивность
движения, ед./сут

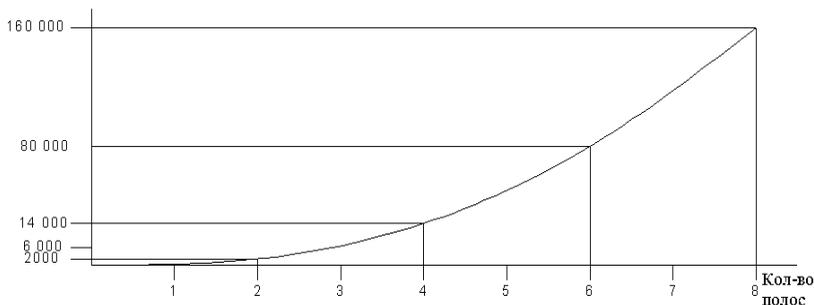


Рис. 1.2. Зависимость количества полос движения от интенсивности

1.3. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Завершающей стадией строительства автомобильных дорог является устройство дорожного покрытия. Наличие вяжущего материала, свойства которого зависят от температуры, влияет на температурные режимы укладки и уплотнения слоёв покрытия. Темп охлаждения горячих асфальтобетонных смесей зависит не только от конструктивных параметров покрытия и погодных условий строительства, но и от свойств асфальтобетонных смесей. В связи с этим при устройстве покрытия предъявляются повышенные требования к технологии укладки и уплотнения применяемого материала. В зависимости от требуемого темпа строительства покрытия, его конструкции и условий производства работ обуславливается выбор принятой технологии.

В настоящее время в дорожной практике строительства покрытий нежесткого типа используются три технологии укладки асфальтобетонных смесей [1 – 3]:

- американская технология (фирма Barber Green) с производительностью до 1800 т/ч и темпом укладки 5 км/смену на нижнем слое и 10 км/смену на верхнем слое при ширине укладки 8...9 м;
- американская технология (фирма Roodtec) с производительностью до 600 т/ч и темпом укладки 1,75 км/ смену на нижнем слое и 3,5 км/ч на верхнем слое при ширине укладки 8...9 м;
- европейская технология с производительностью до 240 т/ч и темпом укладки до 0,6 км/смену на нижнем слое и 1,2 км/смену на верхнем слое при ширине укладки 8...9 м.

Стоит отметить, что при одновременной укладке слоёв покрытия с разными по составу смесями применяется немецкая технология «компактасфальт» – т.е. «горячее по горячему» [3].

В зависимости от заданного темпа строительства назначается тип асфальтоукладчика. Установлено, что в зависимости от конструкции и режимов работы уплотняющих органов асфальтоукладчика коэффициент предварительного уплотнения горячей смеси находится в широких пределах, что влияет на дальнейший выбор уплотняющих машин [2, 3].

Известно, что эффективность уплотняющих машин при устройстве покрытий нежесткого типа зависит от температуры смеси, которая влияет на прочностные характеристики асфальтобетона. Обеспечить требуемые показатели уплотнения возможно при условии, что величина контактных напряжений под вальцом катка будет близка к пределу прочности уплотняемого материала [3], следовательно, выбор уплотняющих машин необходимо производить с учётом свойств материала и характеристик катков.

Для каждого типа и массы катка существуют эффективные границы температур, зависящие от типа смеси и марки битума, в пределах которых достигается наибольший эффект уплотнения. Назначение звена катков зависит от возможности обеспечения асфальтоукладчиком коэффициента предварительного уплотнения горячей смеси. Применение асфальтоукладчиков с активным уплотняющим рабочим органом при укладке смеси с высоким содержанием щебня (тип А и Б) позволяет уменьшить количество уплотняющих машин и звено катков может состоять из двух катков. При строительстве покрытий из смесей типа В, Г и Д, а также при высоких скоростях укладки в звено уплотняющих машин необходимо вводить лёгкий каток. Применение в технологических звеньях уплотняющих машин вибрационных катков позволяет осуществлять замену лёгких и средних катков по одинаковому уплотняющему эффекту.

В результате воздействия рабочего органа уплотняющей машины на горячую асфальтобетонную смесь обеспечивается требуемое уплотнение асфальтобетонного покрытия и достигаются его эксплуатационные показатели – плотность, прочность, пористость и водоустойчивость. В связи с этим одной из причин снижения срока службы покрытия является нарушение технологии при его устройстве.

Выбор звена катков зависит от качества смеси. Анализ результатов исследований показал, что для смесей типа А можно обеспечить коэффициент предварительного уплотнения смеси ($K_{п.упл.}$),

1.3. Зависимость величины коэффициента предварительного уплотнения ($K_{п.упл}$) от скорости укладки смеси в дорожное покрытие

Тип смеси	Величина $K_{п.упл}$ при рабочей скорости асфальтоукладчика, м/мин			
	1	2	3	5
А	0,98	0,94	0,93	0,92
Б	0,87	0,87	0,83	0,92
В	0,88	0,87	0,87	0,84
Г	0,83	0,88	0,82	0,82

равный 0,96 и выше, для других типов смесей его значение будет составлять 0,85...0,90 [7].

Значение $K_{п.упл}$ смеси зависит также от скорости её укладки смеси. В таблице 1.3 представлены значения коэффициента предварительного уплотнения смеси, характеризующие его зависимость от скорости укладки при совместной работе трамбуемого бруса и вибрационной плиты. Данные получены при частоте вибрации вибрационной плиты 50 Гц и трамбуемого бруса 12 Гц [7]. Из данных табл. 1.3 видно, что с увеличением рабочей скорости асфальтоукладчика величина $K_{п.упл}$ смеси уменьшается и для достижения требуемого коэффициента уплотнения необходимо применение разных типов уплотняющих машин, что будет влиять на технологию производства работ.

Для обеспечения качества работ по устройству дорожного покрытия, в том числе и в зоне стыка сопряжённых полос, необходимо обособленно выбирать скорость укладки горячей смеси и длину рабочей захватки укладчика с учётом темпа охлаждения горячей смеси.

1.4. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПРИ УСТРОЙСТВЕ МНОГОПОЛОСНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

При устройстве многополосных покрытий укладка полос асфальтобетонной смеси производится одним или несколькими асфальтоукладчиками [3].

При наличии уширителей асфальтоукладчики позволяют укладывать полосы асфальтобетонной смеси шириной до 12 м. С учётом

условий производства работ при незначительном (до 0,4 км/смену) темпе строительства укладка может осуществляться отдельными полосами или со смещением асфальтоукладчика с одной полосы на другую, при высоких темпах устройства покрытия укладку возможно вести несколькими асфальтоукладчиками.

Известно, что требуемые характеристики асфальтобетона при устройстве покрытия достигаются при условии соблюдения температурных режимов в процессе уплотнения, что и регламентируется соответствующей литературой и нормативными документами [1, 2, 5, 6]. Кроме того, при строительстве многополосных покрытий необходимо обеспечить температурные режимы асфальтобетонной смеси не только в слое покрытия, но и в зоне стыка сопряжённых полос. Независимо от принятой организации работ по устройству дорожного покрытия при укладке смеси происходит понижение её температуры во времени, что оказывает влияние на прочностные свойства. После укладки горячей смеси тепловой поток передаётся как нижележащему слою дорожной одежды, так и в окружающую среду, что приводит к неравномерности распределения температуры по толщине уложенного слоя. Аналогичные потери тепла происходят также на боковой поверхности слоя покрытия, что способствует повышению интенсивности охлаждению горячей смеси в зоне стыка уложенной полосы покрытия. Минимальная температура горячей смеси при укладке регламентирована нормативными документами [5, 6] и зависит от её типа и марки битума. Температура горячей смеси после её укладки определяется темпом охлаждения, зависящим как от свойств самой смеси, так и от конструктивных параметров покрытия. В рекомендациях [5] установлены также оптимальные длины сопряжённых полос при укладке горячей смеси, обеспечивающие качественный продольный шов, зависящие от температуры окружающего воздуха.

Для обеспечения безопасных условий работы катка при укатке покрытия (с учётом разгона и торможения) длина рабочей захватки должна быть в пределах 3,0...3,5 длины катка. Анализ технических характеристик катков показал, что длина катка находится в пределах 5...6 м. Следовательно, длина захватки при работе одного катка составляет 15...20 м, а с учётом захватки асфальтоукладчика минимальная общая длина захватки всего отряда машин принимается не менее 60...65 м. При благоприятных погодных условиях длина общей захватки может составлять 130...150 м. При одновременной работе двух асфальтоукладчиков монолитность продольного шва обеспечивается при смещении одной машины относительно другой на расстояние 10...30 м [1, 2, 7].

Анализ существующих рекомендаций по определению длины захваток при укладке асфальтобетонной смеси [5] показал, что не в полной мере учитываются факторы, влияющие на охлаждение горячей смеси при укладке в дорожное покрытие. Длина захватки, при прочих равных условиях производства работ, зависит от скорости укладки и продолжительности охлаждения смеси в заданном температурном интервале, что не учитывается.

Экспериментальными исследованиями доказано [2, 3, 7], что качество уплотнения горячей смеси зависит от её температуры. Так понижение температуры горячей смеси в зоне сопряжения полос ниже предельной вследствие низкой температуры самой смеси в момент её укладки, а также увеличенной длины захватки приводит к понижению таких показателей асфальтобетонного покрытия, как прочность, плотность, водонепроницаемость. Данное обстоятельство приводит к разрушению дорожного покрытия в процессе его эксплуатации (рис. 1.3).

На практике при низкой температуре края полосы асфальтобетона для устранения дефекта в зоне стыка сопряжённых полос предусматривается прогрев края первой полосы с помощью разогревателей [1]. Следует заметить, что применение разогревателей для асфальтобетона требует использования дополнительного оборудования и влияет на стоимость работ. Кроме того, в зависимости от типа смеси и марки битума температура нагрева края полосы с учётом обеспечения температурных режимов смеси должна быть разной. В связи с этим необходимо уточнить температуру нагрева ранее уложенной полосы асфальтобетонного покрытия в зоне стыка.



Рис. 1.3. Вид дорожного покрытия на стыке двух полос

Установлено, что качество работ при устройстве многополосных дорожных покрытий зависит от соблюдения температурных режимов асфальтобетонной смеси на стыке смежных полос и возможности обеспечения одинакового коэффициента уплотнения катками. Нарушение этих условий приводит к недоуплотнению или разуплотнению дорожного покрытия в зоне стыка полос. Процесс укатки сопряжённых полос регламентирован [5, 6], а именно, «при уплотнении первой полосы вальцы катка не должны приближаться более чем на 0,1 м к кромке сопряжения. Уплотнение следующей полосы необходимо начинать по продольному сопряжению. Сопряжение должно быть ровным и плотным. Расстояние между асфальтоукладчиком и дорожными катками должно быть минимальным». Следует заметить, что при укладке сопряжённых полос в течение определённого промежутка времени наблюдается охлаждение одного и нагрев другого слоя покрытия. Следовательно, процесс уплотнения необходимо выполнять не сразу после укладки горячей смеси сопряжённой полосы покрытия, а через определённый момент времени.

Экспериментально установлено, что наиболее интенсивно процесс охлаждения горячей смеси после её укладки на нижележащий слой основания и значительные потери тепла горячей смесью происходят в течение незначительного промежутка времени и связаны с протеканием нестационарных тепловых процессов внутри уложенного слоя смеси, способствующих понижению её температуры на 10...30 °С в зависимости от условий производства работ. Причём, наиболее интенсивно температура горячей смеси изменяется в краевых точках боковой поверхности уложенного слоя горячей смеси полосы покрытия. В процессе эксплуатации дорожных покрытий нежёсткого типа такие участки покрытия являются наиболее слабым местом и подвергаются интенсивному разрушению под влиянием погодных условий.

В связи с вышеизложенным, целью данного пособия является обоснование технологических режимов укладки и уплотнения стыка сопряжённых полос многополосных покрытий нежёсткого типа, позволяющих обеспечить нормативный срок службы дорожного покрытия.

Контрольные вопросы к главе 1

1. Назовите нормативные документы, применяемые при строительстве асфальтобетонных покрытий.
2. Дайте определение терминам «интенсивность движения», «пропускная способность автомобильной дороги».

3. Какие технологии применяются при укладке асфальтобетонных покрытий? Назовите условия их эффективного применения.
4. Какие средства механизации применяют при устройстве покрытия нежесткого типа?
5. Назовите требуемое значение коэффициента уплотнения асфальтобетонного покрытия.

Основная литература

1. **Васильев, А. П.** Справочная энциклопедия дорожника. Т. I: Строительство и реконструкция автомобильных дорог / под ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2004. – 505 с.
2. **Горельшев, Н. Г.** Технология и организация строительства автомобильных дорог / под ред. д-ра техн. наук, проф. Н. Г. Горельшева. – М. : Интеграл, 2013. – 551 с.
3. **Строительство** автомобильных дорог. Дорожные покрытия : учебник / В. П. Подольский, П. И. Поспелов, А. В. Глагольев, А. В. Смирнов ; под ред. В. П. Подольского. – М. : ИЦ «Академия», 2015. – 304 с.

Дополнительная литература

4. **Руководство** по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах / Министерство транспорта РФ ; Государственная служба дорожного хозяйства (РОСАВТОДОР). – М., 2003.
5. **ТР 103-00.** Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций с применением асфальтобетона / ГУП НИИ Мосстрой. – М., 2000. – 43 с.
6. **ГОСТ 9128–2009.** Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромы и асфальтобетон. Технические условия. – М. : МНТКС, 2009.
7. **Ищенко, И. С.** Технология устройства и ремонта асфальтобетонных покрытий / И. С. Ищенко, Т. Н. Калашникова, Д. А. Семенов. – М. : Аир-Арт, 2001. – 169 с.
8. **СП 34.13330.2012.** Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Минрегион России. – 2012.
9. **Постановление** Правительства РФ от 11.04.2006 № 209 (ред. от 28.09.2009) «О некоторых вопросах, связанных с классификацией автомобильных дорог в Российской Федерации».
10. **ОДМ 218.2.020–2012.** Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог / Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). – М., 2012.

2. ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ В ЗОНЕ СТЫКА СОПРЯЖЁННЫХ ПОЛОС ПОКРЫТИЯ НА ТЕХНОЛОГИЮ ЕЁ УКЛАДКИ

Работоспособность и долговечность дорожного покрытия нежесткого типа зависят от качества выполнения технологических операций по укладке и уплотнению горячих асфальтобетонных смесей, которые регламентируются температурными режимами применяемых смесей. В табл. 2.1 представлены рекомендуемые температурные режимы уплотнения асфальтобетона разных типов в зависимости от марки битума [1, 2].

Уплотнение горячей смеси необходимо начинать при максимальной температуре, при которой не образуются деформации в процессе укатки слоя покрытия. Соблюдение температурных режимов горячих асфальтобетонных смесей при укладке и уплотнении позволяет обеспечить требуемые прочностные характеристики асфальтобетона при устройстве дорожных покрытий нежесткого типа, в том числе и в зоне стыка сопрягаемых полос при строительстве многополосных дорожных покрытий.

2.1. Рекомендуемые температурные режимы укладки и окончания уплотнения 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

2.1. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОПОЛОСНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Как уже отмечалось в гл. 1, для повышения пропускной способности автомобильной дороги возникает необходимость строительства дорожных покрытий с увеличенной шириной проезжей части. В этом случае предусматриваются укладка и уплотнение слоёв покрытия дорожной одежды несколькими полосами в одном направлении.

При устройстве многополосных дорожных покрытий применяются технологии укладки асфальтобетонной смеси, приведённые ниже.

1. *Распределение смеси осуществляется за один проход асфальтоукладчика на всю ширину проезжей части (рис. 2.1).* При такой организации производства работ по укладке горячей смеси продольный шов отсутствует.

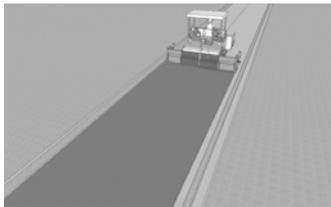


Рис. 2.1. Укладка горячей асфальтобетонной смеси одним асфальтоукладчиком при строительстве автомобильной дороги с увеличенной шириной полосы движения

2. *Распределение смеси укладкой одной полосы асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком в пределах сменной захватки. Следующие полосы укладываются через некоторый промежуток времени (рис. 2.2).* Такой способ устройства покрытия находит применение в случае производства работ по уширению покрытия при ремонте, реконструкции, а также при недостаточной производственной мощности асфальтобетонных заводов. В этом случае возможно движение транспортного потока по параллельной полосе. В этом случае возникает

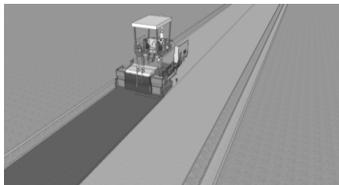


Рис. 2.2. Укладка части покрытия одним асфальтоукладчиком

продольный шов в зоне стыка сопряжённых полос покрытия. Для обеспечения качества работ необходимо прогревать край асфальтобетона ранее уложенной полосы. Нарушение температурных режимов при производстве работ в зоне стыка сопряжённых полос способствует образованию дефектов на поверхности покрытия, которые возникают в процессе эксплуатации автомобильной дороги.

3. *Распределение смеси одним асфальтоукладчиком при перемещении его в процессе устройства покрытия с одной полосы на другую (рис. 2.3).* Асфальтобетонная смесь укладывается в пределах захватки, длина которой зависит от температуры воздуха. Принято считать, что рекомендуемая длина захватки обеспечивает температуру асфальтобетонной смеси в зоне стыка сопряжённых полос в соответствии с температурными режимами применяемых смесей. Такая технология устройства покрытия применяется при укладке смеси на всю ширину покрытия при строительстве, реконструкции и ремонте дороги. Особенностью данной технологии является образование не только продольных швов, но и поперечных.

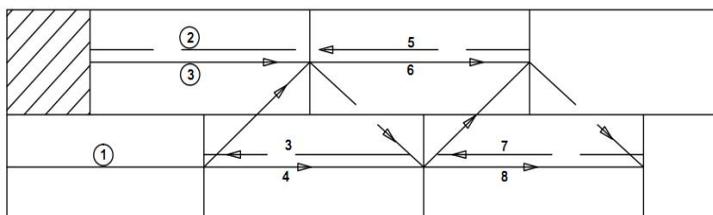


Рис. 2.3. Технологическая схема укладки асфальтобетонной смеси одним асфальтоукладчиком с перемещением его с одной полосы на другую

4. *Распределение смеси двумя и более асфальтоукладчиками, смежёнными в плане относительно друг друга на некоторое расстояние (рис. 2.4).* Данный способ укладки применяется при устройстве многополосных дорожных покрытий на всю ширину проезжей части, когда ширина укладки одним асфальтоукладчиком недостаточна. При такой технологии образуется только продольный шов.

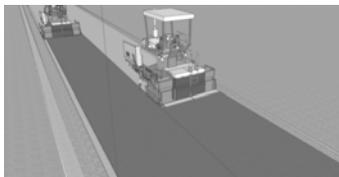


Рис. 2.4. Укладка асфальтобетонной смеси двумя асфальтоукладчиками

Каждая из рассмотренных технологий устройства покрытия имеет свои особенности, которые оказывают влияние на срок службы дорожного покрытия в процессе эксплуатации.

В случае, когда стыки расположены под сплошной полосой покрытия, нагрузка на них минимальна и дефект шва возникает значительно реже. Если же ширина полосы движения совпадает с шириной полосы укладки, то при перестроении транспортных средств из одной полосы в другую происходит взаимодействие колеса с покрытием в зоне стыка полос и покрытие в этом месте подвержено более интенсивному разрушению. Наиболее неблагоприятным вариантом является случай, когда продольный шов находится непосредственно на полосе движения транспортного потока. Это возникает в том случае, когда количество полос движения не совпадает с количеством полос укладки асфальтоукладчиком. Например, когда четыре полосы движения, а при устройстве дорожного покрытия уложено три полосы. В этом случае осевая нагрузка от транспортных средств передаётся на стык сопряжённых полос покрытия, что значительно понижает их срок эксплуатации.

При одновременной работе двух асфальтоукладчиков монолитность продольного шва обеспечивается при смещении одной машины относительно другой на расстояние 25...50 м (рис. 2.5).

При такой технологии устройства покрытия в процессе укатки первой полосы вальцы катка не должны приближаться более чем на 0,1 м к кромке полосы сопряжения, вторая полоса укладки смеси дополнительно прогревает кромку первой и сохраняет температуру смеси на стыке более 100 °С. Уплотнение катками смеси соприкасающейся полосы следует начинать по продольному шву сопряжения [1, 3, 4, 5, 8].

Установлено [2], что после укладки горячей смеси происходит интенсивное охлаждение слоя покрытия, которое характеризуется сравнительно высоким темпом охлаждения, который в свою очередь зависит от теплофизических свойств асфальтобетонной смеси, толщи-

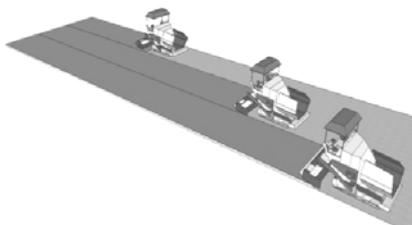


Рис. 2.5. Технология укладки асфальтобетонной смеси несколькими асфальтоукладчиками

ны слоя покрытия и условий производства работ. Как уже говорилось ранее, характер охлаждения горячей смеси относится к нестационарным тепловым процессам и подчиняется экспоненциальной зависимости. После распределения горячей смеси по ширине полосы покрытия тепло от неё передаётся нижележащему слою дорожной одежды и в окружающую среду, что приводит к неравномерности распределения температуры по толщине уложенного слоя. Аналогичные потери тепла происходят и на боковой поверхности уложенного слоя покрытия.

При одновременном устройстве покрытия с несколькими полосами движения укладка горячей смеси осуществляется за счёт смещения асфальтоукладчиков относительно друг друга на определённое расстояние, зависящее от скорости укладки и времени между распределением смеси в сопрягаемых полосах покрытия. При этом, в первой полосе покрытия охлаждение горячей асфальтобетонной смеси происходит не только на поверхности слоя, но и на боковых его поверхностях. Данное обстоятельство оказывает влияние на обеспечение температурных режимов при укладке смеси, а следовательно, и на качество работ по устройству стыков сопряжённых полос покрытия. Интенсивность охлаждения смеси на боковой поверхности слоя зависит от продолжительности между укладками смежных полос покрытия. Следовательно, понижение температуры горячей смеси в зоне стыка уже уложенных полос ниже предельной приводит к снижению качественных показателей асфальтобетона при его уплотнении в покрытии, что в дальнейшем приводит к разрушению дорожного покрытия в процессе эксплуатации.

Для устранения данного дефекта рассматриваемой технологией производства работ предусматривается перед укладкой второй полосы дорожного покрытия осуществлять прогрев сопряжённого слоя смеси первой полосы с помощью различных разогревателей. Возможно также накладывать край слоя горячей смеси следующей полосы на предыдущий, что позволяет повысить температуру смеси на стыке. Следует заметить, что применение разогревателей асфальтобетона требует использования дополнительного оборудования и, соответственно, ведёт к увеличению стоимости работ механизированного звена. Наложение горячей смеси на сопрягаемую полосу покрытия не всегда даёт ожидаемый эффект, так как ранее уложенный слой покрытия не прогревается до оптимальных температур.

Выбор способа укладки горячей смеси по ширине покрытия зависит не только от технических характеристик асфальтоукладчика, но и возможности приготовления и доставки заданных объёмов асфальтобетонных смесей к месту производства работ. В соответствии с типо-

размерами асфальтобетонных заводов производительность их находится в пределах от 25 до 400 тонн в час [1]. Согласно технологии устройства покрытия асфальтоукладчик должен непрерывно вести процесс распределения и укладки горячей смеси и при её недостатке вынужден прекращать работу. Современные асфальтоукладчики имеют достаточно высокую производительность и диапазон рабочих скоростей, находящийся в пределах 0,8...21,8 м/мин [1]. Однако на практике скорости укладки незначительны из-за невозможности обеспечения непрерывной доставки горячей асфальтобетонной смеси к месту производства работ. Кроме того, время укладки и уплотнения смеси определяется температурой слоя покрытия, которая зависит от темпа охлаждения горячей смеси. С учётом этого определяется длина захватки для уплотняющих машин, в пределах которой, учитывая прочностные характеристики асфальтобетона, принимается тип катка (см. п. 1.4).

В зависимости от рабочих режимов асфальтоукладчика коэффициент предварительного уплотнения горячей смеси ($K_{п. \text{упл}}$) находится в пределах 0,85...0,96 [1 – 5]. Принято считать, что асфальтобетонная смесь при укладке асфальтоукладчиком равномерно уплотняется по всей ширине полосы. Однако измерения коэффициента $K_{п. \text{упл}}$ по ширине полосы укладки показали, что наблюдается неравномерное его распределение и с увеличением расстояния от оси покрытия наблюдается понижение величины $K_{п. \text{упл}}$. Данное обстоятельство необходимо учитывать при назначении режимов работы уплотняющих машин.

Процесс уплотнения смеси в зоне стыка сопряжённых полос регламентирован [8] и, как уже было сказано ранее, при уплотнении первой полосы вальцы катка не должны приближаться более чем на 0,1 м к кромке сопряжения, уплотнение следующей полосы необходимо начинать по продольному сопряжению, причём сопряжение полос должно быть ровным и плотным. Расстояние между асфальтоукладчиком и дорожными катками должно быть минимальным и для обеспечения безопасности работы машин при строительстве асфальтобетонных покрытий его принимают в зависимости от базы катков и температуры окружающего воздуха в пределах 10...30 м [1 – 5, 8].

В зависимости от условий производства работ разница в температуре асфальтобетонной смеси, уложенной в смежные полосы покрытия, может быть существенной. Данное обстоятельство способствует снижению в зоне стыка полос коэффициента уплотнения, прочности асфальтобетона, повышенному водонасыщению и преждевременному разрушению дорожного покрытия в процессе эксплуатации автомобильной дороги. Динамика развития разрушения покрытия в зоне стыка полос представлена на рис. 2.6.



Рис. 2.6. Динамика развития разрушения дорожного покрытия в зоне стыка полос

2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА С УЧЁТОМ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Практика строительства автомобильных дорог показывает, что в зависимости от условий производства работ темп охлаждения слоя горячей смеси при устройстве дорожного покрытия может иметь разные значения. Данное обстоятельство влияет на продолжительность работы по укладке и уплотнению асфальтобетонной смеси. Значения температуры при укладке горячей смеси, представленные в существующих рекомендациях [8], не учитывают влияния температуры смеси в конкретный момент времени при производстве работ.

Установлено [2], что охлаждение горячей асфальтобетонной смеси в слое покрытия независимо от её состава, температуры окружающего воздуха и скорости ветра подчиняется экспоненциальному закону. Нагрев поверхности покрытия происходит за счёт солнечной радиации и её температура может быть определена по формуле:

$$t_{\text{п}} = 1,3t_{\text{в}} + 7, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.1)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, $^\circ\text{C}$.

Данная зависимость позволяет учесть температуру основания при устройстве дорожного покрытия, в работах Б. И. Ладыгина и Н. В. Горельшева [3] это учитывается за счёт введения коэффициента, учитывающего влияние температуры основания, при работе асфальтоукладчика.

Продолжительность строительства покрытий нежесткого типа с учётом температуры окружающего воздуха и толщины слоя, полученная на основании экспериментальных данных, приведена в работах [1, 5]. В этих работах продолжительность устройства покрытия определена при фиксированных значениях температуры воздуха и толщины слоя покрытия. На практике эти значения могут колебаться в широких пределах, что также будет влиять на продолжительность выполняемых технологических операций.

Отсутствие аналитической зависимости по расчёту температуры горячей смеси с учётом одновременного влияния различных факторов не даёт возможности конкретизировать продолжительность технологических процессов строительства дорожных покрытий с использованием горячих асфальтобетонных смесей.

С целью правильной организации строительства таких покрытий необходимо установить аналитическую зависимость в заданных температурных интервалах, позволяющую определять температуру горячей смеси с учётом действия всех перечисленных выше факторов.

В общем виде зависимость температуры горячей асфальтобетонной смеси от погодных и производственных факторов можно представить следующим образом:

$$t = f(t_{\text{см}}; t_{\text{в}}; t_{\text{осн}}; t_{\text{ок}}; \tau; h; v), \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.2)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{см}}$ – температура смеси, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{осн}}$ – температура основания, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{ок}}$ – температура окончания работ, $^\circ\text{C}$; τ – время начала выполнения операции с момента укладки горячей смеси, мин; h – толщина слоя, см; v – скорость ветра, м/с.

Процесс охлаждения горячей смеси относится к нестационарным тепловым процессам, причём наиболее интенсивно отдача тепла происходит сразу после её укладки на основание дороги. Это связано с тем, что тепло передаётся в нижележащий слой и в окружающую среду. Потери тепла частично восполняются его передачей из средней части слоя, что приводит к перераспределению тепла внутри слоя и способствует интенсивному охлаждению покрытия.

Для выявления закономерностей охлаждения горячей асфальтобетонной смеси при строительстве дорожных покрытий и установления общей зависимости температуры горячей смеси от различных факторов в [6, 7] проведено моделирование тепловых процессов с использованием ЭВМ. На рисунке 2.7 представлены результаты моделирования изменения температуры горячей смеси во времени при различной температуре воздуха.

Из рисунка 2.7 видно, что независимо от температуры воздуха характер изменения температуры смеси во времени подчиняется общей закономерности и может быть описан экспоненциальной зависимостью.

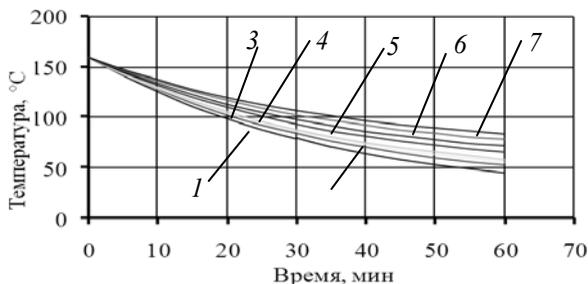


Рис. 2.7. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси во времени в зависимости от температуры окружающего воздуха:

1 – 10 $^\circ\text{C}$; 2 – 0 $^\circ\text{C}$; 3 – 5 $^\circ\text{C}$; 4 – 10 $^\circ\text{C}$; 5 – 20 $^\circ\text{C}$; 6 – 30 $^\circ\text{C}$; 7 – 40 $^\circ\text{C}$
(смесь типа Б, марка битума БНД 60/90, толщина слоя 5 см)

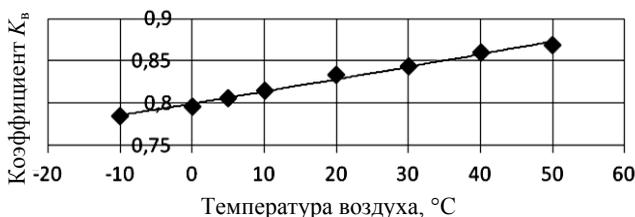


Рис. 2.8. График зависимости изменения величины коэффициента K_b во времени от температуры окружающего воздуха

Для установления общей закономерности влияния температуры воздуха на температуру горячей смеси зависимости, приведенные на рис. 2.7, представим в относительных величинах. Для этого примем условно за начало отсчёта температуру смеси через 10 мин после её укладки, так как ранее было установлено, что интенсивное охлаждение смеси происходит сразу после её укладки на основании в пределах 5 – 10 мин. Величину влияния температуры окружающего воздуха на температуру горячей асфальтобетонной смеси во времени обозначим через коэффициент K_b . Построим график зависимости изменения коэффициента K_b от температуры воздуха (см. рис. 2.8).

Численное значение K_b определяется выражением:

$$K_b = 0,799e^{0,0018t_b}, \quad (2.3)$$

где K_b – коэффициент влияния температуры окружающего воздуха на температуру асфальтобетонной смеси, безразмерная величина; t_b – температура окружающего воздуха, °C; коэффициент корреляции – 0,99.

Из зависимости, представленной на рис. 2.8, видно, что с повышением температуры окружающего воздуха влияние коэффициента K_b возрастает, данное обстоятельство способствует понижению темпа охлаждения горячей смеси.

Ранее уже отмечалось, что температура приготовления и укладки асфальтобетонной смеси регламентирована нормативными документами и зависит от её типа и марки битума [8, 9]. В зависимости от дальности транспортировки к месту производства работ температура смеси может иметь разные значения, допускаемые этими документами. Численные значения зависимости температуры смеси при укладке от времени представлены в табл. 2.2.

Для установления общей закономерности изменения температуры поставляемой смеси на место производства работ от времени введём коэффициент $K_{см}$, учитывающий температуру горячей смеси, доставленной к месту производства работ. Численные значения температуры представим в относительных величинах, где за единицу условно примем температуру смеси, доставленной к месту укладки, равной 160 °C, см. табл. 2.3.

2.2. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси во времени в зависимости от температуры смеси при укладке

Время, мин	0	5	10	20	30	40	50	60
Температура смеси при укладке, °С	180	162	147	120	100	87	77	69
	160	144	131	107	90	78	70	63
	140	126	115	95	80	70	63	57
	120	109	99	82	70	62	55	51
	100	91	83	70	60	53	48	44

2.3. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси во времени в зависимости от температуры смеси при укладке (в относительных величинах)

Время, мин		0	5	10	20	30	40	50	60	$\Sigma n/n$
Температура смеси при укладке, °С	180	1,13	1,122	1,118	1,112	1,107	1,108	1,04	1,1	1,12
	160	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	140	0,87	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,9	0,87
	120	0,75	0,75	0,76	0,77	0,77	0,78	0,80	0,8	0,75
	100	0,63	0,63	0,64	0,65	0,66	0,64	0,65	0,65	0,62

Из представленных данных в табл. 2.3 видно, что независимо от температуры поставляемой смеси к месту производства работ существует общая закономерность охлаждения смеси во времени, которую можно учесть введением коэффициента $K_{см}$. По данным табл. 2.3 построен график зависимости изменения коэффициента $K_{см}$ от температуры смеси при укладке, который приведён на рис. 2.9.

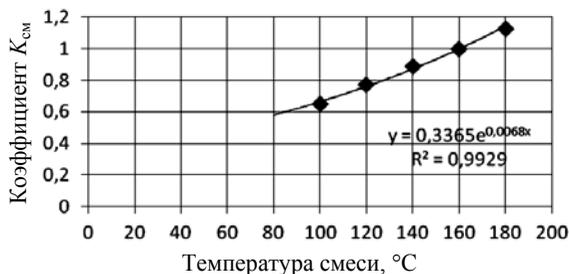


Рис. 2.9. График зависимость изменения коэффициента $K_{см}$ от температуры смеси при её укладке

2.4. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси во времени в зависимости от скорости ветра

Время, мин		0	5	10	20	30	40	50	60
Скорость ветра, м/с	0	160	127	115	95	80	70	63	57
	2	160	122	110	89	75	65	58	53
	4	160	117	105	85	71	61	54	49
	6	160	113	100	80	67	58	51	46
	8	160	109	96	76	63	55	48	44
	10	160	106	92	73	60	52	46	42
	15	160	98	84	66	54	46	41	38

Численное значение коэффициента $K_{см}$ определяется выражением:

$$K_{см} = 0,336 e^{0,0068t_{см}}, \quad (2.4)$$

где $t_{см}$ – температура смеси при укладке; коэффициент корреляции равен 0,99.

Продолжительность выполнения работ по устройству покрытий нежесткого типа зависит от скорости ветра. Существуют ограничения на выполнение работ при применении горячих асфальтобетонных смесей, связанные с распределением смеси небольшим слоем на значительную поверхность покрытия, так как в этом случае происходит повышение темпа её охлаждения и снижение продолжительности устройства покрытия [3]. По результатам моделирования [6, 7] определена продолжительность охлаждения горячей смеси в заданных температурных интервалах в зависимости от скорости ветра (табл. 2.4).

Для установления закономерности влияния скорости ветра на продолжительность охлаждения смеси представим данные табл. 2.4 в относительных величинах, приняв за единицу продолжительность охлаждения смеси при нулевой скорости ветра, см. табл. 2.5. Обозначим эту величину коэффициентом влияния скорости ветра на скорость охлаждения горячей асфальтобетонной смеси (K_v) и построим график изменения коэффициента K_v в зависимости от скорости ветра, см. рис. 2.10.

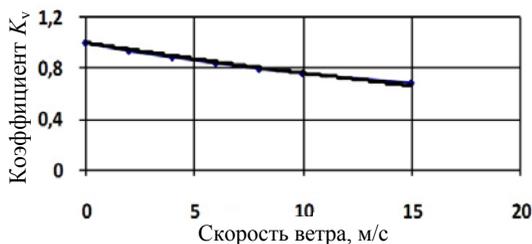
Численное значение коэффициента K_v определяется выражением:

$$K_v = 0,99e^{-0,027v}, \quad (2.5)$$

где v – скорость ветра, м/с; коэффициент корреляции равен 0,99.

2.5. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси во времени в зависимости от скорости ветра (в относительных величинах)

Время, мин	0	5	10	20	30	40	50	60	$\Sigma n/n$	
Скорость ветра, м/с	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	2	1,00	0,96	0,96	0,94	0,94	0,93	0,92	0,93	0,94
	4	1,00	0,92	0,91	0,89	0,89	0,87	0,86	0,86	0,89
	6	1,00	0,89	0,87	0,85	0,84	0,83	0,81	0,81	0,84
	8	1,00	0,86	0,83	0,80	0,79	0,79	0,76	0,77	0,80
	10	1,00	0,83	0,80	0,77	0,75	0,74	0,73	0,74	0,76
	15	1,00	0,77	0,73	0,69	0,68	0,66	0,65	0,67	0,69



**Рис. 2.10. График изменения коэффициента K_v
в зависимости от скорости ветра**

В зависимости от конструкции дорожного покрытия толщина укладываемого слоя может иметь разное значение. Минимальная толщина для верхнего слоя покрытия принимается равной 0,03 м, для нижнего – 0,08 м. Следовательно, продолжительность охлаждения горячей смеси будет разной.

На рис. 2.11 представлено изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси в зависимости от толщины укладываемого слоя покрытия при температуре смеси при укладке 160 °С. Из представленных на рис. 2.11 данных видно, что в зависимости от толщины слоя покрытия характер распределения температуры различен. Так, при толщине слоя 0,03 м охлаждение горячей смеси при распределении её по снованию происходит более интенсивно, что объясняется незначительным количеством тепла в единице поверхности покрытия и малой толщиной слоя. Стоит отметить, что наиболее интенсивно отдача тепла происходит после укладки смеси в пределах 5 – 10 мин. С увеличением толщины слоя покрытия происходит увеличения количества тепла в единице объёма материала, тепловые процессы протекают более плавно, их продолжительность может достигать 10 – 20 мин.

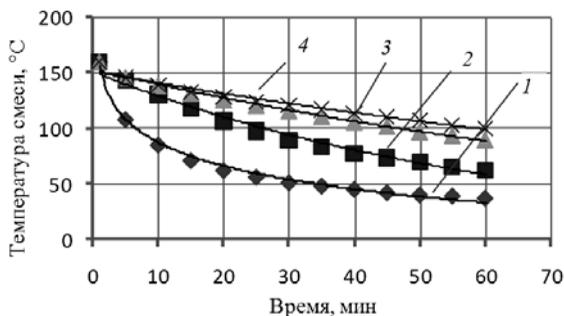


Рис. 2.11. Распределение температуры смеси в зависимости от толщины слоя покрытия:

1 – толщина слоя 0,03 м; 2 – 0,05 м; 3 – 0,8 м; 4 – 0,1 м

2.6. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси во времени в зависимости от толщины укладываемого слоя

Время, мин	0	5	10	20	30	40	50	60
Толщина 0,03 м	160	108	85	62	51	45	40	37
Толщина 0,05 м	160	144	131	107	90	78	70	63
Толщина 0,08 м	160	146	139	126	116	106	97	90
Толщина 0,10 м	160	146	139	129	121	113	107	100

Значения изменения температуры горячей асфальтобетонной смеси с учётом времени при разной толщине слоя представлены в табл. 2.6.

Для установления общей закономерности влияния толщины укладываемого слоя горячей смеси на изменение её температуры во времени представим данные табл. 2.6 в относительных величинах. Для этого обозначим величину изменения температуры смеси в зависимости от толщины слоя покрытия через коэффициент влияния толщины слоя (K_h), принимая значение температуры смеси при толщине слоя укладки 0,05 м за единицу, см. табл. 2.7. Для выявления аналитической зависимости построим график изменения величины K_h в зависимости от толщины укладываемого слоя покрытия, см. рис. 2.12.

Численное значение коэффициента K_h определяется выражением:

$$K_h = -195h^2 + 33,88h - 0,244, \quad (2.6)$$

где h – толщина слоя покрытия, м; коэффициент корреляции уравнения равен 0,99.

2.7. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси во времени в зависимости от толщины укладываемого слоя (в относительных единицах)

Время, мин	0	5	10	20	30	40	50	60
Толщина 0,03 м	1,00	0,75	0,65	0,58	0,57	0,57	0,57	0,58
Толщина 0,05 м	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Толщина 0,08 м	1,00	1,01	1,06	1,18	1,29	1,36	1,38	1,42
Толщина 0,10 м	1,00	1,01	1,06	1,21	1,34	1,45	1,53	1,59

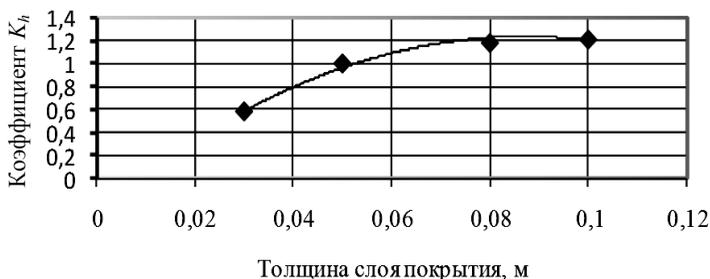


Рис. 2.12. График изменения коэффициента K_h в зависимости от толщины укладываемого слоя покрытия

В общем виде температура горячей асфальтобетонной смеси с учётом времени начала производства работы может быть определена выражением:

$$t_{cm} = 160 K_{TC} K_B K_V K_h K_{CM} e^{-0,019\tau}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.7)$$

Подставляя численные значения коэффициентов выражения (2.7) в (2.8), получим зависимость для определения температуры горячей асфальтобетонной смеси в виде:

$$t_{cm} = 42,266 K_h e^{0,0018t_B + 0,0068t_{cm} - 0,025v - 0,019\tau}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (2.8)$$

2.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПО ШИРИНЕ ПОЛОСЫ ПОКРЫТИЯ

Принято считать, что температура горячей смеси после её укладки на основание дорожной одежды распределяется равномерно по ширине полосы покрытия. Однако результаты исследований показали [2], что распределение как плотности, так и температуры по ширине полосы покрытия неравномерно.

Независимо от принятой технологии укладки асфальтобетонной смеси процесс её охлаждения происходит не только в нижележащий слой дорожной одежды и окружающую среду через поверхность слоя покрытия, но и также через боковую поверхность полосы. При этом охлаждение асфальтобетона на крае полосы покрытия происходит более интенсивно, чем в середине.

В зависимости от условий производства работ разница в значениях температуры горячей смеси в смежных полосах покрытия может достигать значительных величин. Это приводит к низкому коэффициенту уплотнения в зоне стыка полос покрытия, снижению прочности асфальтобетона, повышенному водонасыщению и преждевременному разрушению дорожного покрытия в процессе эксплуатации автомобильной дороги.

Для определения температуры смеси по ширине полосы покрытия разработана программа, позволяющая рассчитать температуру горячей смеси по ширине уложенной полосы с учётом условий производства работ [6]. Результаты расчёта распределения температуры смеси по ширине полосы покрытия в зависимости от времени приведены на рис. 2.13.

Из представленных на рис. 2.13 зависимостей видно, что с течением времени разница в температуре в середине полосы укладки и её краем возрастает. Для более наглядного представления распределения температуры смеси при укладке по ширине полосы покрытия зависимости рис. 2.13 представлены в относительных величинах на рис. 2.14.

Установлено, что разница в температурах смеси по середине и краю полосы зависит от времени и не зависит от температуры горячей смеси при укладке. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси по краю ширины полосы покрытия учитывается коэффициентом $K_{ш}$, см. рис. 2.14.

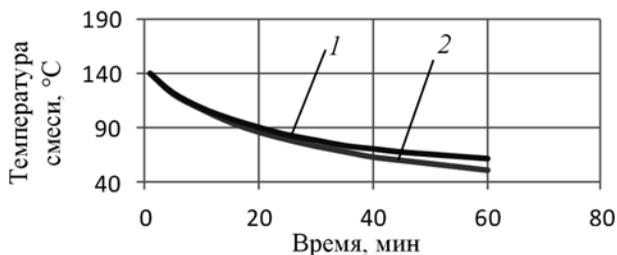


Рис. 2.13. Зависимость изменения температуры горячей асфальтобетонной смеси по ширине полосы покрытия от времени:

1 – температура смеси в средней части полосы; 2 – температура смеси на крае полосы покрытия (температура смеси – 140 °C; толщина слоя покрытия – 0,05 м, скорость ветра – 0 м/с)

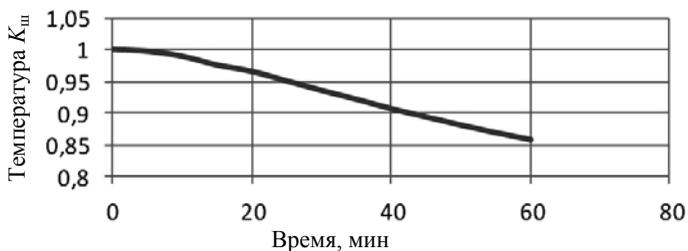


Рис. 2.14 . Зависимость коэффициента $K_{ш}$, учитывающего изменение температуры горячей смеси на крае полосы покрытия, от времени

Численное значение коэффициента $K_{ш}$ определяется выражением:

$$K_{ш} = e^{-0,003\tau}, \quad (2.9)$$

где τ – время замера температуры смеси на крае полосы покрытия, мин; коэффициент корреляции 0,99.

2.4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПО ШИРИНЕ ПОЛОСЫ ПОКРЫТИЯ

С целью уточнения расчётных данных, приведённых в п. 2.3, были проведены исследования распределения температуры горячей асфальтобетонной смеси по ширине полосы покрытия в производственных условиях.

На рисунках 2.15 – 2.17 представлены результаты измерения температуры при укладке верхнего слоя покрытия на автомобильной дороге «Тамбов – Пенза». Измерения распределения температуры смеси производились с помощью тепловизионной камеры testo 880.



Рис. 2.15. Съёмка тепловизионной камерой распределения температуры при устройстве асфальтобетонного покрытия

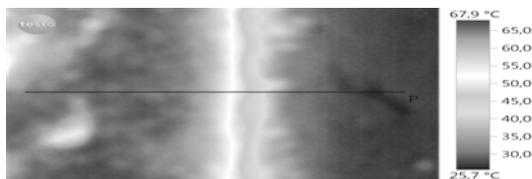


Рис. 2.16. Распределение температуры асфальтобетонной смеси по ширине полосы покрытия

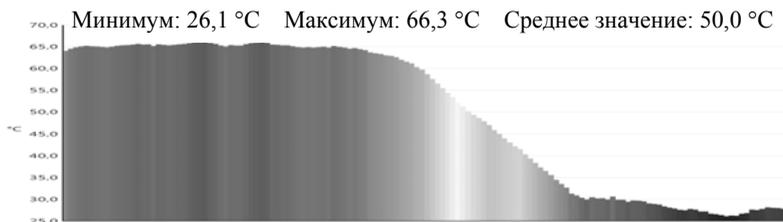


Рис. 2.17. Графический анализ результатов тепловизионной съёмки

Результаты измерения распределения температуры подтверждают данные, полученные при моделировании распределения температуры асфальтобетонной смеси по ширине полосы покрытия, см. п. 2.3 [2, 6, 7].

Анализ полученных результатов доказывает, что край полосы покрытия охлаждается более интенсивно, причём зона интенсивного охлаждения полосы достигает 10...12 см. Зона с критической температурой смеси, при которой процесс уплотнения неэффективен, достигает 5...7 см.

В ходе эксплуатации автомобильной дороги именно участок стыка сопряжённых полос разрушается в первую очередь. При интенсивном воздействии нагрузок от транспортных средств процесс разрушения покрытия ускоряется.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что понижение температуры горячей асфальтобетонной смеси при укладке в зоне стыка сопряжённых полос покрытия способствует образованию трещин, которые приводят к дальнейшему разрушению дорожного покрытия.

Контрольные вопросы к главе 2

1. Какие существуют технологии устройства многополосных асфальтобетонных покрытий при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог?
2. Объясните характер происходящих тепловых процессов при укладке горячих асфальтобетонных смесей в дорожное покрытие.

3. Каким образом происходит изменение температуры асфальтобетонной смеси по ширине дорожного покрытия?

4. От каких факторов зависит продолжительность работ по укладке и уплотнению горячих асфальтобетонных смесей?

Основная литература

1. **Васильев, А. П.** Справочная энциклопедия дорожника. Т. I : Строительство и реконструкция автомобильных дорог / А. П. Васильев и др. ; под ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – М. : Информавтор, 2004. – 505 с.

2. **Зубков, А. Ф.** Технология строительства многополосных дорожных покрытий нежесткого типа / А. Ф. Зубков, В. Г. Однолько, Р. В. Куприянов. – М. : Издательский дом «Спектр», 2015. – 232 с.

3. **Горельшев, Н. Г.** Технология и организация строительства автомобильных дорог / под редакцией д-ра техн. наук, проф. Н. Г. Горельшева. – М. : Интеграл, 2013. – 551 с.

Дополнительная литература

4. **Строительство** автомобильных дорог. Дорожные покрытия : учебник / В. П. Подольский, П. И. Поспелов, А. В. Глагольев, А. В. Смирнов ; под ред. В. П. Подольского. – М. : ИЦ «Академия», 2015. – 304 с.

5. **Цупиков, С. Г.** Технология и организация строительства дорожных одежд : учебное пособие / С. Г. Цупиков, В. М. Дудин, И. С. Тюремнов. – Ярославль : Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 2009. – 178 с.

6. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613129. Моделирование и расчёт температурных режимов дорожных одежд нежесткого типа в нестационарных условиях / А. Ф. Зубков. – Москва, 5 сентября, 2006.

7. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007610903. Моделирование процесса строительства покрытий и выбор параметров машин для укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков, Вл. П. Подольский, В. П. Берестов. – М., 2007.

8. **ТР 103-00.** Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций с применением асфальтобетона / ГУП НИИ Мосстрой. – М., 2000. – 43 с.

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

3. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НЕЖЁСТКОГО ТИПА ОДНИМ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ С УВЕЛИЧЕННОЙ ШИРИНОЙ ПОЛОСЫ ПОКРЫТИЯ

При строительстве новых, ремонте и реконструкции существующих автомобильных дорог в зависимости от условий производства работ и производительности асфальтобетонных заводов укладка горячей асфальтобетонной смеси при ширине полосы покрытия от 1,0 до 12,0 м может выполняться одним асфальтоукладчиком, см. рис. 3.1 [1].

Установлено, что требуемые показатели качества уплотнения (плотность, водонепроницаемость, коэффициент уплотнения) могут быть получены при определённых температурах, зависящих от применяемого материала вяжущего.

Под действием нагрузки от рабочего органа машины частицы смеси сжимаются и вытесняют битум в зонах контакта. При снятии нагрузки плёнка вяжущего восстанавливает первоначальную толщину, что приводит к уменьшению получаемой плотности смеси. Вести процесс уплотнения катками при высокой температуре горячей асфальтобетонной смеси практически неэффективно из-за её недостаточной несущей способности. Применение катков с малыми линейными давлениями является нерациональным ввиду незначительного времени их использования.

Наиболее эффективным является уплотнение горячих асфальтобетонных смесей на стадии укладки асфальтоукладчиками за счёт применения трамбуемого бруса и выглаживающей плиты. Современные конструкции асфальтоукладчиков обеспечивают величину коэффициента уплотнения 0,92...0,96 [2, 3]. Достижение требуемых характеристик асфальтобетонного покрытия (плотность, коэффициент уп-



Рис. 3.1. Технологический процесс строительства покрытия нежесткого типа одним асфальтоукладчиком

лотнения, водонепроницаемость) зависит не только от температуры смеси и величины контактных напряжений в зоне уплотнения, но и от времени действия нагрузки, что, в свою очередь, зависит от скорости перемещения рабочих органов машины [2].

Продолжительность строительства покрытия определяется темпом охлаждения горячей смеси и зависит от толщины укладываемого слоя, теплофизических свойств смеси и её температуры при укладке, погоднo-климатических условий и применяемого звена машин.

Минимальная толщина дорожной одежды из горячих асфальтобетонных смесей регламентирована нормативным документом [2] и в зависимости от принятой конструкции дорожной одежды может устраиваться в один, два или три слоя. Данное обстоятельство будет влиять на продолжительность работ по её устройству.

3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ОДНОЙ ПОЛОСОЙ

Устройство дорожного покрытия нежёсткого типа начинается с укладки горячей смеси на заранее подготовленное основание дороги и ведётся непрерывно комплектом машин, обеспечивающих распределение и уплотнение горячей асфальтобетонной смеси.

Эффективность работы механизированного звена машин определяется производительностью ведущей машины, в качестве которой принимается асфальтоукладчик. В процессе работы асфальтоукладчик обеспечивает не только укладку горячей смеси с заданным темпом строительства, но и осуществляет её предварительное уплотнение, а также обеспечивает фронт работ звену уплотняющих машин в заданном температурном интервале.

Согласно [2 – 4] для обеспечения требуемого качества устройства покрытия длина укладываемой полосы должна быть более 10...15 м, т.е. должно соблюдаться условие:

$$S_y \geq [S], \text{ м}, \quad (3.1)$$

где $[S]$ – рекомендуемая предельно минимальная длина участка уплотнения, м; S_y – длина полосы, укладываемая асфальтоукладчиком с учётом температурного интервала горячей смеси, м.

Длина укладываемой полосы смеси для работы первого и последующих катков с учётом обеспечения температурных режимов устанавливается исходя из рабочей скорости асфальтоукладчика и времени охлаждения смеси в заданных температурных границах.

3.1. Влияние температуры воздуха на длину укладываемой полосы покрытия в зависимости от количества асфальтоукладчиков

Температура воздуха, °С	Длина укладываемой полосы, м, при количестве асфальтоукладчиков		
	одного		двух
	на защищённых от ветра участках	на открытых участках	
5 ...10	30...40	25...30	60...70
10...15	40...60	30...50	70...80
15...20	60...80	50...70	80...100
20...25	80...100	70...80	100...150
Свыше 25	100...150	80...100	150...200

Соответственно, значение величины S_y можно определить из следующего выражения:

$$S_y = V_{a/y} \cdot \tau_{ук}, \text{ м}, \quad (3.2)$$

где $V_{a/y}$ – рабочая скорость асфальтоукладчика, м/мин; $\tau_{ук}$ – время укладки, зависящее от разницы температур смеси при укладке и началом уплотнения катками, мин.

Скорость укладки горячей смеси асфальтоукладчиком определяется условиями производства работ и находится в пределах 0,8...21,64 м/мин [1]. С учётом непрерывности строительства покрытия и обеспечением необходимого температурного режима смеси необходимо, чтобы для всех уплотняющих машин длина укладываемой полосы была равна длине захватки. Для обеспечения надёжного сопряжения смежных полос длина захватки определяется температурой воздуха и толщиной слоя (табл. 3.1) [1, 3].

Однако длина захватки при укладке асфальтобетонной смеси также зависит от темпа охлаждения смеси и определяется её теплофизическими свойствами, параметрами покрытия и условиями производства работ [5]. Установив зависимость времени укладки смеси с учётом рекомендуемых температурных интервалов, возможно определять длину полосы укладки при заданной скорости асфальтоукладчика или же при заданной длине захватки – скорость укладки смеси.

Режим работы асфальтоукладчика (скорость движения, параметры работы вибрационной плиты и трамбующего бруса) влияет на степень предварительного уплотнения смеси и на выбор механизирован-

ного звена машин [2, 6 – 10]. Так, при малой скорости укладки смеси (1 м/мин) и оптимальных параметрах вибрационной плиты коэффициент уплотнения (K_y) для смесей типа А может достигнуть единицы, что соответствует нормативной плотности слоя после окончания работы уплотняющих машин, с увеличением скорости укладки значение коэффициента K_y снижается независимо от типа смеси и для достижения требуемого уплотнения необходимо применять катки, причём для смесей типа Б значение коэффициента предварительного уплотнения имеет меньшее значение и составляет 0,92. Учитывая вышесказанное, при укладке асфальтобетонных смесей со скоростью выше 1 м/мин для достижения требуемого уплотнения необходимо применять звено катков.

Нормативными документами [2, 4] дальность транспортировки асфальтобетонных смесей не регламентирована и пригодность смеси к укладке осуществляется в виде контроля за температурой при её доставке к месту производства работ. В зависимости от марки битума в табл. 3.2 представлены температурные границы укладки горячих асфальтобетонных смесей.

Экспериментально установлено [1, 3], что увеличение температуры смеси при укладке от 130 до 150 °С способствует повышению коэффициента K_y и уменьшению водонасыщения. Дальнейшее повышение температуры не оказывает существенного влияния на качество предварительного уплотнения. Анализ рекомендуемых температур смесей показывает, что укладка зависит от свойств смеси, температуры воздуха, типа смеси и марки битума. По результатам моделирования тепловых процессов в слое покрытия [5] определена продолжительность охлаждения горячей смеси в нём в зависимости от температуры укладки и толщины слоя (табл. 3.3). Из данных табл. 3.3 видно, что

3.2. Минимально допустимая температура смеси при укладке в зависимости от толщины слоя, марки битума и температуры окружающего воздуха

Толщина слоя, м	Марка битума	Температура воздуха, °С							
		-10	-5	0	5	10	15	20	30
До 0,05	БНД 40/60, 60/90, 90/130	–	–	14	14	13	13	12	11
				51	01	51	01	51	51
				55	50	45	40	35	20
0,05...0,10	БНД 40/60, 60/90, 90/130	–	–	13	13	12	12	11	10
				51	01	51	01	51	51
				40	35	30	25	20	10

Верхнее значение при скорости ветра 6 м/с, нижнее – 6...13 м/с.

3.3. Продолжительность охлаждения горячей смеси для марок битума БНД 40/60, 60/90, 90/130 в зависимости от толщины слоя (температура воздуха 20 °С, скорость ветра 0 м/с)

Толщина слоя, м		0,03	0,05	0,08	0,10
Температура смеси, °С.	160	9,5	24,5	58,0	78,5
	150	8,0	21,0	50,0	68,0
	140	6,5	18,0	42,0	56,5
	130	5,5	14,0	34,0	44,0
	120	4,0	10,0	24,5	30,5
	110	2,5	5,0	14,0	16,0
	100	0	0	0	0

чем больше толщина слоя и температура смеси при начале укладки, тем больше времени приходится на её уплотнение.

Для уточнения влияния температуры смеси и толщины слоя покрытия на процесс её охлаждения представим данные табл. 3.3 в относительных величинах. За единицу примем время охлаждения смеси при максимально допустимой температуре и разной толщине слоя при укладке. Принятую величину обозначим коэффициентом влияния температуры смеси при укладке ($K_{тс}$), представляющим собой отношение времени охлаждения слоя при различной температуре смеси в зависимости от времени его охлаждения при максимально допустимой температуре.

3.4. Изменение величины коэффициента $K_{тс}$ в зависимости от температуры смеси при разной толщине укладываемого слоя для асфальтобетонных смесей на битумах марок БНД 40/60, 60/90, 90/130 (в относительных единицах)

Толщина слоя, м		0,03	0,05	0,08	0,10	$\sum n/n$	Погрешность, %
Температура смеси, °С	160	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	–
	150	0,84	0,85	0,86	0,86	0,85	1,1
	140	0,7	0,73	0,72	0,72	0,71	2,7
	130	0,58	0,57	0,58	0,56	0,57	1,7
	120	0,40	0,41	0,42	0,39	0,4	4,7
	110	0,24	0,2	0,24	0,2	0,22	9,1
	100	0	0	0	0	0	–

Из данных табл. 3.4 видно, что величина коэффициента $K_{тс}$ зависит от температуры смеси при укладке и практически не зависит от толщины укладываемого слоя.

Численное значение коэффициента $K_{тс}$ определяется выражением:

$$K_{тс} = 0,015t_{см} - 1,45, \quad (3.3)$$

где $t_{см}$ – температура горячей смеси при укладке, °С. Коэффициент корреляции равен 0,99.

С увеличением толщины слоя покрытия время охлаждения смеси возрастает более интенсивно независимо от температуры окружающего воздуха. Соответственно, при строительстве покрытий нежесткого типа более эффективным будет увеличить толщину слоя покрытия в отличие от нагрева асфальтобетонной смеси, данное обстоятельство позволит увеличить продолжительности производства работ.

Производство работ по устройству покрытий нежесткого типа допускается выполнять при температуре окружающего воздуха +5 °С [1]. Для уточнения влияния температуры воздуха на процесс охлаждения смеси смоделированы тепловые процессы в слое покрытия при температуре асфальтобетонной смеси при укладке, равной 160 °С, и скорости ветра 0 м/с. Установлено, что независимо от толщины слоя покрытия влияние температуры воздуха на процесс охлаждения смеси ($K_{в}$) подчиняется экспоненциальной зависимости. Принимая время охлаждения горячей смеси в заданных температурных интервалах при температуре воздуха +20 °С за единицу, установлена общая зависимость изменения коэффициента влияния температуры воздуха $K_{в}$ на процесс охлаждения смеси от температуры окружающего воздуха, см. рис. 3.2.

Численное значение коэффициента $K_{в}$ не зависит от толщины слоя покрытия и может быть определено из выражения:

$$K_{в} = 0,87 e^{0,0073t_{в}}, \text{ мин}, \quad (3.4)$$

где $K_{в}$ – коэффициент влияния температуры воздуха на время охлаждения смеси, безразмерная величина; $t_{в}$ – температура воздуха, °С. Коэффициент корреляции равен 0,99.

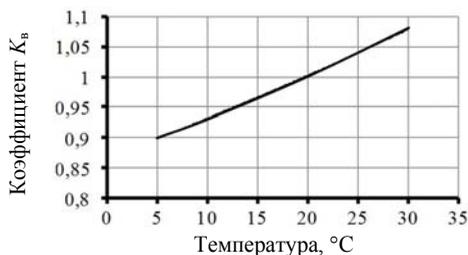


Рис. 3.2. График зависимости коэффициента $K_{в}$ от температуры окружающего воздуха

3.5. Продолжительность процесса укладки асфальтобетонной смеси в зависимости от толщины слоя и скорости ветра

Толщина слоя, м	Скорость ветра, м/с					
	0	3	5	7	10	15
0,03	6,0	5,1	4,8	4,0	3,6	3,0
0,05	15	12,8	11,3	10,0	9,0	8,0
0,08	35	30,5	28,0	24,0	22,0	18,0
0,10	54	47,5	42,0	37,0	35,0	28,0

Продолжительность охлаждения горячей асфальтобетонной смеси, а следовательно, и время её укладки зависит от скорости ветра, так как перемещение воздушных масс способствует отводу тепла в окружающую среду. В табл. 3.5 представлены данные зависимости времени охлаждения смеси от толщины укладываемого слоя и скорости ветра при температуре смеси при укладке, равной 160 °С, и температуре окружающего воздуха 20 °С [5].

Следует отметить, что с увеличением скорости ветра при укладке слоя толщиной 0,03 м время охлаждения смеси находится в пределах от 3 до 6 мин, что недостаточно для обеспечения фронта работ для уплотняющих машин.

Для установления влияния скорости ветра на время укладки смеси представим данные табл. 3.5 в относительных величинах, принимая время укладки каждого слоя при скорости ветра, равной нулю, за единицу, см. табл. 3.6. Принятую величину обозначим коэффициентом влияния скорости ветра на время охлаждения горячей асфальтобетонной смеси. Полученная зависимость коэффициента ветра K_v от скорости ветра приведена на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Зависимость коэффициента K_v от скорости ветра

3.6. Продолжительность процесса охлаждения смеси в зависимости от температуры смеси при укладке и толщины слоя

Температура смеси, °С		150	140	130	120	110	100
Толщина слоя, м	0,03	1,5	2,5	4,5	5,5	7,5	9,5
	0,05	3,5	7,0	10,5	15,0	19,0	24,5
	0,08	9,5	17,5	25,0	35,0	46,0	58,0
	0,10	10,5	21,0	33,0	46,0	61,0	78,0

Численное значение коэффициента K_v определяется выражением:

$$K_v = 0,99e^{-0,0466V}, \quad (3.5)$$

где V – скорость ветра, м/с; K_v – коэффициент влияния скорости ветра на время укладки слоя смеси, безразмерная величина. Коэффициент корреляции равен 0,99.

Дальность транспортировки асфальтобетонной смеси не регламентирована, см. табл. 3.6.

Представим данные табл. 3.6 в относительных величинах, принимая условно за единицу время окончания процесса укладки для смеси при температуре, равной 100 °С. Обозначим принятую величину за коэффициент, учитывающий нижнюю температурную границу укладки смеси (K_{oy}), см. табл. 3.7.

Из данных табл. 3.7 видно, что численное значение коэффициента K_{oy} не зависит от толщины укладываемого слоя и определяется выражением:

$$K_{oy} = -3,52\ln(K_{oy}) + 17,86, \quad (3.6)$$

где \ln – натуральный логарифм; K_{oy} – температура окончания укладки смеси, °С. Коэффициент корреляции 0,99.

3.7. Зависимость величины коэффициента K_{oy} в зависимости от температуры смеси и толщины укладываемого слоя (в относительных значениях)

Температура смеси, °С		150	140	130	120	110	100
Толщина слоя, м	0,03	0,27	0,47	0,81	1	1,36	1,72
	0,05	0,23	0,46	0,7	1	1,26	1,63
	0,08	0,27	0,5	0,71	1	1,31	1,65
	0,10	0,22	0,45	0,71	1	1,32	1,69
$\Sigma n/n$		0,24	0,47	0,71	1	1,31	1,67

Известно, что температура основания уложенного ранее слоя влияет на продолжительность работ по укладке горячей смеси. По результатам моделирования [5] установлена закономерность влияния температуры основания на продолжительность работ, которая зависит от разницы между температурами основания и окружающего воздуха:

$$K_{\text{осн}} = 0,987e^{0,013\Delta t}, \quad (3.7)$$

где Δt – разность между температурами основания и окружающего воздуха, °С; $K_{\text{осн}}$ – коэффициент влияния температуры основания. Коэффициент корреляции равен 0,97.

С учётом рассмотренных выше факторов время укладки слоя горячей асфальтобетонной смеси в дорожное покрытие имеет следующий вид:

$$\tau_{\text{ук}} = K_h K_{\text{тс}} K_v K_{\text{оу}} K_{\text{осн}} e^{\alpha t_b}, \text{ мин}, \quad (3.8)$$

где K_h – коэффициент, зависящий от толщины укладываемого слоя покрытия; t_b – температура окружающего воздуха, °С; α – коэффициент, зависящий от температуры воздуха; $K_{\text{тс}}$ – коэффициент, зависящий от температуры смеси при укладке; K_v – коэффициент, зависящий от скорости ветра, м/с; $K_{\text{оу}}$ – коэффициент, учитывающий температуру окончания укладки смеси; $K_{\text{осн}}$ – коэффициент, учитывающий температуру основания.

В таблице 3.8 представлены результаты сравнения экспериментальных данных с расчётными для смесей типа А при толщине слоя 0,05 м на битуме марки БНД 90/130 в зависимости от температуры смеси при укладке, температуры основания и скорости ветра.

3.8. Сравнение экспериментальных данных с расчётными для смесей типа А при толщине слоя 0,05 м на битуме марки БНД 90/130 в зависимости от температуры смеси при укладке, температуры основания и скорости ветра

№ п/п	Температура смеси укладки, °С	Температура воздуха, °С	Температура основания, °С	Скорость ветра, м/с	Продолжительность укладки, мин		Погрешность, %
					эксперимент	расчёт	
1	130	29	40	3–4	7,0	6,5	7,1
2	140	18	18	3,0	7,5	7,0	7,1
3	150	30	42	–	15	15,2	1,3
4	160	16	16	–	16	14,3	4,6
5	160	42	45	–	20	19,5	2,5

3.9. Сравнение экспериментальных данных с расчётными величины длины полосы укладки асфальтобетонной смеси в зависимости от её температуры при укладке, температуры основания и скорости ветра

Температура воздуха, °С	Длина полосы по рекомендации, м	По результатам исследования			
		Температура смеси при укладке, °С	Температура основания, °С	Скорость ветра, м/с	Длина полосы укладки, м
16	47,9	160	16	3–4	42,9
18	53,7	140	18	3,0	21,0
29	101,7	130	40	–	19,5
30	107,8	150	42	–	45,6
42	216,2	160	45	–	58,5

В таблице 3.9 приведены сравнительные данные длины полосы укладки смеси в зависимости от её температуры при укладке, температуры основания и скорости ветра с учётом существующих рекомендаций и результатов, полученных в [5] (рабочая скорость асфальтоукладчика 3 м/мин).

Из представленных в табл. 3.9 данных видно, что условия производства работ в значительной степени влияют на длину укладки полосы покрытия с учётом обеспечения температурных режимов горячей асфальтобетонной смеси и процесса её уплотнения.

3.2. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПОКРЫТИЯ ОТДЕЛЬНЫМИ ПОЛОСАМИ

В случае производства ремонтных работ дорожных одежд при небольших объёмах работ, а также при недостаточной мощности асфальтобетонного завода укладку горячей смеси в пределах захватки выполняют одним асфальтоукладчиком (рис. 3.4). В этом случае за захватку принимают длину укладываемой полосы, равной сменной производительности асфальтоукладчика.

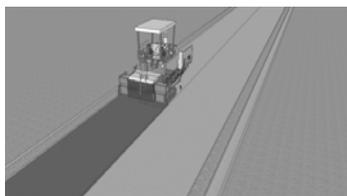


Рис. 3.4. Укладка асфальтобетонной смеси отдельными полосами покрытия одним асфальтоукладчиком

Сопряжённая полоса устраивается через сравнительно продолжительное время, в пределах которого температура уложенной смеси первой полосы снижается и к моменту укладки сопряжённой полосы равняется температуре воздуха или несколько выше. Ширина укладываемой полосы асфальтобетонной смеси принимается равной ширине полосы движения транспортных средств. При такой технологии устройства покрытия не требуется устройство временных дорог. К недостаткам данного метода следует отнести образование при устройстве покрытия продольного шва на стыке сопряжённых полос. Устранить отмеченный недостаток можно за счёт обеспечения температурных режимов на стыке сопряжённых полос покрытия.

Нормативными документами [2, 4] предусматривается перед укладкой сопряжённой полосы прогревать край ранее уложенной, но неуплотненной полосы, на ширину 0,1...0,15 м до температуры 70...80 °С. Современные конструкции разогревателей позволяют разогревать асфальтобетон слоем 30...40 мм за 2–3 мин до температуры 80...100 °С. До начала укладки новой полосы вертикальный край ранее уложенного асфальтобетона смазывается битумной эмульсией. Перед укладкой сопряжённой полосы асфальторазогреватель перемещают со скоростью, обеспечивающей нагрев асфальтобетона до температуры 70...80 °С по краю ранее уложенной полосы асфальтобетона на ширину 0,1...0,15 м. Сопряжённая полоса соприкасается с разогретым краем ранее уложенной полосы, стык которых уплотняется одновременно. В некоторых случаях при небольших объёмах работ для нагрева края ранее уложенной полосы применяют нагрев за счёт температуры сопряжённого слоя. В этом случае при укладке параллельной полосы накладывают слой горячей смеси на край первой полосы. За счёт передачи теплового потока от сопряжённого слоя край полосы нагревается до определённой температуры, величина которой зависит от условий производства работ и применяемых смесей. Следует заметить, что применение такой технологии научно не обосновано, так как отсутствуют рекомендации по её применению, а также не установлено влияние различных факторов на процесс нагрева ранее уложенного слоя покрытия.

Для обеспечения требуемой плотности асфальтобетона по ширине многополосного покрытия необходимо обеспечить температурные режимы горячей асфальтобетонной смеси в зоне стыка сопряжения полос при укладке. Нарушение этого условия способствует образованию дефектов в виде трещин, выкрашивания, образования выбоин.

3.3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ СТЫКА СОПРЯЖЁННЫХ ПОЛОС ПОКРЫТИЯ

Как уже отмечалось ранее, при устройстве стыка многополосного покрытия технологией производства работ допускается осуществлять нагрев края ранее уложенной полосы смеси покрытия.

Были проведены экспериментальные исследования [5], при которых изучался процесс передачи тепла от одной вырубке асфальтобетона к другой. Нагрев асфальтобетонного образца осуществлялся в сушильном шкафу до температуры 120 °С в течение 4 часов, температура холодного образца и воздуха составляли 13 °С. Измерение температуры и динамика процесса нагрева и охлаждения образцов производился термометрами и тепловизионной камерой testo 880.

Результаты измерения температуры на стыке полос в виде теплового изображения и динамика «нагрева – охлаждения» стыка краёв сопрягаемых полос асфальтобетонного покрытия во времени представлены на рис. 3.5.

Из представленных на рис. 3.5 данных видно, что для нагрева холодного стыка полосы требуется время, зависящее от величины теплового потока и теплофизических характеристик материала. Результаты измерения температуры в зоне стыка полос представлены в табл. 3.10.

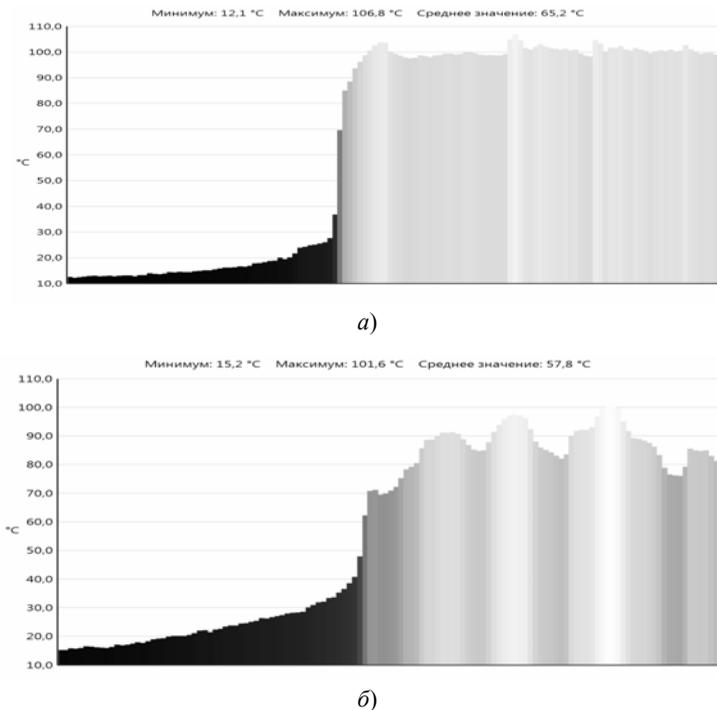
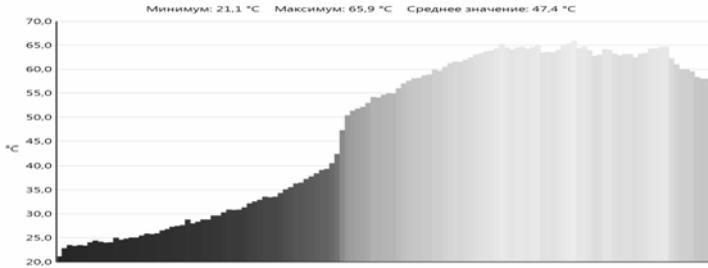
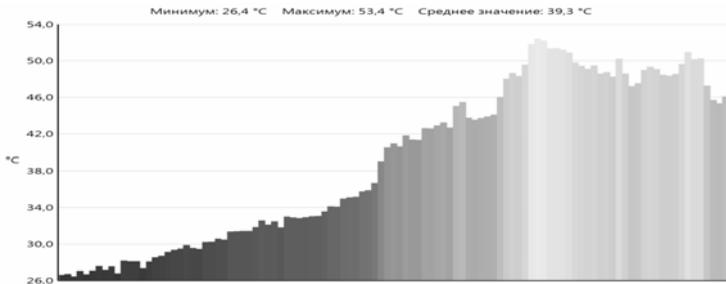


Рис. 3.5. Динамика нагрева–охлаждения стыка края сопрягаемых полос асфальтобетонного покрытия во времени после совмещения образцов:

а – 5 мин; *б* – 10 мин; *в* – 25 мин; *г* – 35 мин



б)



в)

Рис. 3.5. Продолжение

3.10. Результаты измерения температуры в зоне стыка сопряжённых полос покрытия

Время, ч.мин	Температура на крае уложенной полосы, °C	Температура в центре, °C	Температура на стыке холодной полосы, °C	Температура на стыке горячей полосы, °C	Температура в центре горячей полосы, °C	Температура на крае горячей полосы, °C
13.11	12	12,3	33	80	105	97
13.12	12,6	14,7	46	77	102	85
13.16	14,5	18	45	64	92	70
13.18	16	23,5	56	58	85	63
13.22	18	25	45	52	71	55
13.26	20	28	42	45	67	49
13.33	23	29	40	49	61	45
13.38	25	30	36	40	55	41
13.44	25	31	35	36	50	35

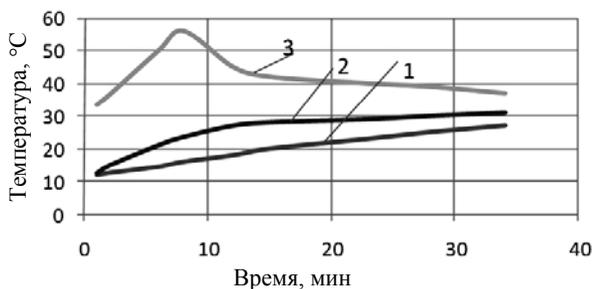


Рис. 3.6. Изменение температуры в зоне сопряженных слоев покрытия:

- 1 – край полосы контакта с воздухом; 2 – по оси вырубки;
3 – в зоне контакта с горячим слоем вырубки

Установлено, что имеется различие в характере изменения температуры в зоне стыка холодного и горячего асфальтобетонных слоев покрытия. На рис. 3.6 представлены результаты измерения температуры в зоне стыка сопряженных асфальтобетонных слоев покрытия.

Из представленных на рис. 3.6 данных видно, что в зоне стыка холодного асфальтобетона наблюдается повышение температуры до максимальной величины, зависящей от энергии теплового потока. При достижении максимальной температуры в дальнейшем происходит охлаждение слоя. Продолжительность нагрева, как и достижение максимальной температуры нагрева, зависит от теплофизических характеристик асфальтобетона и находится в пределах от 0,1 до 0,15 ч. Характер нагрева слоя говорит о протекании в зоне стыка асфальтобетона сложных тепловых процессов, характерных для нестационарных тепловых процессов. В зоне стыка горячего асфальтобетона с холодным процесс охлаждения подчиняется общим законам теплопередачи тепла и характеризуется экспоненциальной зависимостью (рис. 3.7).

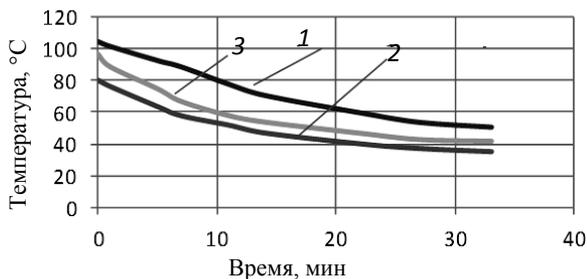


Рис. 3.7. Изменение температуры асфальтобетона в слое горячей вырубке во времени:

- 1 – край полосы контакта с воздухом; 2 – по оси вырубки;
3 – в зоне контакта горячего слоя вырубки

Из представленных на рис. 3.7 данных видно, что температура асфальтобетонного покрытия по ширине полосы распределяется неравномерно. Наиболее низкая температура после укладки соответствует зоне стыка полос. Соответственно, обеспечить нагрев края ранее уложенной полосы покрытия за счёт температуры асфальтобетонной смеси сопряжённой полосы практически невозможно.

3.4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УКЛАДКИ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПО ШИРИНЕ ПОЛОСЫ ПОКРЫТИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Ранее экспериментальными исследованиями установлено, что при распределении и предварительном уплотнении горячей асфальтобетонной смеси независимо от ширины полосы покрытия в поперечном профиле имеются участки, на которых коэффициент предварительного уплотнения горячей смеси ниже, чем в средней части покрытия. Неравномерность в распределении коэффициента предварительного уплотнения при устройстве полос шириной 3,5 и 7,5 м наблюдается как при работе асфальтоукладчиков иностранного производства, так и отечественных [1].

Понижение величины коэффициента уплотнения наблюдается на крае укладываемой полосы. Данное явление можно объяснить неравномерностью распределения параметров вибрации по длине вибрационного бруса или нарушением обеспечения температурных режимов укладки горячей смеси по ширине покрытия полосы.

С целью уточнения распределения температуры по ширине полосы покрытия были проведены исследования в производственных условиях (рис. 3.8). Измерения температуры в разных точках по ширине полосы покрытия осуществлялось термометрами и тепловизором testo 880. Тепловизионная съёмка производилась при различной температуре воздуха.



Рис. 3.8. Строительство асфальтобетонного покрытия на участке автомобильной дороги «Тамбов–Воронеж»

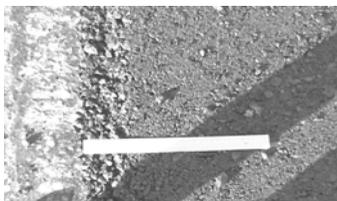


Рис. 3.9. Стык сопряжения новой полосы покрытия с ранее уложенной

Измерения температуры производились непосредственно по окончании распределения асфальтобетонной смеси и продолжались в процессе её охлаждения до момента окончания работы катков. На рис. 3.10 представлен снимок теплового изображения места стыка полос покрытия.

На рисунке 3.10 видно, что температура горячей асфальтобетонной смеси изменяет свою величину по мере приближения к остывшему краю асфальтобетона, что характерно при устройстве многополосных дорожных покрытий нежёсткого типа. Наиболее резкое понижение температуры наблюдается в зоне стыка полос покрытия непосредственно сразу после укладки горячей смеси. Характер изменения температуры горячей асфальтобетонной смеси в зависимости от времени её охлаждения представлен на рис. 3.10, 3.11.



Рис. 3.10. Тепловое изображение участка покрытия после распределения асфальтобетонной смеси (температура воздуха 5 °С, температура основания 2...3 °С, начальная температура перед укладкой смеси в покрытие 165 °С, скорость ветра от 0 до 3 м/с)



Рис. 3.11. Тепловое изображение участка покрытия через 15 мин после распределения асфальтобетонной смеси

На рисунке 3.12 представлено изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси на разном расстоянии (до 0,4 м) от места стыка полос покрытия при разной продолжительности её охлаждения (температура воздуха 5 °С, температура основания 2...3 °С, начальная температура смеси 165 °С, скорость ветра 0...3 м/с).

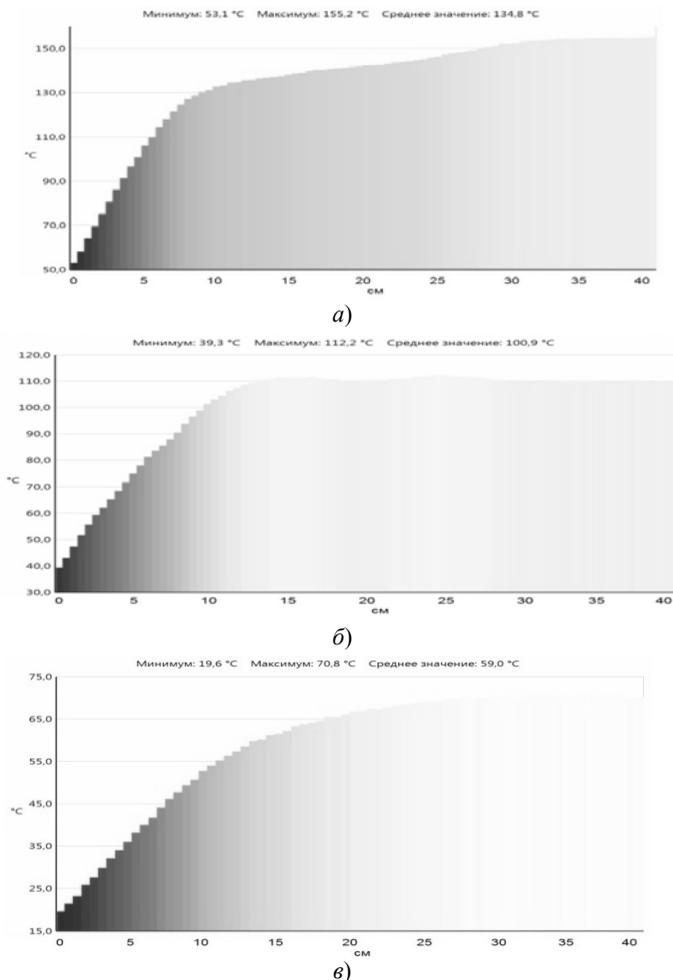


Рис. 3.12. Тепловые изображения участка автомобильной дороги в зависимости от времени распределения асфальтобетонной смеси по покрытию:

а – через 5 мин после распределения смеси; *б* – через 15 мин после распределения смеси; *в* – через 30 мин после распределения смеси

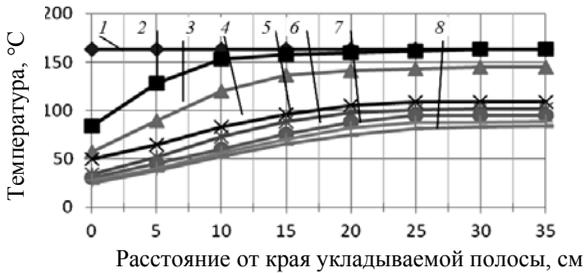


Рис. 3.13. Изменение температуры горячей асфальтобетонной смеси от времени укладки в зависимости от расстояния края укладываемой полосы покрытия:

1 – после укладки; 2 – через 5 мин; 3 – 10 мин; 4 – 15 мин; 5 – 20 мин; 6 – 25 мин; 7 – 30 мин; 8 – 35 мин

Анализ результатов распределения температуры смеси полосы покрытия на разном расстоянии от места стыка сопряжённых полос приведён на рис. 3.13.

Анализируя данные рис. 3.13, можно сделать вывод, что ширина полосы охлаждения достигает 10...12 см. Зона с пониженной температурой смеси, при которой процесс уплотнения не соответствует обеспечению температурных режимов, достигает 0,03...0,1 м в зависимости от температуры смеси при укладке сопряжённого слоя. В ходе эксплуатации данный участок в большинстве случаев разрушается, что ведёт к необходимости его ремонта после нескольких лет эксплуатации.

На рисунке 3.14 представлено распределение температуры асфальтобетона по ширине полосы покрытия во времени, полученное непосредственно при производстве работ по устройству покрытия.

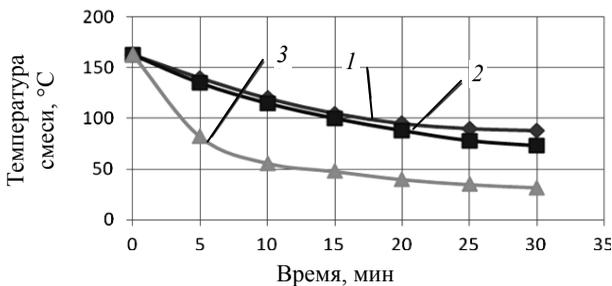


Рис. 3.14. Зависимость изменения температуры горячей асфальтобетонной смеси по ширине полосы покрытия от времени:

1 – по середине (оси) полосы; 2 – на расстоянии 0,2 м от края полосы; 3 – на стыке сопряжённых полос

Из представленных на рис. 3.14 данных видно, что в зоне контакта сопряжённых полос покрытия при раздельном способе их укладки происходит резкое понижение температуры асфальтобетонной смеси. Нагрев смеси за счёт передачи тепла от сопряжённого слоя полосы не обеспечивает достижение требуемой температуры.

Как уже отмечалось ранее, перед укладкой сопряжённой полосы покрытия необходимо производить прогрев края ранее уложенной полосы на ширину 0,1...0,15 м до температуры 70...80 °С [2, 4]. Для этой цели применяют линейку-разогреватель, которая разогревает слой асфальтобетона толщиной 30...40 мм на ширину 0,1...0,15 м за 2–3 мин до температуры 80...100 °С. До начала укладки новой полосы вертикальный край асфальтобетона ранее уложенной полосы смазывают битумной эмульсией. Вновь устраиваемая полоса соприкасается в этом случае с разогретым краем ранее уложенной полосы, который уплотняется одновременно с новой, что позволяет обеспечить необходимый температурный режим горячей смеси в зоне стыка полос.

Для уточнения влияния температуры асфальтобетонной смеси ранее уложенной полосы покрытия на в зоне стыка полос разработана программа, позволяющая определять распределение температуры в зоне стыка сопряжённых полос при разной температуре асфальтобетона края первой полосы [5]. На рис. 3.15 представлены результаты моделирования распределения температуры в зоне стыка сопряжённых полос при разных значениях температуры края ранее уложенной полосы покрытия при температуре воздуха 20 °С и толщине слоя при укладке 0,05 м (тип смеси Б, битум марки 90/130).

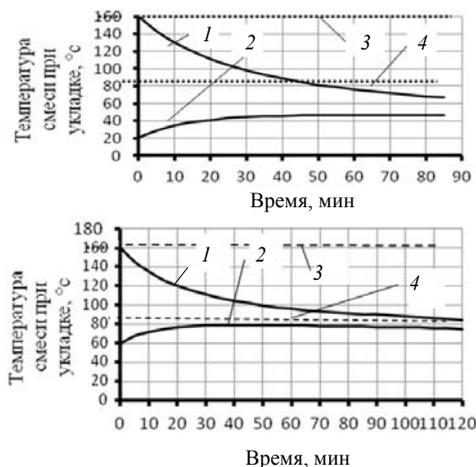


Рис. 3.15. Зависимость распределения температуры смеси при укладке в зоне стыка полос покрытия от времени

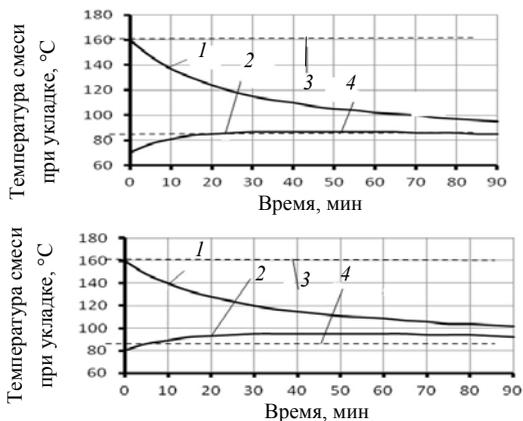


Рис. 3.15. Продолжение

Из представленных на рис. 3.15 результатов видно, что температура асфальтобетона на крае ранее уложенной полосы покрытия существенно влияет на распределение температуры горячей асфальтобетонной смеси в зоне стыка сопряжённых полос. При укладке сопряжённого слоя покрытия с более высокой температурой смеси происходит дополнительный нагрев ранее уложенного слоя за счёт передачи тепла. Повышение температуры края ранее уложенной полосы составляет в зависимости от разницы температуры смеси от 15 до 20 °С. После укладки сопряжённого слоя покрытия максимальная температура края полосы за счёт нагрева от сопряжённого слоя достигается через 10 – 20 мин. Следовательно, процесс уплотнения асфальтобетона на стыке полос необходимо осуществлять после нагрева и укладки сопряжённого слоя покрытия нагрева через некоторый промежуток времени.

Учитывая вышесказанное, рекомендуемый интервал температур нагрева асфальтобетона края первой полосы составляет 70...80 °С и не соответствует обеспечению температурных режимов горячей асфальтобетонной смеси при уплотнении. При нагреве асфальтобетона в зоне стыка полос до 80 °С и дополнительном повышении температуры смеси на 15...20 °С температура смеси достигнет величины 95...100 °С, что не соответствует температуре смеси в начале процесса уплотнения. При укладке асфальтобетонной смеси с более низкими температурами эффект дополнительного нагрева асфальтобетона в зоне стыка полос понижается (рис. 3.16). Для обеспечения необходимых температурных режимов в зоне стыка сопряжённых полос асфальтобетонную смесь на крае полосы покрытия необходимо нагревать до температуры 100...110 °С.

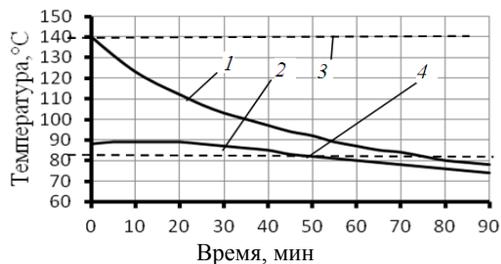


Рис. 3.16. Распределение температуры асфальтобетонной смеси в зоне стыка полос (температура смеси при укладке 140 °С, толщина слоя укладки 0,05 м, температура воздуха 20 °С)

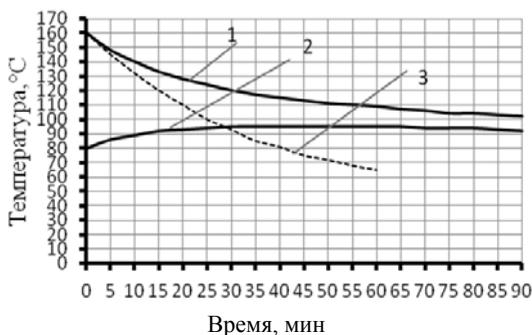


Рис. 3.17. Изменение температуры асфальтобетонной смеси в зоне стыка сопряжённых полос покрытия:
 1 – первая полоса; 2 – сопряжённая полоса;
 3 – при укладке одной полосы покрытия

Установлено, что темп охлаждения горячей смеси в зоне стыка полос при укладке сопряжённого слоя покрытия понижается, что позволяет увеличить время на уплотнение асфальтобетона в зоне стыка (рис. 3.17).

Контрольные вопросы к главе 3

1. От чего зависит продолжительность укладки асфальтобетонной смеси при устройстве дорожного покрытия одной полосой?
2. В чём заключается особенность технологической укладки отдельными полосами покрытия?
3. Как добиться надёжного стыка сопряжённых полос новой с ранее уложенной?

Основная литература

1. **Васильев, А. П.** Справочная энциклопедия дорожника. Т. I : Строительство и реконструкция автомобильных дорог / А. П. Васильев и др. ; под ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2004. – 505 с.
2. **СП 78.13330.2012.** Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85. – М. : Минрегион России, 2013.

Дополнительная литература

3. **Ищенко, И. С.** Технология устройства и ремонта асфальтобетонных покрытий / И. С. Ищенко, Т. Н. Калашникова, Д. А. Семенов. – М. : Аир-Арт, 2001. – 169 с.
4. **ТР 103-00.** Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций с применением асфальтобетона / ГУП НИИ Мосстрой. – М., 2000. – 43 с.
5. **Зубков, А. Ф.** Технология устройства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / А. Ф. Зубков, В. Г. Однолько – М. : Аир-Арт, 2011. – 169 с.
6. **Мелик-Багдасаров, М. С.** Строительство и ремонт дорожных асфальтобетонных покрытий : учебное пособие / М. С. Мелик-Багдасаров, К. А. Гиоев, Н. А. Мелик-Багдасарова. – Белгород : Издательство «КОНСТАНТА», 2007. – 159 с.
7. **Цупиков, С. Г.** Технология и организация строительства дорожных одежд : учебное пособие / С. Г. Цупиков, В. М. Дудин, И. С. Тюремнов. – Ярославль : Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 2009. – 178 с.
8. **Алиев, Али Муса оглы.** Строительство автомобильных дорог и аэродромов / Алиев Али Муса оглы. – М. : ООО «Трансдорнаука», 2013. – Т. 1. – 399 с. ; Т. 2. – 340 с. ; Т. 3. – 352 с. ; Т. 4. – 304 с.
9. **Строительство** автомобильных дорог : учебник / В. В. Ушаков, В. М. Ольховиков, М. Г. Горячев, В. П. Носов, В. В. Силкин, В. В. Рудакова, А. П. Лупанов, Т. А. Ларина, А. П. Васильев, В. К. Апестин, Ю. М. Яковлев ; под ред. В. В. Ушакова и В. М. Ольховикова. – М. : КРОНУС, 2013. – 576 с.
10. **Подольский, В. П.** Технология и организация строительства автомобильных дорог. Т. 2 : Дорожные покрытия / В. П. Подольский ; под ред. В. П. Подольского. – М. : ИЦ «Академия», 2012. – 297 с.

4. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ СО СМЕЩЕНИЕМ ПОЛОС ПОКРЫТИЯ ПРИ УКЛАДКЕ ОДНИМ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ

При устройстве нескольких сопряжённых полос покрытия одним асфальтоукладчиком применяется технология, при которой асфальтоукладчик смещается с одной полосы на другую (рис. 4.1), схема укладки полос дорожного покрытия приведена на рис. 2.3.

В этом случае длина захватки при условии обеспечения температурных режимов в зоне стыка полос зависит от темпа охлаждения горячей асфальтобетонной смеси. Длина укладываемой полосы, обеспечивающая необходимую температуру смеси в зоне стыка сопряжённых полос покрытия при уплотнении, приведена в табл. 3.1.

Длина укладки зависит от температуры воздуха и толщины слоя покрытия, теплофизических свойств смеси, скорости ветра, времени между укладками смежных полос. Кроме того, длина полосы укладки зависит от рабочей скорости асфальтоукладчика, которая должна соответствовать заданному темпу строительства покрытия с учётом возможности обеспечения горячей смесью объекта производства работ.

При раздельной укладке полос покрытия между длиной укладываемой полосы и скоростью асфальтоукладчика существует линейная зависимость. В этом случае производительность асфальтоукладчика снижается за счёт перемещения его с одной захватки на другую, что влияет на среднюю скорость укладки смеси и приводит к снижению его эффективности.

Охлаждение смеси в зоне стыка сопряжённых полос зависит от времени между укладками смеси в смежные полосы покрытия. Увели-



Рис. 4.1. Укладка асфальтобетонной смеси одним асфальтоукладчиком со смещением полос дорожного покрытия



Рис. 4.2. Разрушение дорожного покрытия на стыке смежных полос

чение длины полосы укладки при малой рабочей скорости асфальтоукладчика приводит к увеличению времени укладки смеси на одной полосе, что способствует понижению её температуры в зоне стыка полос. Снижение температуры смеси в зоне сопряжения полос ниже предельной приводит к снижению прочностных характеристик асфальтобетона при уплотнении. Данное обстоятельство в процессе эксплуатации приводит к разрушению дорожного покрытия в зоне стыка полос (рис. 4.2).

Условие обеспечения температурного режима в зоне стыка сопряжённых полос покрытия при укладке асфальтобетонной смеси можно представить в виде:

$$t_{\text{см}} \geq [t_{\text{см}}], \quad (4.1)$$

где $t_{\text{см}}$ – температура смеси при укладке сопряжённой полосы, °С; $[t_{\text{см}}]$ – допускаемая нижняя граница температурного интервала горячей асфальтобетонной смеси при укладке, зависящая от типа смеси и марки битума, °С.

Выражение (4.1) в соответствии с рекомендациями [1, 2, 6, 7, 10] можно представить в виде:

$$t_{\text{нy}} - t_{\text{оy}} = \Delta t \geq [t_{\text{см}}], \quad \text{°С}, \quad (4.2)$$

где Δt – температурный интервал между началом ($t_{\text{нy}}$) и окончанием ($t_{\text{оy}}$) укладки горячей асфальтобетонной смеси.

Установленный температурный интервал зависит от свойств смеси вяжущего материала. Изменение температуры в заданном интервале зависит от темпа охлаждения слоя покрытия, который определяет время нахождения горячей смеси в установленном температурном интервале, а следовательно, и время укладки асфальтобетонной смеси. В зависимости от принятой скорости асфальтоукладчика и времени укладки смеси определяется длина полосы укладки.

Ранее уже отмечалось, что рабочая скорость асфальтоукладчика зависит от организации производства работ. Поэтому для расчёта длины полосы укладки с учётом обеспечения температурных режимов горячей смеси в зоне стыка сопряжённых полос необходимо знать время её нахождения в заданном температурном интервале.

С учётом зависимости (4.2) продолжительность укладки смеси можно представить в виде:

$$\tau = f(t_{\text{в}}; t_{\text{см}}; t_{\text{оп}}; h; V_{\text{в}}; K_{\text{ТС}}; K_{\text{осн}}), \text{ мин}, \quad (4.3)$$

где τ – промежуток времени между температурами смеси начала и окончания укладки, мин; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, °С; $t_{\text{см}}$ – температура смеси, °С; $t_{\text{оп}}$ – температура смеси при окончании процесса укладки смеси в полосу покрытия, °С; h – толщина слоя, см; $K_{\text{ТС}}$ – коэффициент, учитывающий свойства смеси; $K_{\text{ш}}$ – коэффициент, учитывающий изменение температуры по ширине полосы; $K_{\text{осн}}$ – коэффициент влияния температуры основания; $V_{\text{в}}$ – скорость ветра, м/с.

Значения температурных режимов горячих асфальтобетонных смесей в зависимости от типа смеси и марки битума представлены в табл. 3.2.

В табл. 4.1 представлены значения времени охлаждения асфальтобетонной смеси в зависимости от температуры воздуха, температуры смеси при её укладке в стыке сопряжённых полос покрытия (толщина слоя 0,05 м, скорость укладки смеси 1 м/мин, скорость ветра 0 м/с).

Из представленных в табл. 4.1 данных видно, что на продолжительность производства работ влияют как температура смеси при укладке, так и температура окружающего воздуха.

4.1. Зависимость влияния температуры воздуха и горячей асфальтобетонной смеси при укладке на время её охлаждения при устройстве многополосных дорожных покрытий

Температура воздуха, °С		-10	0	5	10	20	30	40	50	Зависимость
Температура смеси, °С	160	36,6	40,5	42,8	45,4	51,7	60,5	74,0	99,0	$\tau = 40,5e^{0,0143t_{\text{в}}}$
	140	30,2	33,6	35,6	37,9	43,6	51,5	63,8	83,7	$\tau = 33,4e^{0,0153t_{\text{в}}}$
	120	23,6	26,4	28,1	30,1	34,9	41,9	52,8	74,1	$\tau = 26,5e^{0,0161t_{\text{в}}}$
	100	16,5	18,7	20,0	21,5	25,4	31,0	40,2	58,9	$\tau = 18,6e^{0,0191t_{\text{в}}}$

4.2. Влияние температуры окружающего воздуха и температуры горячей асфальтобетонной смеси при укладке на процесс её охлаждения (в относительных значениях)

Температура воздуха, °С		-10	0	5	10	20	30	40	50	$\Sigma n/n$
Температура смеси при укладке, °С	160	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	140	0,83	0,83	0,83	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,84
	120	0,64	0,65	0,65	0,66	0,67	0,69	0,71	0,74	0,67
	100	0,45	0,46	0,47	0,47	0,49	0,51	0,54	0,59	0,49
	80	0,24	0,25	0,25	0,25	0,27	0,29	0,32	0,38	0,28

Для установления общей закономерности влияния указанных факторов на продолжительность работ представим данные табл. 4.1 в относительных значениях, принимая за единицу температуру смеси, равную 160 °С (табл. 4.2).

Из представленных в табл. 4.2 данных видно, что в отличие от температуры воздуха температура смеси при укладке в большей степени влияет на время устройства полос покрытия.

Влияние температуры горячей асфальтобетонной смеси на продолжительность её охлаждения обозначим коэффициентом $K_{см}$. Зависимость коэффициента $K_{см}$ влияния температуры смеси при укладке на время работы звена машин при устройстве смежных полос покрытия приведена на рис. 4.3.

Численное значение коэффициента $K_{см}$ определяется выражением:

$$K_{см} = 0,0089t_{см} - 0,418, \quad (4.4)$$

где $t_{см}$ – температура горячей асфальтобетонной смеси при укладке, °С. Коэффициент корреляции равен 0,99.

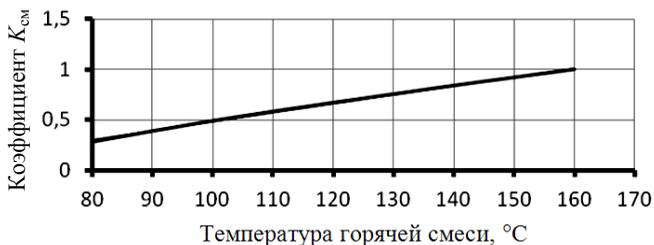


Рис. 4.3. Зависимость коэффициента влияния температуры смеси при укладке $K_{см}$ на время работы механизированного звена машин при устройстве многополосного дорожного покрытия

4.3. Зависимость влияния толщины слоя полосы покрытия от температуры воздуха на продолжительность охлаждения смеси

Температура воздуха, °С		-10	0	5	10	20	30	40	50	Зависимость
Толщина слоя, см	3	22,0	24,3	25,7	27,2	31,0	36,3	44,4	50,4	$\tau = 24,2e^{0,0142t_B}$
	5	36,6	40,5	42,8	45,3	51,7	60,5	74,0	99,0	$\tau = 40,5e^{0,0143t_B}$
	7	51,3	56,7	59,9	63,5	72,4	84,8	103	138	$\tau = 56,7e^{0,0146t_B}$
	10	73,3	81,0	85,6	90,7	103	121	147	170	$\tau = 81e^{0,0143t_B}$

Темп охлаждения горячей смеси при устройстве дорожных покрытий, в том числе и в зоне стыка сопряжённых полос, зависит от толщины укладываемых слоёв и находится в интервале от 0,03 до 0,08 м. Влияние толщины слоя полосы покрытия на продолжительность охлаждения горячей смеси в зоне стыка полос представлено в табл. 4.3.

Из представленных в табл. 4.3 данных видно, что температура окружающего воздуха в зависимости от толщины укладываемого слоя покрытия существенно влияет на темп охлаждения горячей асфальтобетонной смеси в зоне сопряжённых полос.

Влияние толщины слоя покрытия на время соответствия асфальтобетонной смеси необходимым температурным режимам при устройстве покрытия представим в относительных величинах (табл. 4.4).

Из данных, представленных в табл. 4.4, видно, что между толщиной слоя покрытия и временем нахождения горячей смеси в требуемом интервале температур существует зависимость, которая представлена на рис. 4.4, где K_h – коэффициент, учитывающий продолжительность охлаждения смеси в зависимости от толщины слоя полосы покрытия и температуры смеси в зоне стыка.

4.4. Зависимость влияния толщины слоя полосы покрытия от температуры воздуха на продолжительность охлаждения смеси (в относительных единицах)

Температура воздуха, °С		-10	0	5	10	20	30	40	50	$\Sigma n/n$
Толщина слоя, см	3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	10	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0



Рис. 4.4. График зависимости коэффициента K_h от толщины слоя покрытия

Численное значение коэффициента K_h определяется выражением:

$$K_h = 0,2h, \quad (4.5)$$

где h – толщина слоя покрытия, см.

Установлено, что время нахождения горячей смеси в заданном температурном интервале зависит от температуры смеси при укладке. При понижении температуры смеси при укладке от 160 до 120 °С численное значение коэффициента K_h уменьшается на треть (рис. 4.5).

Время охлаждения горячей смеси в значительной степени зависит от скорости ветра. Влияние скорости ветра на время соответствия температуры смеси заданным температурным интервалам при устройстве покрытия в зависимости от температуры окружающего воздуха представлено в табл. 4.5 и на рис. 4.6.

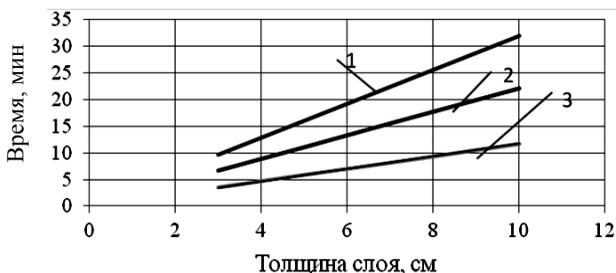


Рис. 4.5. Влияние температуры асфальтобетонной смеси при укладке на время её охлаждения в интервале температур 160...60 °С при разной толщине укладываемого слоя (смесь типа А на битуме марки 40/60):

1 – температура смеси 160 °С; 2 – 140 °С; 3 – 120 °С

4.5. Зависимость влияния скорости ветра от температуры окружающего воздуха на время соответствия температуры асфальтобетонной смеси заданным температурным интервалам

Температура воздуха, °С		-10	0	5	10	20	30	40	50	Зависимость
Скорость ветра, м/с	0	36,6	40,5	42,8	45,4	51,7	60,5	74,0	99	$\tau = 39,9e^{0,016t_{\text{в}}}$
	3	27,1	30,0	31,7	33,6	38,3	44,9	54,9	73,4	$\tau = 29,6e^{0,016t_{\text{в}}}$
	5	23,1	25,6	27,1	28,7	32,7	38,9	46,8	62,6	$\tau = 25,3e^{0,016t_{\text{в}}}$
	7	20,2	22,3	23,6	25,0	28,5	33,4	40,8	54,6	$\tau = 22e^{0,016t_{\text{в}}}$
	10	16,9	18,7	19,8	21,0	23,9	28,0	34,2	45,8	$\tau = 18,4e^{0,016t_{\text{в}}}$
	15	13,5	14,7	15,6	16,5	18,8	22,1	27,0	36,1	$\tau = 14,6e^{0,016t_{\text{в}}}$

Данные табл. 4.5 представим в относительных величинах, принимая значения времени при скорости ветра, равной нулю, за единицу, см. табл. 4.6.

Из данных табл. 4.6 видно, что скорость ветра влияет на темп охлаждения горячей смеси и не зависит от температуры окружающего воздуха. Обозначив влияние скорости ветра на время нахождения горячей смеси на стыке сопрягаемых полос покрытия в заданном температурном интервале через коэффициент влияния скорости ветра K_v , получим зависимость, которая приведена на рис. 4.6.

4.6. Зависимость влияния скорости ветра от температуры окружающего воздуха на время соответствия температуры асфальтобетонной смеси заданным температурным интервалам (в относительных величинах)

Температура воздуха, °С		-10	0	5	10	20	30	40	50	$\Sigma n/n$
Скорость ветра, м/с	0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	3	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
	5	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
	7	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
	10	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
	15	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36

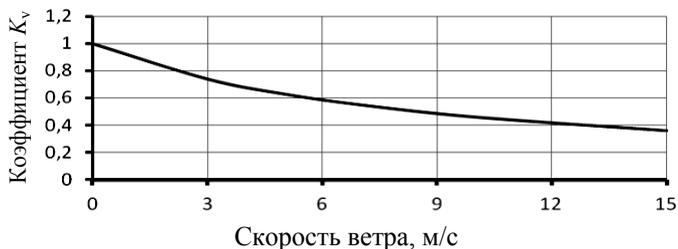


Рис. 4.6. График зависимости коэффициента K_v от скорости ветра

Численное значение коэффициента K_v определяется выражением:

$$K_v = e^{-0,075V}, \quad (4.6)$$

где V – скорость ветра, м/с. Коэффициент корреляции 0,95.

Рекомендуемая область применения асфальтобетонов при устройстве дорожных покрытий зависит от дорожно-климатической зоны (ДКЗ) строительства автомобильной дороги. В зависимости от ДКЗ могут применяться разные марки битума. От этого условия зависят эффективные температурные режимы применения асфальтобетонных смесей при устройстве дорожных покрытий нежесткого типа. В таблице 4.7 представлены значения соответствия температуры горячих смесей при укладке в зависимости от температуры окружающего воздуха для разных типов смесей и марок битума.

4.7. Влияние типа асфальтобетона и марки битума на продолжительность охлаждения горячей смеси на стыке сопряжённых полос покрытия

Температура воздуха, °C	-10	0	10	20	40	
<i>Асфальтобетон типа А. Битум 40/60.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –100 °C</i>						
Температура смеси при укладке, °C	160	19,5	21	22,8	25	31
	140	13,3	14,5	15,8	17,4	22
	120	6,9	7,5	8,3	9,2	11,9
<i>Асфальтобетон типа А. Битум 60/90.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –95 °C</i>						
Температура смеси при укладке, °C	155	19,8	21,5	23,4	25,8	32,3
	140	15,2	16,5	18,1	20,0	25,4
	120	8,7	9,5	10,5	11,8	15,3
	100	1,8	2,0	2,2	2,5	3,4

Продолжение табл. 4.7

Температура воздуха, °С	-10	0	10	20	40	
<i>Асфальтобетон типа А. Битум 90/130.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –90 °С</i>						
Температура смеси при укладке, °С	150	22,4	24,2	26,7	29,6	37,6
	140	19	20,7	22,7	25,2	32,6
	120	11,8	12,9	14,3	16,0	21,1
	100	4,1	4,5	5,1	5,8	7,9
<i>Асфальтобетон типа Б. Битум 40/60.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –95 °С</i>						
Температура смеси при укладке, °С	160	21,3	23,1	25,2	27,6	34,5
	140	15,2	16,5	18,1	20,0	25,4
	120	8,7	9,5	10,5	11,8	15,3
	100	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0
<i>Асфальтобетон типа Б. Битум 60/90.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –90 °С</i>						
Температура смеси при укладке, °С	155	22,3	24,3	26,5	29,3	37,2
	140	17,6	19,1	21,0	23,3	30,0
	120	10,9	12,0	13,2	14,8	19,6
	100	3,8	4,2	4,7	5,3	7,3
<i>Асфальтобетон типа Б. Битум 90/130.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –85 °С</i>						
Температура смеси при укладке, °С	150	24,6	20,8	29,5	32,8	42,3
	140	21,3	23,1	25,5	28,4	37,0
	120	14,0	15,4	17,1	19,2	25,6
	100	6,3	6,95	7,8	8,9	12,3
<i>Асфальтобетон типа В. Битум 40/60.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –90 °С</i>						
Температура смеси при укладке, °С	160	23,3	25,2	27,6	30,4	38,4
	140	17,1	18,6	20,5	22,7	29,2
	120	10,6	11,6	12,9	14,4	19,0
	100	3,7	4,1	4,6	5,2	7,1
<i>Асфальтобетон типа В. Битум 60/90.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –85 °С</i>						
Температура смеси при укладке, °С	155	20,0	27,2	29,9	33,1	42,6
	140	20,1	22,0	24,2	27,0	35,1
	120	13,3	14,6	16,2	16,2	24,3
	100	6,0	6,6	7,4	8,4	11,7

Температура воздуха, °С		-10	0	10	20	40
<i>Асфальтобетон типа В. Битум 90/130.</i>						
<i>Температура окончания уплотнения –80 °С</i>						
Температура смеси при укладке, °С	150	26,9	29,4	32,4	36,2	47,3
	140	23,4	25,7	28,4	31,8	42,0
	120	16,2	17,9	19,9	22,5	30,6
	100	8,5	9,5	10,6	12,18	17,2

Нормативными документами [6, 7, 10] рекомендуется для I – III ДКЗ для приготовления горячих асфальтобетонных смесей применять битумы марок 60/90, 90/130 130/200, для I, II – 40/60, 60/90 и 90/130. В таблице 4.8 представлены данные по продолжительности охлаждения горячих асфальтобетонных смесей при условии обеспечения температурных режимов в зависимости от толщины укладываемого слоя полосы.

Для установления общей закономерности влияния нижней температурной границы уплотнения горячей асфальтобетонной смеси представим данные табл. 4.8 в относительных величинах, приняв условно продолжительность охлаждения горячей смеси при температуре 60°С за единицу (табл. 4.9) и обозначим данную величину коэффициентом влияния окончания уплотнения покрытия $K_{н.г.}$.

Из данных табл. 4.9 видно, что продолжительность нахождения горячей смеси в заданном температурном интервале зависит от температуры окончания эффективного уплотнения горячей смеси с учётом её типа и марки битума и не зависит от толщины слоя покрытия.

4.8. Зависимость продолжительности охлаждения горячих асфальтобетонных смесей типа А, Б, В, Г, Д на битумах марок 40/60, 60/90, 90/130, 130/200 от толщины слоя покрытия

Толщина слоя покрытия, м	Нижняя граница температурного интервала уплотнения горячей смеси с учётом типа смеси и марки битума							
	100	95	90	85	80	70	60	Зависимость
0,03	15,0	16,6	18,2	20,0	21,8	26	31,0	$\tau = 304,2e^{-0,018t_{н.г.}}$
0,05	25,0	27,6	30,4	33,3	36,4	43,4	51,7	$\tau = 215,2e^{-0,018t_{н.г.}}$
0,07	35,0	38,7	42,5	46,6	51,0	60,7	72,4	$\tau = 153,8e^{-0,018t_{н.г.}}$
0,10	50,1	55,3	60,8	66,6	72,8	86,7	103,0	$\tau = 91,9e^{-0,018t_{н.г.}}$

4.9. Зависимость продолжительности охлаждения горячих асфальтобетонных смесей типа А, Б, В, Г, Д на битумах марок 40/60, 60/90, 90/130, 130/200 от толщины слоя покрытия (в относительных значениях)

Толщина слоя покрытия, м	Нижняя граница температурного интервала уплотнения горячей смеси с учётом типа смеси и марки битума									
	160	140	120	100	95	90	85	80	70	60
0,03	0,0	0,237	0,335	0,483	0,535	0,587	0,645	0,703	0,838	1,0
0,05	0,0	0,239	0,340	0,483	0,533	0,588	0,644	0,704	0,839	1,0
0,07	0,0	0,238	0,342	0,483	0,534	0,587	0,643	0,704	0,838	1,0
0,10	0,0	0,240	0,343	0,484	0,534	0,587	0,643	0,704	0,837	1,0
$\Sigma n/n$	0,0	0,239	0,34	0,483	0,534	0,587	0,644	0,704	0,838	1,0



Рис. 4.7. Влияние коэффициента $K_{нр}$ от нижнего температурного интервала горячей асфальтобетонной смеси

На рисунке 4.7 представлена зависимость коэффициента $K_{нр}$ от нижнего температурного интервала горячей асфальтобетонной смеси.

Численное значение коэффициента влияния нижней температурной границы окончания работ на продолжительность нахождения горячей смеси в зоне стыка полос $K_{нр}$ определяется выражением:

$$K_{нр} = -0,985 \ln(t_{оп}) + 5,0, \quad (4.7)$$

где $t_{оп}$ – температура окончания укладки горячей смеси с учётом типа смеси и марки битума. Коэффициент корреляции равен 0,99.

В общем виде время охлаждения асфальтобетонной смеси при условии обеспечения температурных режимов в зоне сопряжения полос имеет вид:

$$\tau = 40,5 K_{тс} K_h K_v K_{оу} K_{осн} e^{-0,0143 t_{в}}, \text{ мин.} \quad (4.8)$$

Подставляя численные значения коэффициентов зависимости (4.8), получим зависимость для определения продолжительности охлаждения смеси в заданном температурном интервале:

$$\tau = 24,5hK_{тс}K_{оу}K_{осн} e^{-0,0143t_b - 0,075V}, \text{ мин.} \quad (4.9)$$

При устройстве дорожного покрытия нежесткого типа соблюдается принцип непрерывности технологических процессов укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей при работе механизированного звена машин. Скорость движения звена машин определяется рабочей скоростью асфальтоукладчика, при этом звено уплотняющих машин выбирается из условия обеспечения требуемого качества уплотнения смеси с учётом обеспечения температурных режимов. Общая длина захватки звена машин определяется зависимостью:

$$L_{\text{общ}} = V_{\text{ук}}\tau_{\text{стр}}, \quad (4.10)$$

где $V_{\text{ук}}$ – рабочая скорость асфальтоукладчика, м/мин; $\tau_{\text{стр}}$ – время охлаждения горячей смеси в заданном температурном интервале, зависящем от типа смеси и марки битума, мин.

Согласно представленной на рис. 2.3 технологической схеме производства работ по устройству многополосного покрытия одним асфальтоукладчиком, время охлаждения горячей смеси крайней точки полосы зависит от длины захватки, определяемой температурой окружающего воздуха, а также скоростными режимами укладки и временем перемещения асфальтоукладчика с одной полосы на другую.

В этом случае продолжительность охлаждения асфальтобетонной смеси на крае полосы покрытия с учётом обеспечения температурных режимов горячей смеси определяется выражением:

$$\tau = L/2V_{\text{ук}} + \tau_{\text{пов}} + (L/2)/V_{\text{тр}}, \text{ мин,} \quad (4.11)$$

где L – длина захватки, м; $V_{\text{ук}}$ – скорость укладки горячей смеси, м/мин; $V_{\text{тр}}$ – транспортная скорость асфальтоукладчика, м/мин; $\tau_{\text{пов}}$ – время на перемещении асфальтоукладчика с одной полосы на другую, мин.

Следует отметить, что при такой технологии производства работ помимо охлаждения края сопрягаемых полос покрытия возникает вопрос определения температуры охлаждения горячей асфальтобетонной смеси в поперечном стыке полосы покрытия, зависящего от продолжительности укладки смеси на захватке. Продолжительность охлаждения горячей смеси в поперечном стыке полосы будет определяться выражением:

$$\tau = L/V_{\text{ук}} + 2\tau_{\text{пов}} + L/V_{\text{тр}}. \quad (4.12)$$

Длина полосы укладки в зависимости от температуры смеси при доставке к месту производства работы и температуры окончания укладки будет определяться выражениями:

– для поперечного стыка

$$L = 2(\tau - \tau_{\text{п}})V_{\text{ук}}V_{\text{тр}} / V_{\text{ук}} + V_{\text{тр}}, \text{ м}; \quad (4.13)$$

– для продольного стыка

$$L = (\tau - 2\tau_{\text{п}})V_{\text{ук}}V_{\text{тр}} / V_{\text{ук}} + V_{\text{тр}}, \text{ м}, \quad (4.14)$$

где L – длина полосы укладки горячей смеси, м; τ – продолжительность укладки горячей смеси с учётом температурных режимов горячей смеси, мин; $\tau_{\text{п}}$ – время на перемещение асфальтоукладчика с одной полосы на другую, мин; $V_{\text{ук}}$ – скорость укладки горячей смеси, м/мин; $V_{\text{тр}}$ – транспортная скорость асфальтоукладчика, м/мин.

Из зависимостей (4.13) и (4.14) видно, что продолжительность охлаждения горячей смеси на поперечном стыке полосы меньше, чем в зоне продольного стыка.

Максимальная скорость укладки горячей асфальтобетонной смеси зависит от заданного темпа строительства дорожного покрытия. Минимальная рабочая скорость асфальтоукладчика определяется из условия обеспечения работы уплотняющих машин с учётом обеспечения температурных режимов применяемой смеси, при этом длина захватки должна быть не менее 3 – 5 длины используемых катков.

Приняв время перехода асфальтоукладчика с одной полосы на другую 0,06 ч, а его транспортную скорость 10 – 12 м/мин, получим зависимость длины захватки от температуры окружающего воздуха, которая приведена на рис. 4.8.

Зависимости на рис. 4.8 можно представить в виде уравнений:

$$\begin{aligned} 1. L &= 21,94 e^{-0,063t_{\text{в}}} ; \\ 2. L &= 48,67 e^{-0,022t_{\text{в}}} ; \\ 3. L &= 27,38 e^{-0,025t_{\text{в}}} . \end{aligned} \quad (4.15)$$

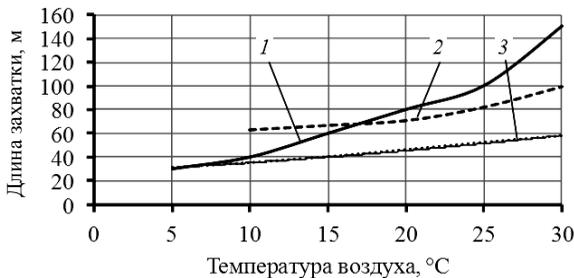


Рис. 4.8. Зависимость длины захватки от температуры окружающего воздуха: 1 – согласно [1, 6, 10]; 2 – по данным [2]; 3 – согласно [5]

Используя представленные зависимости (4.15) при температуре воздуха 10 °С и заданных скоростях укладки асфальтобетонной смеси (3 и 5 м/мин), было установлено время укладки сопряжённого слоя полос покрытия, которое равно соответственно 8,3; 12,2 и 7 мин.

Используя программы расчёта на ЭВМ для определения температуры асфальтобетонной смеси в зоне стыка сопряжённых полос [8, 9], получены зависимости распределения температуры в зоне стыка при разных температурах смеси ранее уложенной полосы во времени. Результаты расчёта представлены на рис. 4.9.

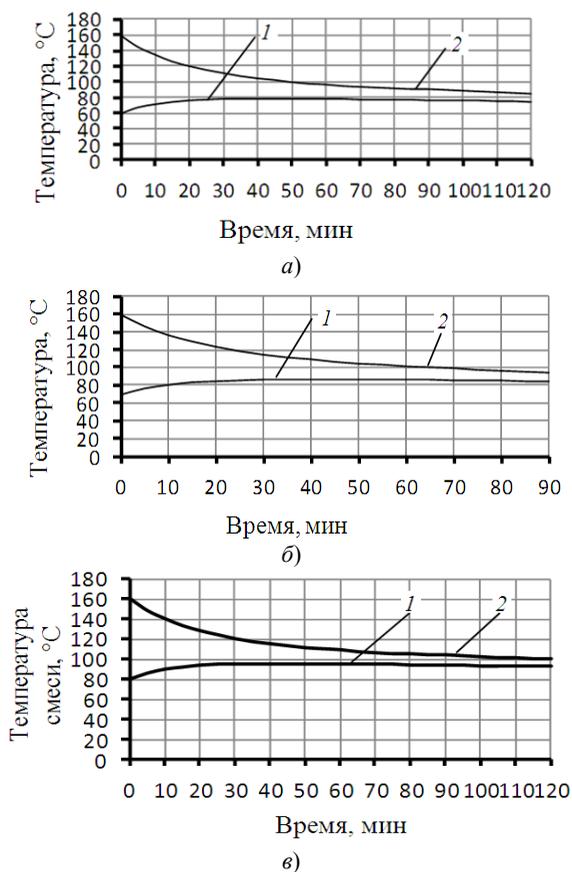


Рис. 4.9. Зависимость распределения температуры в зоне стыка полос при разных температурах смеси в зоне стыка ранее уложенной полосы: а – 60 °С; б – 70°С; в – 80 °С (1 – температура асфальтобетонной смеси края первой полосы; 2 – температура смеси при укладке слоя сопряжённой полосы)

Из представленных на рис. 4.9 данных видно, что укладка сопрягаемого слоя покрытия с более высокой температурой смеси способствует повышению температуры смеси в зоне стыка полос. В то же время несоблюдение температурных режимов в стыке сопрягаемых полос способствует недоуплотнению смеси и характеризуется низким качеством работ.

Следовательно, уплотнение стыка полос покрытия необходимо выполнять после достижения температуры смеси в стыке полос максимального значения, что противоречит рекомендациям [6], в которых говорится, что уплотнять горячую смесь на стыке полос необходимо сразу после укладки второго сопряжённого слоя покрытия.

4.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ПО УСТРОЙСТВУ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ ДВУХ И БОЛЕЕ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОВ

При устройстве многополосных покрытий нежесткого типа широкое применение получила технология укладки горячей асфальтобетонной смеси несколькими асфальтоукладчиками, смещёнными относительно друг друга в плане на некоторое расстояние (рис. 2.5). Смещение асфальтоукладчиков относительно друг друга в плане принимается в пределах 10...15 м, но не более 30 м. В зависимости от темпа строительства дорожного покрытия и условий производства работ (температура окружающего воздуха, дальность транспортирования горячей смеси, теплофизические свойства применяемой смеси, скорость ветра) длина полосы укладки может находиться в пределах от 60 до 200 м. Длина полосы укладки принимается из условия обеспечения надёжного сопряжения смежных полос [1, 5]. Возможную длину полосы укладки принимают согласно табл. 3.1.

Стоит отметить, что при назначении длины захватки необходимо обеспечить монолитность продольного шва в зоне стыка сопряжённых полос, которая возможна при условии обеспечения необходимых температурных режимов при укладке и уплотнении асфальтобетонных смесей. Как уже отмечалось выше, выбор температурного режима асфальтобетонной смеси зависит от её типа и марки битума, конструктивных параметров укладываемого слоя, погодных условий с учётом данных, приведённых в [1, 2, 6, 7, 10 – 12]. Общая длина захватки при устройстве покрытия нежесткого типа зависит также от скорости асфальтоукладчика и времени нахождения горячей смеси в заданном температурном интервале.

Установлено, что плотность асфальтобетонной смеси при укладке асфальтоукладчиком влияет на состав механизированного звена машин при устройстве дорожного покрытия. При укладке горячей смеси асфальтоукладчик не только распределяет смесь по ширине полосы покрытия, но и выполняет процесс предварительного уплотнения уложенного слоя. В зависимости от конструктивных параметров асфальтоукладчика величина коэффициента предварительного уплотнения смеси находится в пределах 0,9...0,96. Величина коэффициента предварительного уплотнения асфальтобетонной смеси зависит от состава звена катков, так как каждый тип катка обеспечивает достижение коэффициента уплотнения асфальтобетона определённого значения [4, 5].

В общем виде длина захватки при работе механизированного звена машин при устройстве покрытия нежёсткого типа определяется зависимостью (4.9).

При назначении звена машин необходимо учитывать, что для обеспечения безопасных условий работы катков минимальная длина участка укладки должна составлять от 3 до 5 длины каждого типа катка. Анализ параметров дорожных катков показал, что их длина составляет 5...6 м. Следовательно, минимальная длина участка укладки асфальтоукладчиком с учётом разгона и торможения должна соответствовать 15...30 м.

Длина укладываемой полосы асфальтоукладчиком определяется зависимостью:

$$L_y = V_{ук} \tau_{укл}, \text{ м}, \quad (4.16)$$

где $\tau_{укл}$ – время, определяемое температурой смеси от момента её укладки до нижней температурной границы.

Температура асфальтобетонной смеси начала и окончания укладки определена нормативными документами [1 – 4]. Время укладки асфальтобетонной смеси зависит от её свойств, толщины слоя покрытия, условий производства и организации работ. Время укладки смеси с учётом её температуры и отмеченных факторов в зоне стыка сопряжённых полос имеет вид:

$$\tau_{укл} = 40,5 K_{тс} K_h K_f K_{осн} K_{ш} K_{оу} e^{-0,0143t_b}, \text{ мин.} \quad (4.17)$$

Следовательно, задаваясь типом смеси и маркой битума, учитывая толщину укладываемого слоя полосы покрытия и конкретных условий производства работ, можно определить время укладки асфальтобетонной смеси и при заданной скорости асфальтоукладчика назначить длину полосы укладки с учётом обеспечения необходимых температурных режимов смеси в зоне стыка сопряжённых полос покрытия.

На рисунках 4.10, 4.11 представлены результаты расчётов определения длины полосы укладки асфальтобетонной смеси при совместной работе двух асфальтоукладчиков с учётом обеспечения температурных режимов смеси в зоне стыка сопряжённых полос.

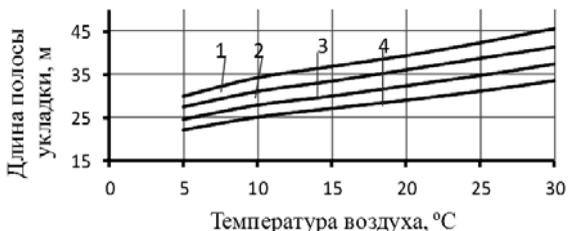


Рис. 4.10. Зависимость длины полосы укладки горячей смеси от температуры окружающего воздуха и температуры асфальтобетонной смеси при укладке:
 1 – температура при укладке 160 °C; 2 – 150 °C; 3 – 140 °C; 4 – 130 °C

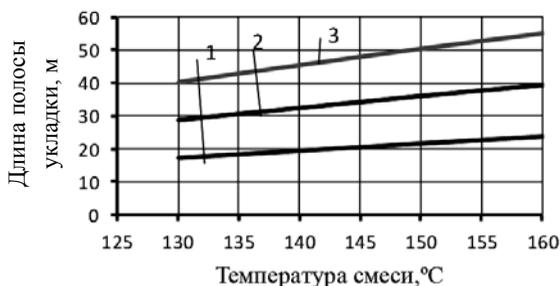
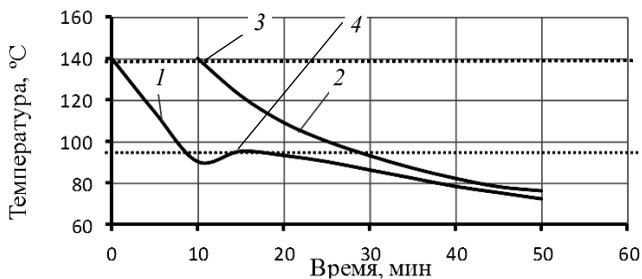


Рис. 4.11. Зависимость длины полосы укладки горячей асфальтобетонной смеси от её температуры и толщины слоя покрытия (температура воздуха 20°C):
 1 – толщина слоя покрытия 0,03 м; 2 – 0,05 м; 3 – 0,07 м

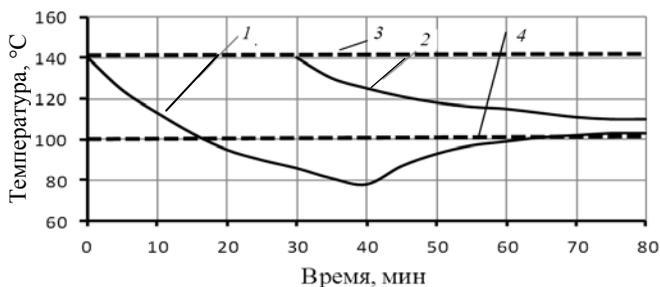
Из представленных на рис. 4.11 графиков видно, что длина полосы укладки горячей асфальтобетонной смеси с учётом обеспечения температурных режимов в зоне стыка сопряжённых полос зависит не только от температуры воздуха, но и от темпа охлаждения горячей смеси. Её укладка в смежные полосы покрытия при совместной работе двух асфальтоукладчиков без учёта температурных режимов смеси в зоне стыка полос способствует разрушению покрытия в процессе эксплуатации дороги.

В качестве примера на рис. 4.12 представлены результаты моделирования распределения температуры смеси в зоне сопряжения полос при разных значениях температуры воздуха (скорость асфальтоукладчика 2 м/мин, толщина слоя 0,05 м, скорость ветра 0 м/с, смесь типа А, битум марки 40/60 и 60/90).

Из данных, представленных на рис. 4.12, а, видно, что при рабочей скорости асфальтоукладчика 2 м/мин и времени распределения смеси 10 мин смещение в плане асфальтоукладчиков между собой составляет 20 м, что соответствует рекомендациям [1, 5].



а)



б)

Рис. 4.12. Зависимость распределения температуры асфальтобетонной смеси в зоне стыка полос от времени:

а – температура воздуха 5 °С; *б* – температура воздуха 20 °С

(1 – температура в зоне стыка первой полосы; 2 – в зоне второй полосы; 3 – температура начала укладки; 4 – температура окончания уплотнения)

В то же время в зоне стыка полос имеется участок стыка полосы, в котором нарушаются температурные режимы смеси при уплотнении. Данное обстоятельство является причиной образования дефектов в зоне стыка сопряжённых полос. При значительном смещении асфальтоукладчиков между собой (рис. 4.12, б) в процессе эксплуатации покрытия такие участки наблюдаются значительной протяжённости. Практика показывает, что такие участки покрытия требуют ремонтных работ уже через год эксплуатации дороги.

4.2. ОСОБЕННОСТИ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ В ЗОНЕ СТЫКА СОПРЯЖЁННЫХ ПОЛОС

Независимо от способа устройства многополосных дорожных покрытий нежесткого типа обеспечение необходимых температурных режимов асфальтобетонных смесей при укладке и уплотнении должны быть не только по полосе движения транспортных средств, но и на стыках сопряжённых полос покрытия, так как от этого будет зависеть срок службы дорожного покрытия.

Метод технологии устройства многополосных покрытий с устройством отдельных полос требует в обязательном порядке применения асфальторазогревателей. В этом случае до начала укладки сопряжённого слоя производят обрезку края ранее уложенной полосы шириной до 0,05 м, на который наносят слой горячего вяжущего. Затем с применением асфальторазогревателя прогревают край уложенной полосы покрытия на ширину до 0,15 м. Нагрев края асфальтобетонной полосы в зависимости от типа смеси и марки битума осуществляют до температуры 100...110 °С. Высота нового укладываемого слоя должна быть равна высоте ранее уложенного слоя с учётом коэффициента уплотнения. Нарушение этого условия способствует снижению коэффициента уплотнения асфальтобетона в зоне стыка полос. Применение способа нагрева края уложенной полосы за счёт температуры сопряжённого слоя покрытия не обеспечивает нагрева до требуемой температуры смеси.

Уплотнение асфальтобетонного слоя в зоне стыка сопряжённых полос при перемещении катка по ранее уплотнённой полосе является неэффективным способом, так как в этом случае передаваемая нагрузка от вальца на слой материала снижается за счёт её передачи на ранее уплотнённую поверхность покрытия. Это приводит к снижению достигаемого коэффициента уплотнения в зоне стыка.

При организации работ по укладке асфальтобетонных смесей сопряжённых полос одним асфальтоукладчиком со смещением его с одной полосы на другую необходимо определить длину захватки, обеспечивающую необходимые температурные режимы горячей смеси в зоне стыка с учётом рабочей скорости асфальтоукладчика и темпа охлаждения смеси. Технологический процесс уплотнения асфальтобетонной смеси в зоне стыка полос предусматривает первый проход катка по свежееуложенной полосе с перекрытием смежной полосы покрытия на 150 мм. Причём, первый проход выполняется через 5 – 7 мин после укладки смежной полосы, данное обстоятельство позволяет дополнительно прогреться краю первой полосы на 10...20 °С за счёт температуры смеси смежной полосы.

При совместной работе двух и более асфальтоукладчиков может применяться метод уплотнения асфальтобетона в зоне стыка с отступом от шва сопряжения. При этом методе край первой и второй полос не уплотняют на расстоянии 0,15 м. После укатки сопряжённых полос производят уплотнение асфальтобетона в зоне их стыка. Данный метод эффективен при устройстве покрытий с повышенной толщиной слоя.

Широкое применение при устройстве многополосных покрытий получила технология уплотнения катком по свежееуложенной полосе с перекрытием смежной полосы покрытия на 0,15 м.

Учитывая вышеизложенное, стоит отметить, что из рассмотренных способов устройства стыка сопряжённых полос наиболее эффективным является уплотнение асфальтобетонной смеси с «горячей» стороны.

Контрольные вопросы к главе 4

1. Какие технологии применяются при укладке асфальтобетонных покрытий? Назовите условия их эффективного применения.
2. В чём заключается причина разрушения асфальтобетонного покрытия на стыке полос при их раздельной укладке?
3. Объясните причину понижения эффекта уплотнения при пониженных температурах горячей смеси.

Основная литература

1. **Васильев, А. П.** Справочная энциклопедия дорожника. Т. I : Строительство и реконструкция автомобильных дорог / А. П. Васильев и др. ; под ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2004. – 505 с.
2. **Горельшев, Н. Г.** Технология и организация строительства автомобильных дорог / Н. Г. Горельшев ; под ред. д-ра техн. наук, проф. Н. Г. Горельшева. – М. : Интеграл, 2013. – 551 с.
3. **Подольский, В. П.** Строительство автомобильных дорог. Дорожные покрытия : учебник / В. П. Подольский, П. И. Поспелов, А. В. Глагольев, А. В. Смирнов ; под ред. В. П. Подольского. – М. : ИЦ «Академия», 2015. – 304 с. и др.

Дополнительная литература

4. **Зубков, А. Ф.** Технология строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / А. Ф. Зубков, В. Г. Однолюк. – М. : Машиностроение, 2009. – 223 с.
5. **Ищенко, И. С.** Технология устройства и ремонта асфальтобетонных покрытий / И. С. Ищенко, Т. Н. Калашникова, Д. А. Семенов. – М. : Аир-Арт, 2001. – 169 с.
6. **ТР 103-00.** Технические рекомендации по устройству дорожных конструкций с применением асфальтобетона / ГУП НИИ Мосстрой. – М., 2000. – 43 с.
7. **ГОСТ 9128–2009.** Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромы и асфальтобетон. Технические условия. – М. : МНТКС, 2009.
8. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613129. Моделирование и расчёт температурных режимов дорожных одежд нежесткого типа в нестационарных условиях / А. Ф. Зубков. – Москва, 5 сентября, 2006.
9. **Свидетельство** об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007610903. Моделирование процесса строительства покрытий и выбор параметров машин для укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей / А. Ф. Зубков, Вл. П. Подольский, В. П. Берестов. – М., 2007.
10. **СП 78.13330.2012.** Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 / Минрегион России, 2013.
11. **Цупилов, С. Г.** Технология и организация строительства дорожных одежд : учебное пособие / С. Г. Цупилов, В. М. Дудин, И. С. Тюремнов. – Ярославль : Изд-во Ярослав. гос. техн. ун-та, 2009. – 178 с.
12. **Строительство** автомобильных дорог : учебник / В. В. Ушаков, В. М. Ольховиков, М. Г. Горячев, В. П. Носов, В. В. Силкин, В. В. Рудакова, А. П. Лупанов, Т. А. Ларина, А. П. Васильев, В. К. Апестин, Ю. М. Яковлев ; под ред. В. В. Ушакова и В. М. Ольховикова. – М. : КРОНУС, 2013. – 576 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение требований к качеству строительства автомобильных дорог предъявляет более высокие требования к производству работ по укладке и уплотнению дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей. Добиться требуемых показателей качества строительства покрытий возможно при соблюдении технологических режимов производства работ, правильном выборе применяемого оборудования и соответствующем качестве материала. Обеспечение требуемых температурных режимов при укладке и уплотнении горячих асфальтобетонных смесей с учётом их свойств и соответствия им силовых параметров уплотняющих машин позволяет повысить качество строительства покрытий.

Рассмотренная методика разработки технологических процессов строительства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей позволяет учитывать свойства применяемых смесей и с их учётом выбирать параметры уплотняющих машин. Возможность определения температурных режимов асфальтобетонной смеси в зоне стыка сопряжённых полос, а также определение продолжительности строительства покрытий и длительности операций по укладке и уплотнению смесей с учётом влияния разных факторов позволяет организовать производственный процесс во времени и повысить срок службы дорожного покрытия.

Изложенные в пособии результаты могут быть использованы как при проектировании технологии устройства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей, так и при их строительстве и ремонте.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. СТРОИТЕЛЬСТВО МНОГОПОЛОСНЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	4
1.1. Развитие автомобильного парка страны и его влияние на безопасность дорожного движения	4
1.2. Влияние интенсивности движения на конструктивные параметры автомобильных дорог	5
1.3. Анализ технологий строительства дорожных покрытий нежёсткого типа	9
1.4. Особенности технологии и организации работ при устройстве многополосных дорожных покрытий нежёсткого типа	11
Контрольные вопросы к главе 1	14
Основная литература	15
Дополнительная литература	15
2. ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ В ЗОНЕ СТЫКА СОПРЯЖЁННЫХ ПОЛОС ПОКРЫТИЯ НА ТЕХНОЛОГИЮ ЕЁ УКЛАДКИ ...	16
2.1. Технология укладки асфальтобетонной смеси при строительстве многополосных дорожных покрытий	17
2.2. Определение температуры асфальтобетонной смеси при строительстве дорожных покрытий нежёсткого типа с учётом условий производства работ.....	23
2.3. Определение температуры горячей асфальтобетонной смеси по ширине полосы покрытия	30
2.4. Экспериментальные исследования распределения температуры асфальтобетонной смеси по ширине полосы покрытия	32
Контрольные вопросы к главе 2	33
Основная литература	34
Дополнительная литература	34
3. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НЕЖЁСТКОГО ТИПА ОДНИМ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ С УВЕЛИЧЕННОЙ ШИРИНОЙ ПОЛОСЫ ПОКРЫТИЯ	35
3.1. Определение продолжительности укладки асфальтобетонной смеси при устройстве дорожного покрытия одной полосой	36

3.2. Технология укладки асфальтобетонной смеси при устройстве покрытия отдельными полосами	44
3.3. Экспериментальные исследования температуры в зоне стыка сопряжённых полос покрытия	45
3.4. Экспериментальные исследования определения температуры укладки горячей асфальтобетонной смеси по ширине полосы покрытия в производственных условиях	49
Контрольные вопросы к главе 3	55
Основная литература	56
Дополнительная литература	56
4. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ СО СМЕЩЕНИЕМ ПОЛОС ПОКРЫТИЯ ПРИ УКЛАДКЕ ОДНИМ АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКОМ	57
4.1. Определение температурных режимов по устройству дорожных покрытий нежёсткого типа с применением горячих асфальтобетонных смесей при совместной работе двух и более асфальтоукладчиков	71
4.2. Особенности уплотнения асфальтобетонного покрытия в зоне стыка сопряжённых полос	74
Контрольные вопросы к главе 4	76
Основная литература	76
Дополнительная литература	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77

Учебное издание

ЗУБКОВ Анатолий Федорович
АНДРИАНОВ Константин Анатольевич
МАКАРОВ Александр Михайлович
КУПРИЯНОВ Роман Валерьевич

ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МНОГОПОЛОСНЫХ
ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Учебное пособие

Редактор Т. М. Г л и н к и н а
Инженер по компьютерному макетированию И. В. Е в с е в а

ISBN 978-5-8265-1547-1



Подписано в печать 30.03.2016.
Формат 60 × 84 / 16. 4,65 усл. печ. л.
Тираж 300 экз. (1-й з-д – 120 экз.)
Заказ № 145

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел. 8(4752) 63-81-08
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru