

**А.Ф. ЗУБКОВ, К.А. АНДРИАНОВ, Т.И. ЛЮБИМОВА**

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА  
ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА  
ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ  
ГОРЯЧИХ СМЕСЕЙ**



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

**А.Ф. ЗУБКОВ, К.А. АНДРИАНОВ, Т.И. ЛЮБИМОВА**

# **ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ГОРЯЧИХ СМЕСЕЙ**

*Допущено УМО вузов РФ по образованию в области железнодорожного транспорта и транспортного строительства в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» направления подготовки «Транспортное строительство»*



Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2009

УДК 625.7/8  
ББК 0311-044  
3-913

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор  
кафедры «Строительные материалы»  
Липецкого государственного технического университета  
**Б.А. Бондарев**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений»  
Тамбовского государственного технического университета  
**В.В. Леденёв**

**Зубков, А.Ф.**  
3-913 Технология устройства покрытий нежесткого типа из асфальтобетонных горячих смесей : учеб. пособие / А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, Т.И. Любимова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 80 с. – 300 экз. – ISBN 978-5-8265-0792-6.

Рассмотрены вопросы технологии устройства дорожных покрытий нежесткого типа с учётом температурных режимов горячих асфальтобетонных смесей. Представлен анализ применяемых технологий устройства покрытий при разных условиях производства работ и показаны физические процессы, протекающие в слоях покрытия при применении асфальтобетонных горячих смесей.

Предназначено для аспирантов и студентов 4, 5 курсов, обучающихся по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» направления подготовки «Транспортное строительство».

УДК 625.7/8  
ББК 0311-044

ISBN 978-5-8265-0792-6

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет» (ТГТУ), 2009

Учебное издание

ЗУБКОВ Анатолий Фёдорович,  
АНДРИАНОВ Константин Анатольевич,  
ЛЮБИМОВА Татьяна Ивановна

ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА  
ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА  
ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ  
ГОРЯЧИХ СМЕСЕЙ

Учебное пособие

Редактор Ю.В. Шиманова  
Инженер по компьютерному макетированию Т.А. Сынкova

Подписано в печать 26.03.2009.  
Формат 60 × 84/16. 4,65 усл. печ. л.  
Тираж 300 экз. Заказ № 124

Издательско-полиграфический центр  
Тамбовского государственного технического университета  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог достигается в процессе строительства и зависит от качества используемого материала, принятой технологии, выбранного механизированного звена машин и условий производства работ.

Значительное место в достижении требуемого качества строительства занимает технология устройства дорожных покрытий. В настоящий момент наибольшее применение при строительстве, ремонте и реконструкции автомобильных дорог находят асфальтобетонные покрытия, на долю которых приходится свыше 60 % от общей протяженности дорог.

При устройстве асфальтобетонных покрытий из горячих смесей температура является основным фактором, влияющим на эксплуатационные показатели покрытия. В зависимости от конкретных условий строительства (конструкции покрытия, погодных-климатических факторов, применяемого оборудования и свойств смесей) температура смеси меняется в установленных интервалах, что влияет на выбор принимаемой технологии и продолжительность операций по обеспечению требуемого качества работ.

Для достижения требуемого качества покрытия и повышения эффективности применяемого механизированного звена машин необходимо знать влияние разных факторов на технологические процессы при устройстве покрытий и выбор их параметров производить с учётом свойств смесей.

В учебном пособии обобщены современные технологии строительства дорожных асфальтобетонных покрытий с учетом действующих нормативных документов и полученных результатов исследований по данному вопросу за последние годы. В пособии использованы материалы исследований Н.В. Горелышева, А.А. Шестопалова, Т.Н. Калашниковой, В.Б. Пермякова, Е.Б. Локшина и других авторов, посвящённых строительству дорожных покрытий с применением горячих асфальтобетонных смесей.

Содержание учебного пособия соответствует программе дисциплины «Технология и организация строительства автомобильных дорог» по специальности 291000 (270205) – «Автомобильные дороги и аэродромы» направления подготовки дипломированных специалистов 653600 (270200) – «Транспортное строительство».

Авторы выражают признательность рецензентам: доктору технических наук, профессору Б.А. Бондареву, доктору технических наук, профессору В.В. Леденеву за ценные замечания, позволившие улучшить содержание учебного пособия.

## ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

### 1.1. РАЗНОВИДНОСТИ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Асфальтобетонными смесями называют рационально подобранную смесь минеральных материалов (щебня, гравия, песка с минеральным порошком или без него) с битумом, взятых в определённых соотношениях и перемешанных в нагретом состоянии [3].

Асфальтобетонные смеси классифицируются следующим образом:

- по виду минеральной составляющей: щебёночные, гравийные и песчаные;
- в зависимости от вязкости применяемого битума и температуры смеси при укладке:
  - *горячие*, приготавливаемые с использованием вязких (БНД 40/60, 60/90, 90/190, 130/200, 200/300) и жидких (СГ 130/200) нефтяных дорожных битумов и укладываемых при температуре не менее 120 °С;
  - *холодные*, приготавливаемые с использованием жидких нефтяных дорожных битумов (СГ 70/130, 130/200) и укладываемых с температурой не менее 5 °С;
- по размеру минеральных зёрен:
  - *крупнозернистые*, с размером зёрен до 40 мм;
  - *мелкозернистые*, с размером зёрен до 20 мм;
  - *песчаные*, с размером зёрен до 5 мм;
- по величине остаточной пористости:
  - *высокоплотные*, с остаточной пористостью от 1,0 до 2,5 %;
  - *плотные*, с остаточной пористостью свыше 2,5 до 5,0 %;
  - *пористые*, с остаточной пористостью свыше 5,0 до 10,0 %;
  - *высокопористые*, с остаточной пористостью свыше 10,0 до 18,0 %;
- в зависимости от содержания щебня (гравия) горячие смеси подразделяются на типы:
  - *А* – с содержанием щебня свыше 50 до 60 %;
  - *Б* – с содержанием щебня свыше 40 до 50 %;
  - *В* – с содержанием щебня свыше 30 до 40 %.

Горячие песчаные смеси в зависимости от вида песка подразделяются на типы:

- *Г* – на песках из отсевов дробления, а также на их смесях с природным песком, при содержании последнего не более 30 % по массе;
- *Д* – на природных песках или смесях природных песков с отсевами дробления, при содержании последних не менее 70 % по массе.

Асфальтобетонные смеси в зависимости от показателей физико-механических свойств и применяемых материалов подразделяются на марки (табл. 1) [3].

Прочность и морозостойкость щебня и гравия для горячих смесей в зависимости от марок и типов должна соответствовать показателям, приведённым в табл. 2.

Рекомендуемые марки битума, используемые при приготовлении горячих асфальтобетонных смесей, зависят от дорожно-климатической зоны строительства автомобильной дороги и представлены в табл. 3.

Для устройства верхних слоёв дорожной одежды используют смеси высокоплотные и плотные марки I, характеризующиеся высокими прочностными показателями и обладающими устойчивостью к воздействию погодных-климатических факторов в процессе эксплуатации дорог.

При строительстве дорожных покрытий в два слоя используется раздельная укладка смеси. В этом случае материал слоя покрытия регламентирован СНиП [6] и зависит от категории дороги (табл. 4).

В нижние слои покрытия укладывают крупнозернистые смеси, в верхний – мелкозернистые или песчаные смеси. Для обеспечения безопасности движения в верхние слои покрытия укладывают смеси с большим содержанием щебня (тип А) или отсевов дробления (типы Б, Г).

Минимальная толщина дорожной одежды в уплотнённом состоянии приведена в табл. 5.

## 1. Разделение горячих смесей по маркам

Вид и тип смесей	Марка
Горячие:	
– высокоплотные	I
– плотные, типов:	
А	I, II
Б, Г	I, II, III
В, Д	II, III
– пористые и высокопористые	I, II

## 2. Прочностные показатели щебня и гравия в зависимости от марок и типов смесей

Наименование показателя	Значения для смесей марки							
	I			II			III	
	Горячих, типа:		Пористых и высокопористых	Горячих, типа:		Пористых и высокопористых	Горячих, типа:	
	А, Б (высокоплотных)	Г		А, Б	Г		Б, В	Г, Д
Марка по прочности песка и отсевов дробления горных пород и гравия	800	1000	600	600	800	400	400	600
Содержание глинистых частиц, определяемое методом набухания, % по массе, не более	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0

### 3. Область применения асфальтобетонов при устройстве верхних слоёв покрытий автомобильных дорог и городских улиц

Дорожно-климатическая зона	Вид асфальтобетона	Категория нормативной нагрузки					
		I, II, III		IV		V	
		Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума
I	Плотный и высокоплотный	I	БНД 90/130 БНД 130/20 БНД 200/30	II	БНД 90/130 БНД 130/20 БНД 200/30 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/20	III	БНД90/130 БНД130/20 БНД200/30 СГ130/200 МГ130/200 МГО130/20
II, III	Плотный и высокоплотный	I	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД130/20 БН90/130	II	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД130/20 БНД200/30 БН60/90 БН90/130 БН130/200 БН200/300	III	БНД 60/90 БНД90/130 БНД130/20 БНД200/30 БН60/90 БН90/130 БН130/200 БН200/300 СГ130/200 МГ130/200 МГО130/20
IV, V	Высокоплотный	I	БНД 40/60 БНД 60/90 БН 40/60 БН 60/90	II	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН40/60 БН 60/90 БН90/130	III	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН90/130

#### Примечания:

1. Для городских скоростных и магистральных улиц и дорог следует применять асфальтобетоны из смесей видов и марок, рекомендуемых для дорог I и II категорий; для дорог промышленно-складских районов – рекомендуемых для дорог III категории; для остальных улиц и дорог – рекомендуемых для дорог IV категории.

2. Битумы марок БН рекомендуется применять в мягких климатических условиях, характеризующихся средними температурами самого холодного месяца года выше минус 10 °С.

3. Битум марки БН 40/60 должен соответствовать технической документации, утверждённой в установленном порядке.

#### 4. Материал слоя покрытия при раздельной укладке покрытия

Категория дороги	Материал слоя покрытия	
	Верхнего	Нижнего
I, II	Горячие смеси для плотного асфальтобетона типов А, Б, В и Г марки I	Горячие смеси для пористого асфальтобетона марки I
II	Горячие смеси для плотного дёгтебетона типа Б марки I	Горячие смеси для пористого дёгтебетона марки I
III	Горячие смеси для плотного асфальтобетона типов А, Б, В, Г и Д марки II Холодные асфальтобетонные смеси типов Б <sub>х</sub> , В <sub>х</sub> и Г <sub>х</sub> марки I Горячие смеси для плотного дёгтебетона типов Б и В марок I и II, а также песчаные смеси марки I	Горячие смеси для пористого асфальтобетона марки II Горячие смеси для высокопористого асфальтобетона марки I Горячие смеси для пористого дёгтебетона марок I и II
IV	Горячие смеси для плотного асфальтобетона типов Б, В, Г и Д марки III Холодные асфальтобетонные смеси типов Б <sub>х</sub> , В <sub>х</sub> , Г <sub>х</sub> и Д <sub>х</sub> марки II Горячие смеси для плотного дёгтебетона типов Б и В и песчаные смеси марки II Холодные дёгтебетонные мелкозернистые и песчаные смеси марки II	Горячие смеси для пористых асфальтобетона и дёгтебетона марки II Каменные материалы, обработанные органическим вяжущим Горячие и тёплые смеси для высокопористого асфальтобетона марки I –
IV и первая стадия двухстадийного строительства дорог III категории	Каменные материалы, обработанные органическими вяжущими методами смешения в установке, пропитки, смешения на дороге, поверхностной обработки (слоя износа)	–

Примечания:

1. Асфальтобетонные смеси должны отвечать требованиям ГОСТ 9128–97, дёгтебетонные – ГОСТ 25877–83.
2. Для однослойных покрытий применяются материалы, указанные для верхнего слоя покрытия.
3. В районах I дорожно-климатической зоны не следует предусматривать устройство покрытий из холодных асфальтобетонных смесей.  
В районах I и V дорожно-климатических зон не следует предусматривать устройство покрытий из дёгтебетонных смесей.
4. В населённых пунктах при устройстве покрытий с применением каменноугольных дёгтей и смол на них обязательно должен быть устроен защитный слой из асфальтобетонной смеси толщиной не менее 4 см или двойной поверхностной обработки с применением битума.

#### 5. Минимальная толщина асфальтобетонных слоёв

Асфальтобетон	Минимальная толщина слоя (см) в зависимости от категории дороги	
	Скоростные и магистральные I, II	III, IV
Крупнозернистый	7	6
Мелкозернистый	5	3
Песчаный	4	3



## **1.2. АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ К ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

Увеличение интенсивности движения и повышение осевой нагрузки от транспортных средств на дорожные покрытия предъявляют повышенные требования к качеству устройства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей. Особенностью строительства таких покрытий является зависимость всех процессов, начиная от момента приготовления смеси и до окончания уплотнения покрытия, от температуры асфальтобетонной смеси.

Устройство дорожных покрытий с применением горячих асфальтобетонных смесей производится механизированным звеном машин, параметры которого должны обеспечить заданный темп строительства и соответствовать принятой технологии производства работ. Достичь требуемые транспортно-эксплуатационные показатели асфальтобетонных покрытий можно только в процессе строительства при условии выполнения предъявляемых требований к материалам и технологическим процессам, связанным с приготовлением, транспортировкой, распределением и уплотнением горячих асфальтобетонных смесей.

Действующими нормативными документами [3] предъявляются требования к качеству применяемых материалов и технологическим процессам при приготовлении асфальтобетонных смесей. По окончании приготовления горячая смесь перемещается в накопительный бункер, что позволяет сохранить требуемую температуру смеси в течение определённого времени, устранить неравномерность при её подаче в транспортные средства и сократить время на загрузку. Однако существующие конструкции бункеров для хранения горячей асфальтобетонной смеси в недостаточной степени предохраняют их от окислительных процессов, влияющих на качество смеси.

Транспортировка смеси к месту строительства покрытия производится автосамосвалами. Для уменьшения потерь тепла при перемещении смеси к месту производства работ используют транспортные средства большой грузоподъёмности, требующие при загрузке значительной массы смеси. В этом случае загрузка транспорта осуществляется за несколько приёмов. При загрузке смесями типов А и Б с одной стоянки наблюдается разделение материала по гранулометрическому составу, что способствует в дальнейшем к неоднородности смеси при укладке в покрытия.

Температура смеси при отгрузке потребителю регламентирована и зависит от типа смеси и марки битума. Минимальная температура смеси при укладке установлена рекомендациями [1], что позволяет определять дальность транспортировки смеси. Следует учесть, что для транспортировки горячих смесей часто используют транспорт общего назначения без применения дополнительного оборудования (чехлы, брезент). Это способствует повышению темпа охлаждения смеси и уменьшает время нахождения смеси в заданном температурном интервале. При транспортировке смеси за счёт отдачи тепла в окружающую среду и стенкам кузова автосамосвала происходит снижение температуры на поверхности объёма смеси, это приводит к неравномерности распределения температуры по её объёму. Распределение и уплотнение горячей смеси с разной температурой и гранулометрическим составом является причиной образования на поверхности покрытия участков с разными прочностными характеристиками, коэффициентами уплотнения и водопроницаемостью, что приводит к образованию дефектов покрытия в процессе эксплуатации дороги.

В зависимости от типа смеси нормативными документами предусмотрены разные температурные режимы укладки и уплотнения. В тоже время для приготовления смеси заданного типа используется битум разных марок, от которого зависят температурные режимы укладки и уплотнения смесей [3, 6]. Достичь заданную прочность асфальтобетона и требуемого коэффициента уплотнения можно только при соблюдении температурных режимов укладки и уплотнения смесей при соответствующих параметрах уплотняющих машин. Экспериментально доказано [1], что уплотнение при пониженной температуре смеси с применением тяжёлых катков позволяет обеспечить высокий коэффициент уплотнения (0,995 – 0,996). Однако прочность асфальтобетона в этом случае снижается.

Распределение и предварительное уплотнение горячей смеси производится асфальтоукладчиком, параметры которого выбираются с учётом заданного темпа устройства дорожного покрытия. В зависимости от параметров асфальтоукладчика и свойств смесей производится выбор уплотняющих машин. Обеспечить непрерывность работ по устройству покрытия возможно при согласовании скоростных режимов механизированного звена машин с учётом времени работы каждой машины в заданных температурных интервалах смеси, что возможно только при учёте конкретных условий производства работ. Допустимая продолжительность операций по укладке и уплотнению горячих

асфальтобетонных смесей зависит от конструктивных параметров покрытия, свойств используемых материалов и погодных условий.

В настоящее время за основу определения продолжительности устройства покрытия с применением горячих смесей положены экспериментальные данные, полученные при конкретных условиях производства работ [1, 5]. В действительности условия производства работ отличаются между собой, что необходимо учитывать при выборе технологии и назначении режимов укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей.

Уплотняющие машины эффективно работают при условии, когда контактные напряжения не превышают предела прочности уплотняемого материала и по величине близки к нему. Предел прочности горячего асфальтобетона зависит от температуры. Прочностные характеристики в процессе уплотнения зависят также от толщины слоя и степени предварительного уплотнения смеси [2].

Величина напряжений под вальцом зависит от параметров катка, свойств уплотняемого материала и конструктивных параметров покрытия. При работе катка, за счёт изменения деформативной способности горячего асфальтобетона, меняется площадь контакта вальца, что приводит к росту напряжений в зоне контакта вальца катка. Однако рост контактных напряжений под его вальцом отстаёт от увеличения предела прочности асфальтобетона, связанного с изменением его свойств. В зависимости от прочностных характеристик горячего асфальтобетона и силового параметра вальца каждый каток соответствует заданным температурным интервалам, в пределах которых достигается определённый эффект от его воздействия. Для повышения качества устройства покрытия и эффективности работы уплотняющих машин выбор параметров необходимо осуществлять с учётом прочностных характеристик применяемого материала.

### **1.3. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОКРЫТИЙ НА ВЫБОР МАШИН ДЛЯ УКЛАДКИ И УПЛОТНЕНИЯ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

Заключительной стадией строительства автомобильных дорог является укладка горячих асфальтобетонных смесей и уплотнение слоёв покрытия. Изменение свойств материала с учётом времени предъявляют повышенные требования к технологическим процессам, связанным с укладкой и уплотнением горячих асфальтобетонных смесей.

Под действием силового воздействия рабочего органа машины на уплотняемый материал минеральные частицы сближаются между собой, происходит частичное вытеснение защемлённого воздуха и перераспределение свободного битума, заполняющего поры уплотняемой смеси. В результате этого повышается объёмная масса уплотняемого материала, прочность и водоустойчивость покрытия. Обеспечить заданные показатели уплотнения можно при условии, если величина контактных напряжений под вальцом катка близка пределу прочности уплотняемого материала.

Существующие методы расчёта контактных напряжений под вальцом катка позволяют определять только сжимающие напряжения, хотя в зоне контакта возникают и сдвигающие напряжения, влияющие на качество уплотнения. Назначение режимов работы катков без учёта сдвигающих напряжений приводит к некачественному устройству покрытия.

В зависимости от заданного темпа, свойств укладываемого материала, конструкции покрытия и условий производства работ по устройству покрытия производится выбор технологии, для которой выбираются машины и назначаются режимы их работы. При высоких темпах устройства дорожных асфальтобетонных покрытий узким местом является загрузка горячей смесью бункера асфальтоукладчика, влияющая на режим его работы. Для обеспечения непрерывности его работы укладку горячей смеси осуществляют непосредственно на нижележащий слой дорожной одежды (США). Доставка смеси к месту производства работ производится большегрузными автосамосвалами с донной разгрузкой. Регулируя открытие донной заслонки и скорость движения автомобиля, на нижележащем слое покрытия формируют валик смеси сечением, равным толщине укладываемого слоя покрытия. Для подачи смеси в бункер укладчика используют подборщик смеси, который движется перед укладчиком и перегружает смесь из валика в приёмный бункер укладчика. Недостатком данной технологии является интенсивное снижение температуры смеси при её укладке за счёт передачи тепла нижележащему слою покрытия. Применение такой технологии оправдано при высокой температуре окружающего воздуха, когда нижележащий слой покрытия нагревается за счёт солнечной радиации. Впоследствии была разработана более совершенная технология, предусматривающая выгрузку горячей смеси в приёмный бункер перегружателя, откуда она поступает в бункер асфальтоукладчика без формирования валика смеси [4]. Это способствовало разработке перегружателей горячей смеси, что

позволило обеспечить равномерную загрузку бункера асфальтоукладчика, устранить неравномерность укладки смеси, а также температурную и фракционную сегрегацию смеси.

Аналогичные технологии укладки горячей смеси и конструкции перегружателей применяются в европейских странах. Установлено, что при высоких скоростях укладки смеси применение трамбующего бруса неэффективно, поскольку контакт с уплотняемым слоем неравномерен и поверхность принимает вид гребёнки. Коэффициент предварительного уплотнения слоя покрытия составляет 0,8 – 0,85 [1, 4].

Для обеспечения сцепления между слоями дорожной одежды в конструкцию асфальтоукладчика вмонтирован эмульгатор, в котором битумная эмульсия форсунками распыляется на нижележащий слой непосредственно перед укладкой горячей смеси. Такая технология предъявляет жёсткие требования к скорости усадки эмульсии и её составу. Для устранения сегрегации смеси в некоторых конструкциях укладчиков ленточные питатели заменяют шнеками, которые при перемещении смеси дополнительно её перемешивают и обеспечивают равномерность по составу.

Существующими технологиями предусматривается укладка дорожных покрытий в один или два слоя. В настоящее время используются следующие основные технологии укладки горячих смесей [1]:

- 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;

- 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;

- 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.

Ширина укладки во всех случаях составляет 8 – 9 м.

В зависимости от ширины укладываемой полосы применяют разные методы организации работ по укладке покрытий:

- при ширине полосы 1,0 – 12,0 м укладку производят одним асфальтоукладчиком;

- при ширине полосы 9 м и более используют несколько асфальтоукладчиков;

- при одновременной работе нескольких асфальтоукладчиков их располагают уступом относительно друг друга при соблюдении дистанции между ними 10 – 15 м и не более 30 м.

При малых темпах строительства (до 0,4 км/смену) укладку полос производят последовательно. Для обеспечения плотного продольного соединения полос длину первой полосы ограничивают в зависимости от температуры воздуха [1,5].

При одновременной укладке слоёв покрытия с разными по составу смесями применяется немецкая технология «компактасфальт», т.е. «горячее по горячему» [4]. Применение такой технологии укладки смесей

позволяет производить уплотнение покрытия как одного слоя с повышенной толщиной. Выбор параметров асфальтоукладчика производится в зависимости от заданного темпа устройства покрытия. Выбор звена уплотняющих машин производится с учётом коэффициента предварительного уплотнения смеси асфальтоукладчика.

При устройстве покрытия с большой толщиной слоя эффективность уплотнения зависит от толщины укладываемого слоя материала. Принято считать, что при значительной толщине слоя нижняя часть покрытия недоуплотняется. Однако экспериментально установлено, что при условии соблюдения температурных режимов уплотнения, достигаемая плотность покрытия одним слоем толщиной 0,15 м выше, чем при уплотнении покрытия такой же толщины в два приёма (рис. 1).

Средняя пористость асфальтобетонного покрытия, уложенного за один приём, составляет 6,6 %, а покрытия в два приёма – 9,8 %. Из представленных данных видно, что на стыке двух слоёв наблюдается зона пониженной плотности. Объясняется это тем, что при укладке покрытия в два приёма на стыке слоёв резко снижается температура смеси, что и влияет на качество уплотнения покрытия.

При строительстве покрытий из горячих асфальтобетонных смесей в качестве уплотняющих машин применяют самоходные гладковальцовые катки статического, вибрационного действия и катки на пневматических шинах.



**Рис. 1. Распределение плотности асфальтобетона по толщине слоя:**  
 1 – два слоя толщиной по 7,5 см; 2 – один слой толщиной 15 см

В связи с повышением требований к транспортно-эксплуатационным показателям дорожных покрытий к механизированному звену машин предъявляются более жёсткие требования:

- укладка и уплотнение дорожных покрытий должны обеспечивать такую степень уплотнения, при которой не происходит доуплотнения под действием нагрузки от транспортных средств;
- поверхность покрытия не должна иметь открытых пор и трещин, так как в этом случае прекращается доступ воды в покрытие, это способствует повышению его долговечности.

Этим требованиям отвечают самоходные катки на пневматических шинах, что и определило быстрое и широкое их распространение. Наличие регулируемой системы давления в шинах даёт возможность использовать эти машины в наиболее выгодном температурном интервале, обеспечивая при этом диапазон давлений в шинах от 0,25 – 0,8 МПа [5]. Они имеют высокую производительность, прорабатывают слои сравнительно большей толщины, обеспечивают более равномерное распределение плотности по толщине слоя. При уплотнении этими катками на поверхности покрытия не образуется продольных и поперечных волосяных трещин, не происходит дробления каменных составляющих асфальтобетона, что значительно улучшает водонепроницаемость поверхности покрытия.

В то же время применение одних катков на пневматических шинах не обеспечивает достижение требуемого коэффициента уплотнения смеси. Следует отметить неудовлетворительную поперечную и продольную

ровность покрытия. Это объясняется колебаниями катка на упругих пневматических шинах в вертикальной плоскости в процессе его движения, а также наличием зазоров между шинами. Поэтому для обеспечения предъявляемых требований к ровности покрытия катки на пневматических шинах должны работать совместно с гладковальцовыми катками, которые осуществляют предварительную подкатку уложенного слоя асфальтобетонной смеси (лёгкий тип) при недостаточной её деформативной способности и окончательную отделку поверхности покрытия для создания требуемой ровности (тяжёлый тип).

Широкое применение для уплотнения дорожных одежд получили вибрационные катки. Такие катки создают замкнутую поровую структуру. Поскольку большое влияние на уплотняемость асфальтобетонных смесей оказывает гранулометрический состав, поэтому, чем выше содержание крупных каменных составляющих в смеси, тем больше должна быть уплотняющая нагрузка. Установлено, что при применении смесей с содержанием щебня 65 и 70 % и звена уплотняющих машин, состоящего из гладковальцовых катков массой 6 и 10 т, и катка на пневматических шинах массой 15 т, требуемая плотность покрытия не достигается [5]. Поэтому при уплотнении таких смесей целесообразно применять вибрационные катки.

Вибрационные катки имеют высокую производительность, для них требуется более низкое тяговое усилие, они имеют меньшую массу и способны при выключенном вибраторе работать как гладковальцовые катки статического действия. Это привело к значительному увеличению выпуска вибрационных катков практически во всех странах мира. Кроме того, такие катки эффективны при уплотнении других конструктивных слоёв дорожных одежд и некоторых видов грунтов. Например, в США из 196 моделей различных катков на долю пневматических приходится 18 %, статических – 30 % и вибрационных – 52 %, из них самоходных – 33 % и прицепных – 19 %, в Германии около 15 фирм изготавливают более 80 моделей таких катков массой от 0,5 – 100 т.

Анализ выпуска уплотняющих машин в разных странах мира показал, что, если в 1980-х гг. выпуск катков статического действия составлял 50 – 60 %, вибрационного и катков на пневматических шинах – 20 – 25 % от общего количества катков, то в настоящее время основная доля приходится на катки с пневматическими шинами, вибрационного и комбинированного действия. Ряд зарубежных фирм

выпускают вибрационные катки с дистанционным управлением, что позволяет увеличить относительную вынуждающую силу вальца и тем самым повысить эффективность катков. Наблюдается увеличение ширины вальцов (1800 – 2000 мм), что позволяет уменьшить число полос укатки катком. Увеличение же диаметра вальца (1000 – 1600 мм) способствует уменьшению касательных напряжений, что приводит к уменьшению сдвигающих усилий в уплотняемом материале покрытия и улучшению ровности покрытия.

Для каждого типа катка существуют границы деформативного состояния смеси покрытия, зависящие от типа смеси, марки битума и температурных границ, в пределах которых достигается наибольший эффект уплотнения [1, 5]. При укладке смесей типа А и Б асфальтоукладчиком с активными уплотняющими рабочими органами звено уплотняющих машин может состоять из среднего и тяжёлого катков, а также катков на пневматических шинах и вибрационного катка (при соответствующих силовых параметрах). При строительстве покрытий из смесей типа В, Г и Д в звено уплотняющих машин необходимо вводить лёгкий каток. Применение в звене уплотняющих машин вибрационных катков позволяет производить замену лёгких и средних катков статического действия с учётом одинакового уплотняющего эффекта.

#### 1.4. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСИ НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРЯЧЕГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

Процесс уплотнения дорожного покрытия является завершающей стадией, в результате которой происходит активное структурообразование асфальтобетона, влияющего на транспортно-эксплуатационные показатели дорожного покрытия. Недоуплотнённые покрытия в процессе эксплуатации продолжают уплотняться за счёт действия нагрузки от транспортных средств. Из-за недостаточной прочности асфальтобетона возникают пластические деформации, что способствует волнообразованию на поверхности покрытия. Увеличение числа проходов катков приводит к разуплотнению материала покрытия. Для достижения требуемых показателей уплотнения покрытия необходимо соблюдать условие:

$$\sigma_k = (0,9 - 1,0)[\sigma_{пр}], \quad (1)$$

где  $\sigma_k$  – контактные напряжения под вальцом катка, МПа;  $[\sigma_{пр}]$  – предел прочности уплотняемого материала, МПа.

Предел прочности горячего асфальтобетона в процессе уплотнения зависит от температуры, степени уплотнения и толщины укладываемого слоя покрытия. В общем виде предел прочности на сжатие горячего асфальтобетона определяется из зависимости:

$$[\sigma_{пр}] = 0,08 e^{[5,876K_y - 0,697(h/d) - 0,025t_{см}]}, \quad (2)$$

где  $K_y$  – коэффициент уплотнения;  $e$  – основание натурального логарифма;  $t_{см}$  – температура асфальтобетона, °С;  $h/d$  – отношение толщины слоя к дуге контакта вальца катка с материалом.

Способность материала сопротивляться внешней нагрузке оценивается модулем деформации смеси, который зависит от тех же факторов, что и прочность асфальтобетона на сжатие. На практике существует мнение, что при снижении температуры начала уплотнения покрытия и увеличения модуля деформации смеси за счёт повышения вязкости битума, укатку покрытия можно начинать более тяжёлыми катками.

Для уточнения влияния температуры на модуль деформации горячего асфальтобетона в производственных условиях проведены измерения модуля деформации и температуры при свободном охлаждении слоя песчаной асфальтобетонной смеси. Укладка смеси производилась асфальтоукладчиком марки ДС-126А на нижний слой покрытия (толщина слоя 0,06 м). Измерение модуля деформации слоя осуществлялось после предварительной укатки катком массой 1,5 т без вибрации. Результаты измерений представлены на рис. 2. Каждая точка соответствует средней величине 4 – 5 замеров.

Из представленных на рисунке данных видно, что при свободном охлаждении смеси интенсивного роста модуля деформации в интервале температур 85 – 120 °С не происходит.

При укатке асфальтобетонной смеси модуль деформации зависит от силового воздействия вальца катка и снижения температуры смеси. На рис. 3 представлены данные по изменению модуля

деформации смеси при уплотнении слоя покрытия, полученные в производственных условиях (толщина слоя 0,06 м, смесь типа Г). Уплотнение производилось катком ДУ-10А.

Из представленных на рис. 3 данных видно, что после укладки смеси модуль деформации увеличивается с понижением её температуры. С началом укатки за счёт силового воздействия вальца катка происходит более интенсивное приращение модуля деформации, чем от снижения температуры. При последующих проходах интенсивность приращения модуля деформации снижается и при достижении определённого количества проходов рост модуля деформации замедляется. Для получения более высокого модуля деформации смеси необходимо применение других типов катков. При проходах катка с небольшими интервалами во времени, в течение

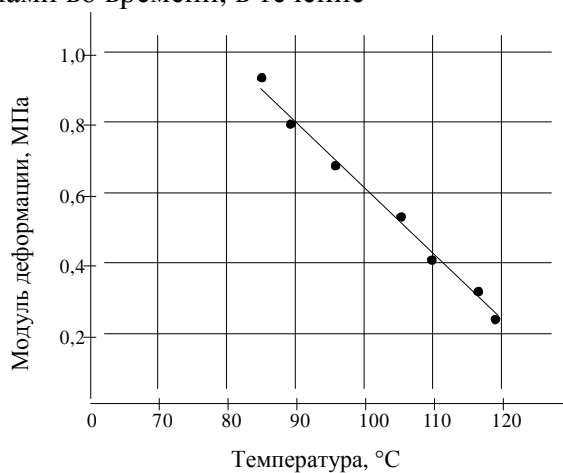


Рис. 2. Зависимость модуля деформации смеси от температуры

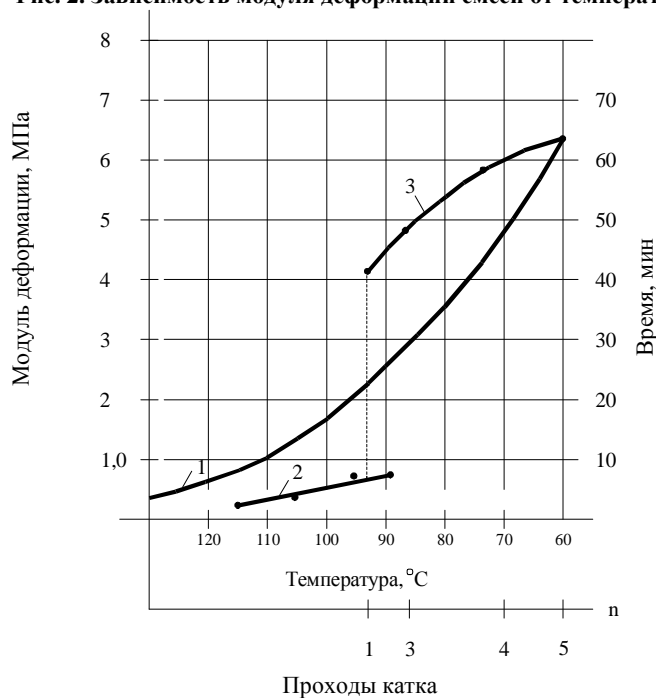


Рис. 3. Изменение модуля деформации в процессе укладки и уплотнения песчаной асфальтобетонной смеси (температура воздуха 26 °C):

1 – изменение температуры поверхности слоя во времени;

2 – зависимость модуля деформации от температуры при свободном охлаждении слоя смеси; 3 – изменение модуля деформации слоя в процессе уплотнения

которого температура смеси снижается, и силы сцепления между частицами увеличиваются, наступает момент, когда приращение модуля деформации за счёт понижения температуры превышает приращение модуля деформации за счёт деформации от вальца катка. В этом случае температуру, при которой пересекаются кривые изменения приращения модулей деформации от снижения температуры смеси и укатки, можно считать окончанием укатки данным типом катка и началом работы более тяжёлого катка.

Выше отмечалось, что качество покрытия зависит от температуры начала уплотнения смеси, которая в свою очередь зависит как от типа смеси и марки битума, так и от конструктивных параметров асфальтоукладчика. Укладка смеси асфальтоукладчиком при неработающем трамбуемом брусом или с помощью автогрейдера обеспечивает коэффициент уплотнения 0,75 – 0,80. Асфальтоукладчики с малоэффективным трамбуемым брусом и статической выглаживающей плитой обеспечивают коэффициент уплотнения 0,84 – 0,87. При таких коэффициентах уплотнения деформативная способность смеси незначительная. В этом случае требуется укатка лёгкими катками или понижение

температуры начала уплотнения, что снижает качество уплотнения. Применение же асфальтоукладчиков с трамбующим брусом и вибрационной выглаживающей плитой обеспечивает коэффициент предварительного уплотнения 0,92 – 0,96 [5].

Анализ характера влияния температуры на предел прочности и модуль деформации горячего асфальтобетона (см. рис. 2, 3) показал, что модуль деформации возрастает более интенсивно со снижением температуры, чем предел прочности смеси. Это говорит о том, что при уплотнении асфальтобетонных покрытий увеличение плотности смеси за счёт повышения давления на контакте рабочего органа катка приводит к появлению пластических деформаций и, следовательно, к снижению качества покрытия. Поэтому для обеспечения требуемых показателей при устройстве покрытий необходим контроль за соответствием деформационно-прочностных характеристик смеси и параметров машин в процессе укатки.

### **Контрольные вопросы к главе 1**

1. Назовите разницу между терминами «асфальтобетонная смесь» и «асфальтобетон».
2. Назовите параметры асфальтобетонной смеси, указанные ГОСТ 9128–97 и их влияние на её свойства.
3. Почему ГОСТ 9128–97 предусматривает определение предела прочности на сжатие асфальтобетона при разных температурах?
4. От каких факторов зависит выбор технологии строительства асфальтобетонного покрытия с применением горячих смесей?
5. Какие параметры смеси приняты существующими нормативными документами за основу при организации работы по устройству асфальтобетонного дорожного покрытия и выборе механизированного звена машин?
6. Дайте характеристику применяемых технологий строительства дорожных покрытий с учётом конкретных условий производства работ у нас в стране и за рубежом.
7. От каких параметров покрытия зависят деформационно-прочностные характеристики горячего асфальтобетона?

### **Основная литература**

1. Строительство и реконструкция автомобильных дорог : СЭД / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2005. – 207с.
2. Гезенцевей, Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцевей. – М. : Транспорт, 1976. – 334 с.
3. ГОСТ 9128–97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромы и асфальтобетон. Технические условия. – М. : МНТКС, 1998. – 18 с.

### **Дополнительная литература**

4. Горячев, М.Г. Технология и организация строительства городских путей сообщения : учеб. пособие. Ч. 2 : Строительство дорожных одежд / М.Г. Горячев. – М., 2003.
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. СНИП 3.06.03–85. Автомобильные дороги. – М. : Госстрой, 1986. – 38 с.

### ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО УСТРОЙСТВУ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

#### 2.1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО УСТРОЙСТВУ ПОКРЫТИЙ ИЗ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

До начала производства работ по устройству асфальтобетонного покрытия необходимо подготовить: генеральный план объекта; технологическую последовательность выполнения работ; схемы движения транспорта в период строительства; схемы движения технологического транспорта; места установки ограждений; места установки светильников (прожекторов) для выполнения работ в вечернее и ночное время; график производства работ с указанием сроков и объёмов работ, подлежащих ежедневному выполнению; необходимое количество механизмов.

Для обеспечения сцепления между слоями покрытия производят подгрунтовку поверхности основания вяжущим материалом, в качестве которого используют битумную эмульсию, жидкий битум или разжиженный вязкий битум, нагретый до необходимой температуры. Поверхность основания перед подгрунтовкой должна быть чистой, ровной, сухой и не иметь дефектов. Качество обработки основания определяется равномерностью распределения вяжущего по поверхности основания. При применении разжиженного битума в качестве связующего материала укладку горячей смеси необходимо производить после испарения разжижителя, продолжительность которого зависит от его свойств, вязкости битума и погодных условий. При использовании битумной эмульсии укладку смеси можно начинать только после распада эмульсии, когда меняется цвет вяжущего (с коричневого на чёрный). Укладку горячей асфальтобетонной смеси рекомендуется производить через 3 – 5 часов после распределения жидкого битума по подготовленному основанию.

Рекомендуются следующие нормы расхода материалов: при обработке жидким битумом – 0,5 – 0,8 л/м<sup>2</sup>, при обработке 50 %-ной битумной эмульсией – 0,4 – 0,7 л/м<sup>2</sup> [1]. Недостаточное количество вяжущего материала для подгрунтовки нижележащего слоя покрытия не обеспечивает достаточного сцепления слоёв между основанием и покрытием. Избыточное количество вяжущего способствует сдвигу слоёв относительно друг друга, что содействует появлению пластических деформаций в покрытии. Подгрунтовку можно не производить, если отсутствует движение транспортных средств и интервал времени между устройством слоёв асфальтобетонного покрытия составляет не более двух суток.

#### 2.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА И ОГРАЖДЕНИЕ МЕСТ ПРОИЗВОДСТВА ДОРОЖНЫХ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ ПОКРЫТИЙ

Организацию движения транспорта и пешеходов и ограждение мест производства дорожных работ следует выполнять в соответствии с нормативными документами [3 – 7].

При составлении схем организации движения в местах производства дорожных работ необходимо выполнение следующих требований:

- предупредить заранее водителей транспортных средств и пешеходов об опасности, вызванной дорожными работами;
- обозначить направление объезда имеющихся на проезжей части препятствий, а при устройстве объезда ремонтируемого участка – его маршрут;
- создать безопасный режим движения транспортных средств и пешеходов, как на подходах, так и на самих участках проведения дорожных работ.

Порядок и способы организации движения транспортных средств и пешеходов в местах производства дорожных работ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог должны обеспечивать безопасность как работающих на дороге, так и всех участников дорожного движения.

До начала работ дорожная организация должна составить привязанные к местности схемы организации движения транспортных средств и пешеходов на участке проведения работ. На схемах показывают геометрические параметры ремонтируемого участка (ширина проезжей части и обочин, радиусы кривых в плане, продольный уклон, тип покрытия и т.д.) с указанием искусственных сооружений, расположением съездов, разъездов и объездов, мест расстановки дорожных знаков,



нанесения при необходимости временной разметки, ограждений, расположения сигнальных фонарей, складирования строительных материалов.

Границами участка дорожных работ считается первое и последнее ограждающее средство, установленное на проезжей части, обочине или тротуаре и изменяющее направление движения. На границах участков дорожных работ следует установить информационные щиты со схемой, на которой указывают вид и характер дорожных работ, сроки их исполнения, наименование организации, проводящей работы, телефоны и фамилии должностных лиц, составивших схему и ответственных за проведение работ.

Схемы организации движения и ограждения мест производства дорожных работ должны быть утверждены руководителем дорожной организации и согласованы с органами ГИБДД. Согласование с ГИБДД производится при выполнении всех видов дорожных работ в пределах полосы отвода. В случае устройства объездов маршруты должны быть согласованы с ГИБДД. В местах краткосрочных дорожных работ (ликвидация ямочности, замена дорожных знаков, разметка проезжей части и т.д.), учитывая подвижный характер их проведения, с органами ГИБДД согласовывают только схемы организации движения и ограждения с указанием границ участков работ без конкретной привязки к местности. При выполнении дорожных работ, связанных с переносом или переустройством инженерных коммуникаций (газопровод, водопровод, кабели и т.д.), схемы организации движения и ограждения мест производства необходимо согласовывать со всеми заинтересованными организациями, а затем с органами ГИБДД.

К обустройству участка работ временными знаками и ограждениями следует приступать только после согласования схемы с органами ГИБДД и её утверждения руководителем дорожной организации.

К выполнению дорожных работ, в том числе размещению дорожных машин, инвентаря, материалов для ремонта, разрешается приступать после полного обустройства места работ всеми необходимыми временными дорожными знаками и ограждениями. Перед началом работ рабочие и машинисты дорожных машин должны быть проинструктированы по технике безопасности и схеме ограждения места работ, о применяемой условной сигнализации, подаваемой жестами и флажками, о порядке движения, маневрирования дорожных машин и транспортных средств в местах разворота, въездах и съездах, местах складирования материалов и хранения инвентаря.

Применяемые при дорожных работах временные дорожные знаки, ограждения и другие технические средства (конусы, вежи, стойки, сигнальные шнуры, сигнальные фонари, разметка и т.д.) устанавливаются и содержат организации, выполняющие дорожные работы.

Ответственность за соблюдение схемы организации движения и ограждения мест производства дорожных работ возлагается на руководителей дорожных хозяйств и на лиц, непосредственно руководящих дорожными работами.

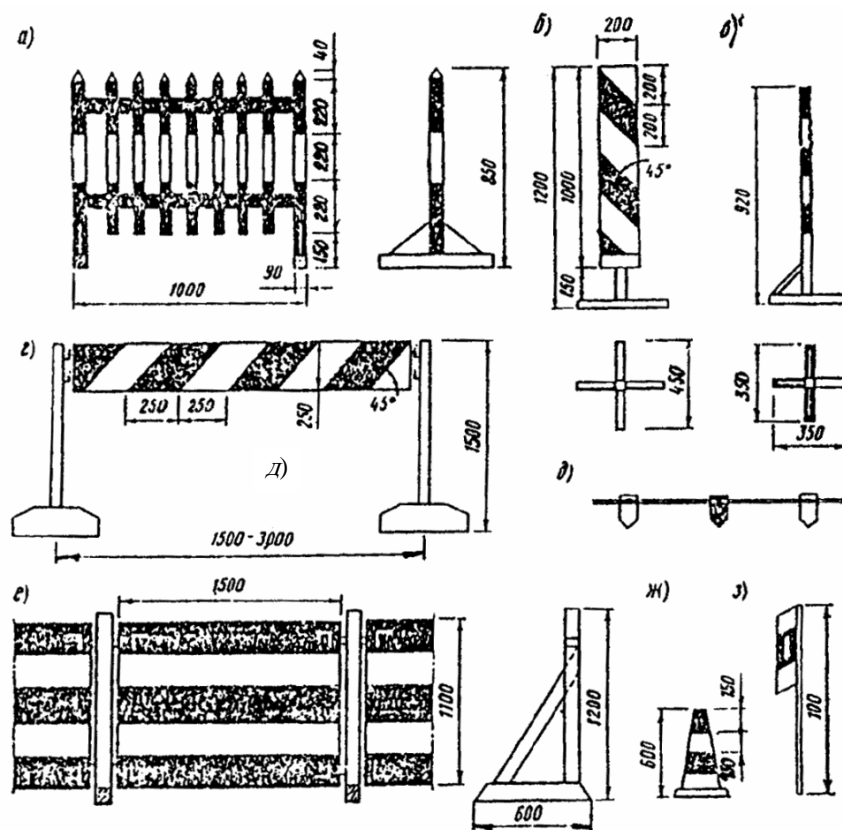
О месте и сроках выполнения дорожных работ в случае устройства объездов или ухудшении условий движения общественного транспорта по ремонтуемому участку дорожная организация должна заблаговременно извещать предприятия общественного транспорта.

**Технические средства организации движения и ограждения мест производства дорожных работ.** Основными средствами организации движения в местах производства дорожных работ являются временные дорожные знаки (те знаки, которые устанавливаются только на время проведения дорожных работ), разметка проезжей части, ограждающие и направляющие устройства и другие технические средства.

*Дорожные знаки.* Временные дорожные знаки, используемые на участках производства дорожных работ, а также на объездах, устанавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ [4]. Форму, расцветку, символы и размеры временных дорожных знаков принимают по ГОСТ [5].

Временные дорожные знаки, как правило, устанавливаются на переносных опорах (рис. 4). Возможна установка знаков на ограждающих щитах или барьерах. Элементы опоры не должны выступать за боковые края знака более чем на 20 см. В плане дорожные знаки надо размещать так, чтобы расстояние от края проезжей части до ближайшего к ней знака было не менее 0,5 м.

Дорожные знаки, установленные ранее на эксплуатируемой дороге в местах производства дорожных работ, должны быть сняты, если их информация противоречит информации временных дорожных знаков.



**Рис. 4. Ограждения и направляющие устройства:**

- а – штакетный барьер; б – направляющая вежа; в – деревянная стойка;  
 г – барьер с деревянной или металлической перекладиной;  
 д – сигнальный шнур с цветными флажками; е – инвентарный щит;  
 ж – направляющий конус; з – сигнальный флажок

*Ограждающие, направляющие устройства и другие технические средства.* Ограждающие средства (переносные барьеры, инвентарные щиты, стойки, вежи, конусы, сигнальные флажки), вспомогательное оборудование (шнуры с цветными флажками, сигнальные фонари, переносные светофоры) являются необходимыми элементами организации движения на участках дорожных работ.

Направляющая вежа (рис. 4, б) состоит из щитка и металлической опоры, щиток с обеих сторон окрашивают полосами белого и красного цвета шириной 200 мм под углом 45°.

Деревянные стойки (рис. 4, в) состоят из конусной рейки, окрашиваемой чередующимися полосами красного и белого цвета, и крестовины.

Направляющие конусы (рис. 4, ж) могут быть выполнены из листовой стали, резины или других материалов, должны легко сдвигаться при наезде на них автомобилей, быть устойчивыми к опрокидыванию воздушным потоком, создаваемым проезжающими транспортными средствами. Окрашивают конусы чередующимися горизонтальными полосами красного и белого цвета шириной 150 мм.

Стойки, вежи и направляющие конусы используют для ограждения мест работ и как средство, обеспечивающее плавное изменение направления движения при объезде мест работ, а также при переводе движения с одной полосы дороги на другую. Их необходимо устанавливать так, чтобы опорная часть, наиболее удалённая от ограждаемого участка работ, находилась на расстоянии не более 0,5 м от него.

При выполнении дорожных работ, связанных с разрывом земляного полотна (устройство подземных переходов, прокладка коммуникаций), в качестве ограждающих устройств могут быть использованы инвентарные щиты (рис. 4, е).

Ограждающие барьеры переносного типа с перекладинами (рис. 4, г) устанавливают главным образом поперёк проезжей части, чтобы закрыть движение по всей ширине или по одной стороне проезжей части, за 5 – 10 м перед границей места работы с двух сторон. При необходимости пропуска внутрипостроечного транспорта в местах въезда автомобилей устанавливают шлагбаумы.

Штакетный барьер (рис. 4, а) состоит из стоек, крестовин и обрешётки. Верхнюю и нижнюю части барьера окрашивают в красный цвет, среднюю в белый или жёлтый.

Сигнальные шнуры (рис. 4, в), используемые для ограждения мест работ, закрепляют к установленным штакетным барьерам, вежам или конусам. Высота подвески шнуров над поверхностью дороги должна быть не менее 80 см.

Сигнальный флажок (рис. 4, з) состоит из металлического щитка и опоры. На щиток с обеих сторон наносят полосу чёрного цвета шириной 150 мм под углом 45°, на которой закрепляется световозвращающий элемент красного цвета размером 40 × 100 мм.

При длительных сроках проведения работ наряду со средствами организации движения, приведёнными ранее, рекомендуется применять временную дорожную разметку. При этом постоянная разметка, если она противоречит целям организации движения, на период ремонта должна быть ликвидирована или покрашена серой краской, либо должны быть установлены знаки, разрешающие водителям отступать от её требований.

Временную разметку наносят в соответствии с требованиями ГОСТ [6].

Расстановку знаков, ограждающих и направляющих устройств необходимо осуществлять с конца участка, наиболее удалённого от места работ, причём в первую очередь со стороны, свободной от дорожных работ. Сначала устанавливают дорожные знаки, затем ограждающие и направляющие устройства. Снятие знаков, ограждающих и направляющих устройств производится в обратной последовательности.

На дорогах вне населённых пунктов для обеспечения видимости ограждающие и направляющие устройства в тёмное время суток должны быть снабжены световозвращающими элементами размером 5 × 5 см, а на автомагистралях размером 10 × 10 см, закреплёнными на верхней перекладине ограждающих устройств через 0,5 м. В случае проведения дорожных работ в застроенной местности место работ должно быть обозначено сигнальными фонарями и иметь освещение в соответствии с нормативными документами. На автомагистралях, оборудованных осветительными установками, зона дорожных работ должна быть обозначена сигнальными фонарями, установленными на переносных барьерах или щитах. Их размещают из расчёта 1 фонарь на 1 м длины барьера или щита, установленного поперёк дороги. Если инвентарные щиты устанавливают вдоль дороги, то фонари размещают на них через 15 м, при этом барьеры и щиты должны быть оборудованы устройствами для крепления фонарей.

Цвет сигнальных огней или световозвращающих элементов, применяемых совместно с ограждающими устройствами, должен быть красным.

Сигнальные фонари устанавливают на высоте 1,5 – 2 м над уровнем проезжей части. Мощность ламп в светильниках не должна превышать 15 – 25 Вт. Расстояние их видимости при нормальной прозрачности атмосферы должно равняться 100 – 300 м. Они не должны вызывать ослеплённых участков движения. Сигнальные фонари включают с наступлением вечерних сумерек, выключают с окончанием утренних сумерек. В дневное время фонари включают при наличии дымной мглы или тумана. Допускается установка мигающих сигнальных фонарей с частотой мигания 50 – 80 в минуту.

Особо опасные места (траншеи, котлованы, ямы, устраиваемое при укреплении обочин корыто глубиной 0,1 м и более) необходимо ограждать, применяя сигнальные шнуры или направляющие конусы, а также инвентарные щиты или барьеры, которые устанавливают на всём протяжении зоны работ через 15 м и оборудуют сигнальными фонарями. При отсутствии электрического освещения такие места в тёмное время суток должны быть обозначены факелами. В населённых пунктах ограждающие щиты или барьеры оборудуют сигнальными фонарями, которые зажигают с наступлением сумерек.

Для сохранения оптимальной пропускной способности дороги не следует без необходимости ограничивать скорость движения в местах дорожных работ менее 40 км/ч (исключение составляют участки, когда геометрические параметры дороги, качество покрытия, условия работ или погодные условия не позволяют осуществлять движение с большей скоростью). Для плавного изменения скоростей транспортных средств перед участком дорожных работ необходимо производить последовательное снижение скорости ступенями с шагом не более 20 км/ч. Временные дорожные знаки, регламентирующие ступенчатое ограничение скоростей, располагают друг от друга на расстоянии не менее 100 м.

Все технические средства организации движения, связанные с проводимыми работами, после завершения работ следует немедленно убирать.

Выбор схемы организации движения зависит от вида и места производства работ с учётом местных условий движения. Более подробно способы организации движения и типы применяемых технических средств при проведении дорожных работ рассмотрены в [3, 7]. Пример размещения технических средств организации в местах производства дорожных работ показан на рис. 5.

**Техника безопасности при выполнении дорожных работ.** Ежедневно перед началом ремонтных работ необходимо проверить наличие технических средств, предусмотренных схемой, и при необходимости заменить пришедшие в негодность или установить отсутствующие средства.

Дорожные машины и оборудование должны быть окрашены в ярко-жёлтый цвет с нанесёнными на габаритные части полосами красного цвета. На период тёмного времени суток, если в этот период не



интервалах. Для обеспечения условий разгона и торможения при работе катков длина уплотняемой полосы должна быть более 10 – 15 м, т.е. должно соблюдаться условие [1, 2]:

$$S_y \geq [S], \quad (3)$$

где  $[S]$  – рекомендуемая предельно-минимальная длина участка уплотнения, м;  $S_y$  – длина полосы, укладываемой асфальтоукладчиком за это же время работы, м (см. (4)).

Длина укладываемой полосы для работы первого и последующих катков определяется с учётом рабочей скорости укладчика и времени охлаждения смеси в заданных температурных интервалах:

$$S_y = V_{a/y} \tau_y, \quad (4)$$

где  $V_{a/y}$  – рабочая скорость асфальтоукладчика, м/мин;  $\tau_y$  – время укладки, зависящее от температуры смеси при укладке и начала уплотнения катками, мин.

Рабочая скорость асфальтоукладчика зависит от заданного темпа устройства покрытия, условий производства работ и находится в пределах от 1,2 до 21,64 м/мин [1]. Для обеспечения непрерывности устройства покрытия необходимо, чтобы длина укладываемой полосы асфальтоукладчиком была равна длине захватки каждой уплотняющей машины механизированного звена в заданном температурном интервале смеси. Длина захватки, укладываемой за проход асфальтоукладчика, зависит от возможности одновременной работы нескольких машин по укладке смесей. Для обеспечения сопряжения смежных полос укладки длина полосы горячей смеси асфальтоукладчиком регламентирована, зависит от температуры воздуха и определяется выражениями:

– на открытых участках

$$L = 18,92 e^{0,0583 t_b};$$

– на закрытых участках

$$L = 21,95 e^{0,063 t_b}; \quad (5)$$

– на двух полосах

$$L = 42,67 e^{0,0049 t_b},$$

где  $L$  – длина участка, м;  $t_b$  – температура окружающего воздуха, °С.

Температура укладки смесей зависит от марки битума и регламентирована нормативным документом [1, 3]. Минимально допустимая температура смеси при укладке в зависимости от температуры воздуха, вязкости битума и толщины слоя должна соответствовать рекомендациям [1]. Установлено, что увеличение температуры смеси при укладке от 100 до 160 °С способствует повышению коэффициента уплотнения слоя ( $K_y$ ) и уменьшению водонасыщения. Дальнейшее повышение температуры смеси не оказывает существенного влияния на качество предварительного уплотнения [1, 7].

Режимы работы асфальтоукладчика (скорость движения, параметры вибрационной плиты и трамбующего бруса) влияют на степень предварительного уплотнения горячей смеси. Для смесей типа А рабочая скорость асфальтоукладчика оказывает существенное влияние на качество укладки смеси. При скорости укладки 1 м/мин и оптимальных параметрах вибрационной плиты коэффициент предварительного уплотнения слоя ( $K_y$ ) равен единице, что соответствует нормативной плотности покрытия по окончании работы уплотняющих машин [6]. Для смеси типа Б величина  $K_y$  равняется 0,92. При увеличении скорости укладки смеси его значение уменьшается независимо от типа смеси. Для смесей типов В и Г рабочая скорость укладки смеси существенного влияния на величину  $K_y$  не оказывает, его численное значение составляет 0,9 и менее.

На основании сказанного можно сделать вывод, что при укладке горячих смесей типа А для получения высокого коэффициента предварительного уплотнения рабочая скорость асфальтоукладчика должна быть в пределах 1 – 2 м/мин. При укладке смесей других типов скорость асфальтоукладчика не имеет существенного значения и для достижения требуемых показателей покрытия необходимо применять звено катков.

Наибольший эффект уплотнения достигается при высоких температурах смеси, когда битум имеет наименьшую вязкость. Однако при таких температурах он имеет незначительную клеящую способность и при снятии нагрузки происходит восстановление объёма материала за счёт малой адгезии битума и значительного влияния расклинивающей силы плёнки [2]. Уплотнение покрытия катками при высокой температуре смеси и недостаточной деформативной способности слоя практически невозможно. Поэтому на практике приостанавливают начало процесса укатки пока не снизится температура смеси и покрытие не приобретёт требуемую деформативную способность. Установлено, что при укладке смесей типов А и Б асфальтоукладчиком с вибрационной плитой и трамбуемым брусом модуль деформации в три раза выше, чем при укладке этих смесей укладчиком с пассивным рабочим органом. Поэтому при укладке смесей типов А и Б возможно исключить из звена уплотняющих машин лёгкие катки, а процесс укатки вести средними и тяжёлыми катками. В качестве среднего катка может быть рекомендован вибрационный, который первые проходы осуществляет без включения вибратора. При укладке мелкозернистых и песчаных смесей в звено уплотняющих машин необходимо включать лёгкие катки, так как деформативная способность смеси незначительная и применение катков среднего типа в начале укатки способствует образованию пластических деформаций, что снижает качество уплотнения.

Экспериментально установлено, что в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы асфальтоукладчика коэффициент предварительного уплотнения смеси ( $K_y$ ) колеблется в широких пределах, что влияет на выбор звена уплотняющих машин (табл. 6).

Ранее отмечалось, что температура горячих асфальтобетонных смесей, отгружаемых потребителям в зависимости от применяемого вяжущего, находится в пределах 160 – 110 °С. Существующими нормативными документами [3] дальность транспортировки горячих асфальтобетонных смесей не регламентирована и пригодность смеси к укладке производится в виде контроля за температурой поставляемой смеси. Температура смеси

## 6. Влияние типа укладчика на коэффициент предварительного уплотнения смеси ( $K_y$ )

Тип укладчика	Без трамбуемого бруса или автогрейдером	С малоэффективными трамбуемым брусом и статической выглаживающей плитой	С одинарным трамбуемым брусом и выглаживающей вибрационной плитой	С двойным трамбуемым брусом и выглаживающей вибрационной плитой
Коэффициент уплотнения ( $K_y$ )	0,75 – 0,8	0,84 – 0,87	0,9 – 0,92	0,94 – 0,96

в начале уплотнения рекомендована нормативным документом, что позволяет определять температурные границы укладки горячих асфальтобетонных смесей в покрытия.

Продолжительность укладки горячих асфальтобетонных смесей зависит от температуры и типа поставляемой смеси, климатических условий производства работ и конструктивных параметров покрытия. С учётом влияния этих факторов время укладки слоя горячей асфальтобетонной смеси в дорожное покрытие имеет вид:

$$\tau_{ук} = K_h K_{Tc} K_v K_M K_{oc} e^{a/t_b}, \quad (6)$$

где  $K_h$  – коэффициент, зависящий от толщины укладываемого слоя покрытия (согласно СНиП толщина дорожной одежды должна быть не менее 0,03 м из песчаного асфальтобетона, 0,07 м для крупнозернистого);  $t_b$  – температура воздуха, град;  $K_{Tc}$  – коэффициент, зависящий от температуры смеси при укладке;  $K_v$  – коэффициент, зависящий от скорости ветра, м/с;  $K_M$  – коэффициент, характеризующий температуру в начале и конце укладки, зависящий от типа смеси и марки битума;  $K_{oc}$  – коэффициент, учитывающий температуру основания.

Опыт строительства дорожных покрытий с применением горячих асфальтобетонных смесей показал, что после распределения смеси по нижележащему слою (в зависимости от дальности транспортировки смеси и температуры воздуха) встречаются участки покрытия с более низкой температурой, что говорит о неоднородности температуры смеси по укладываемой полосе покрытия. Образование таких участков на поверхности покрытия объясняется неравномерностью охлаждения смеси при её транспортировке за счёт отдачи тепла стенкам кузова транспортных машин и в окружающую среду. Разница в температурах смеси на таких участках может достигать до 25 – 35 °С, что снижает качество укладки и последующего уплотнения смеси. Помимо этого при транспортировке на значительные расстояния наблюдается гранулометрическая неоднородность асфальтобетонной

смеси, способствующая образованию участков с разными физико-механическими свойствами покрытия. Наличие таких участков способствует неравномерности достигаемой плотности, прочности и низкой деформативной способности готового покрытия, что при эксплуатации дороги приводит к снижению его работоспособности. Для устранения отмеченных недостатков ряд зарубежных фирм применяют перегрузчики смеси из транспортных машин в бункер перегрузчика. Впервые такую машину применила фирма Roadtec (США), впоследствии их стали выпускать ведущие фирмы Германии и Швеции (рис. 6).

Применение перегрузчика горячей смеси позволяет устранить эффект расслоения смеси при её транспортировке и обеспечивает равномерное распределение температуры по всему объёму за счёт перемешивания её в бункере шнеком. Использование такой машины позволяет также устранить

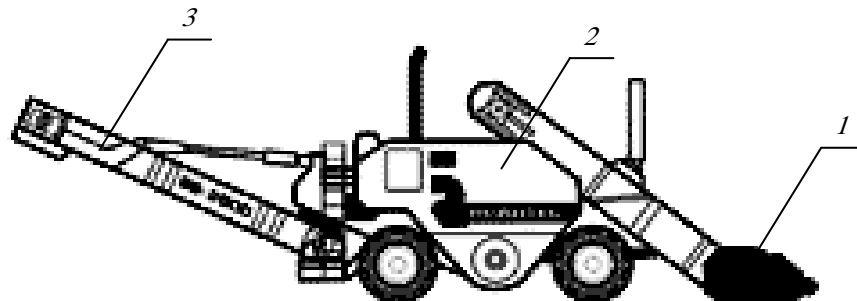


Рис. 6. Схема перегрузчика горячей асфальтобетонной смеси Shuttle Buggy:  
1 – передний бункер; 2 – основной бункер со шнеком;  
3 – ленточный конвейер

контакт асфальтоукладчика с транспортными машинами при разгрузке смеси, что предотвращает удары и толчки при её разгрузке, способствующие неравномерности укладки смеси в покрытия.

#### 2.4. РАСЧЁТ ДОПУСТИМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ УПЛОТНЕНИЯ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Обеспечение заданных параметров покрытия возможно в определённом температурном интервале укладываемой смеси с учётом её свойств и параметров уплотняющих машин.

Температура начала укатки покрытия катками регламентирована [1, 3]. Температура окончания укатки не регламентируется существующими рекомендациями и в зависимости от типа смеси принимается в интервалах 80 – 60 °С. Для приготовления смесей заданного типа используют битумы разных марок. Установлено, что для смесей с битумами марок БН и БНД нижняя температура эффективного уплотнения меняется в интервале 94 – 42 °С [2]. Поэтому при определении температуры окончания укатки необходимо учитывать не только тип смеси, но и марку битума.

Обеспечение требуемых качеств покрытия возможно при условии, что уплотняющие машины за время нахождения смеси в заданном температурном интервале обеспечат необходимое количество проходов по одному следу при соответствующей рабочей скорости движения.

Эффективность уплотнения разных типов катков различна. Одинаковая плотность при равных условиях производства работ обеспечивается в зависимости от типа катка за разное число проходов по следу (рис. 7).

Различие в результатах уплотнения можно объяснить разным характером силового воздействия на асфальтобетонную смесь вальцами статического и вибрационного действия катка на пневматических шинах.

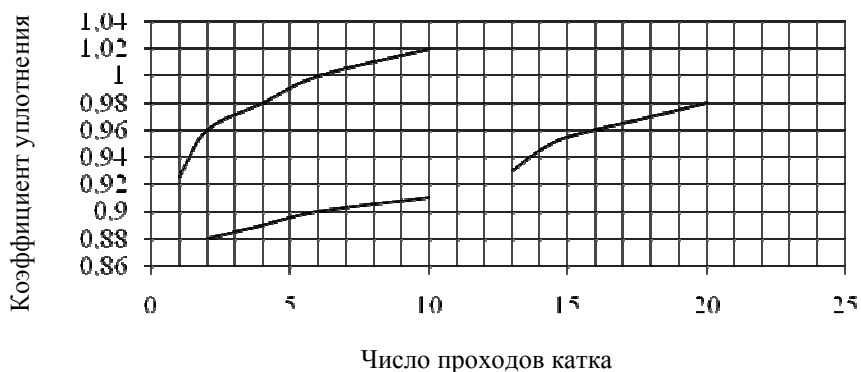


Рис. 7. Влияние типа катка на коэффициент уплотнения:  
1 – вибрационный каток массой 10 т;  
2 – каток на пневматических шинах массой 12 т;  
3 – каток статического действия массой 10 т

Для обеспечения технологических режимов уплотнения покрытий необходимо знать время работы машины в заданных температурных интервалах с учётом свойств укладываемого материала и производственных условий строительства.

Установлено, что в общем виде допустимое время работы дорожных катков определяется зависимостью, мин:

$$\tau_{уп} = K_{тс} K_v K_b K_m K_o K_{удс} K_\lambda e^{\alpha_b}, \quad (7)$$

где  $K_{тс}$ ,  $K_v$ ,  $K_b$ ,  $K_m$ ,  $K_\lambda$ ,  $K_{удс}$ ,  $K_o$  – безразмерные коэффициенты, численные значения которых представлены в табл. 10.

Для достижения требуемых показателей качества уплотнения покрытия необходимо, чтобы уплотняющие машины за время нахождения смеси в заданном температурном интервале обеспечили требуемое количество проходов с заданными скоростями движения катков. Звено уплотняющих машин выбирается в зависимости от технических характеристик принимаемого асфальтоукладчика и получаемого после распределения смеси коэффициента предварительного уплотнения смеси.

### Контрольные вопросы к главе 2

1. С какой документацией необходимо ознакомиться до начала производства работ, и какие работы надо выполнить до начала устройства покрытия нежесткого типа?
2. Где необходимо размещать временные дорожные знаки, указывающие на производство работ по устройству и ремонту дорожного покрытия?
3. Перечислите методы организации движения транспортных средств в пределах участка производства работ в зависимости от ширины дорожного покрытия и интенсивности движения транспортного потока.
4. От чего зависит продолжительность производства работ по устройству дорожного покрытия с использованием горячих асфальтобетонных смесей?
5. Назовите минимально допустимую температуру укладки горячей асфальтобетонной смеси с учётом марки битума.
6. Перечислите необходимые мероприятия, которые необходимо выполнить на участке производства работы по обеспечению безопасности движения транспортных средств в ночное время.

### Основная литература

1. Строительство и реконструкция автомобильных дорог : СЭД / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2005. – Т. 1. – 207 с.
2. Горельшев, Н.В. Технология и организация строительства автомобильных дорог : учебник / Н.В. Горельшев. – М. : Транспорт, 1991. – 551 с.
3. ВСН 37–84. Инструкция по организации движения и ограждению места производства дорожных работ.
4. ГОСТ Р 52289–2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств (взамен ГОСТ 23457–79).
5. ГОСТ Р 52290–2004. Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования (взамен ГОСТ 10807–78).
6. ГОСТ Р 51256–99. Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Типы и основные параметры. Общие технические требования.
7. Схемы организации движения и ограждения мест производства дорожных работ (пособие производителю работ). – Информационный центр по автомобильным дорогам ФДС России, 1998.

### Дополнительная литература

8. Истомин, В.С. Практическое руководство по текущему ремонту асфальтобетонных покрытий городской дорожной сети / В.С. Истомин. – М. : Прима-Пресс, 2001. – 58 с.



**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПЛОТНЯЮЩИХ МАШИН НА ДОСТИЖЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА**

**3.1. ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ САМОХОДНЫХ КАТКОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД**

Достижение требуемых показателей уплотнения дорожных покрытий нежесткого типа обеспечивается катками с жестким вальцом. Анализ существующих технологий и применяемых машин для строительства покрытий нежесткого типа показал, что широкое распространение получили самоходные вибрационные катки. Обладая более высокой уплотняющей способностью, они практически вытеснили гладковальцовые катки статического действия. Анализ технических характеристик этих катков, выпускаемых в разные периоды времени, позволяет сделать вывод, что их параметры претерпели существенные изменения с течением времени. Для замены катков статического действия вибрационными при работе на начальной стадии уплотнения в статическом режиме стали увеличивать массу катков. На рис. 8 представлены зависимости изменения массы вибрационных катков за период с 1970 по 2007 гг. Из данных зависимостей видно, что увеличение массы вибрационных катков, в статическом режиме, в настоящий момент достигло массы катков статического действия лёгкого и среднего типов.

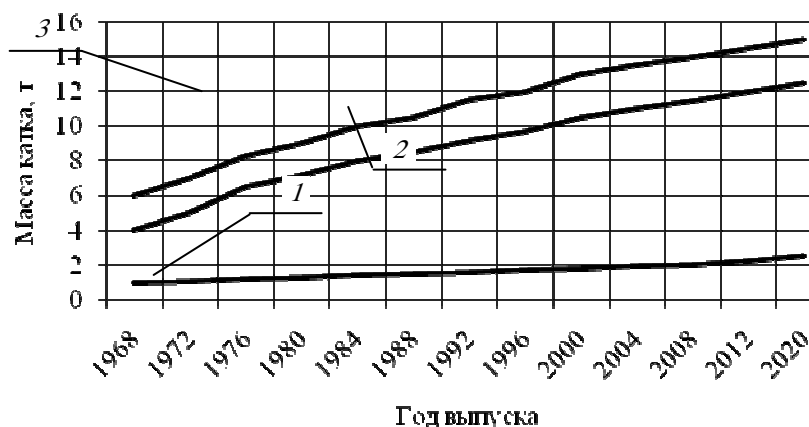


Рис. 8. Изменение массы самоходных вибрационных катков по годам:  
1 – управляемые; 2 – тандем; 3 – комбинированные

Приведённые зависимости можно представить выражениями:

– управляемые

$$Q = 49,75 \ln t - 376,3;$$

– тандем

$$Q = 348,56 \ln t - 2639; \tag{8}$$

– комбинированные

$$Q = 382,63 \ln t - 2895,6,$$

где  $t$  – год, характеризующий массу катка;  $Q$  – масса катка, т.

На основании установленных закономерностей можно сделать вывод, что к 2020 г. масса вибрационных катков может достигнуть: управляемые – 2,5 – 3,0 т; тандем – 12 – 13 т; комбинированные – 15 – 16 т.

Дальнейшее увеличение массы вибрационных катков можно считать нецелесообразным, так как вибрационные катки при работе в динамическом режиме по уплотняющему эффекту заменяют более тяжёлые катки статического действия. Применение таких катков позволяет уменьшить количество

используемых машин в механизированных звеньях и одновременно повысить эффективность их применения.

При уплотнении упруго-вязко-пластического материала, к которому относится горячий асфальтобетон, уплотняющая способность вибрационного катка зависит как от параметров машины, так и от свойств материала. При одинаковом силовом воздействии под действием динамической нагрузки затухание напряжений по толщине уплотняемого слоя происходит интенсивнее, чем при действии статической нагрузки. Следует заметить, что увеличение массы катка при фиксированных остальных его параметрах (диаметр и ширина вальца) способствует росту контактных напряжений и приводит к нарушению установленного закона уплотнения. С учётом этого при возрастании массы катка увеличивают ширину вальца, что позволяет повысить производительность катков.

Анализ параметров существующих катков (ширина и диаметр вальца, вынуждающая сила и её частота колебаний) показал, что они также изменились с течением времени. С повышением радиуса вальца увеличивается его контактная поверхность, что приводит к снижению контактных напряжений. Увеличение диаметра вальца приводит к росту остальных параметров катка, что способствует увеличению габаритных размеров и массы катка. На рис. 9 представлена зависимость изменения диаметра вальца от его массы.

Для обеспечения устойчивости машины при производстве работ с увеличением диаметра вальца увеличивают его ширину. Анализ современных катков показал, что между диаметром вальца и его шириной существует линейная зависимость. В тоже время установлено различие в отношении между этими параметрами. Если раньше это соотношение принималось в пределах (0,8 – 1,2), то для современных катков оно составляет 0,65.

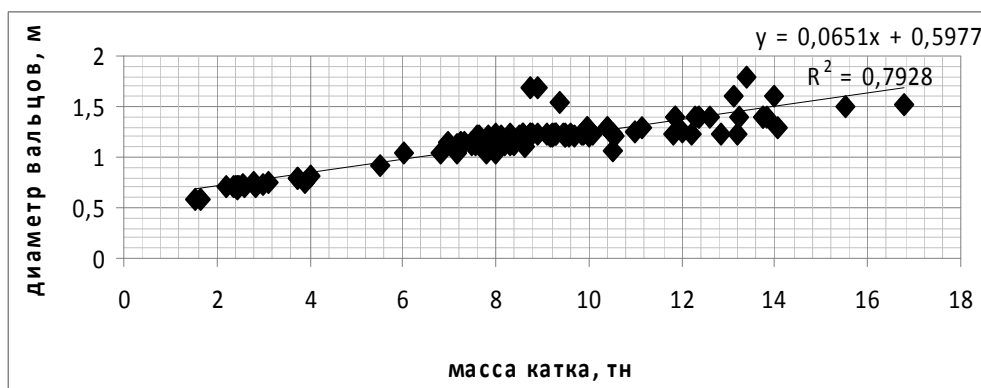


Рис. 9. Зависимость диаметра вальца от массы катка

Существующими рекомендациями по выбору типа катка при составлении звена уплотняющих машин за основной параметр принята масса катка. Это положение можно считать справедливым при условии, если ширина вальца является величиной постоянной. Проведённый анализ существующих параметров катков показал, что при одной и той же массе ширина вальца может быть разной. Поэтому выбор параметров катка с учётом только его массы не всегда способствует выбору эффективного типа катка. Более объективным параметром, характеризующим передачу нагрузки на уплотняемый материал, является линейное давление вальца, т.е. нагрузка на 1 см ширины вальца. На рис. 10 представлена зависимость линейного давления вальца катка от его массы.

Из представленной на рис. 10 зависимости видно, что между линейным давлением вальца и его массой существует также линейная зависимость. Передача усилия от вальца катка на уплотняемый материал происходит через площадь контакта вальца с уплотняемым материалом, которая зависит от свойств уплотняемого материала и параметров катка.



Рис. 10. Зависимость линейного давления вальца катка от его массы

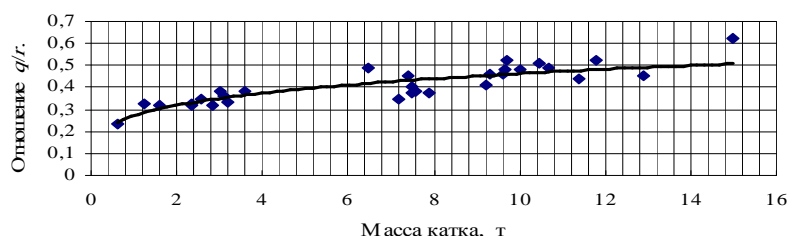


Рис. 11. Влияние силовых параметров вальца в статическом режиме от массы катка

Таким обобщающим параметром, характеризующим силовое воздействие вальца на материал, является отношение  $Q/Br$  (кН/м<sup>2</sup>) или  $q/r$ , где  $q$  – линейное давление вальца (кН/м),  $Q$  – масса катка, т;  $B$  – ширина вальца, м;  $r$  – радиус вальца, м.

Зависимость силового параметра вальца в статическом режиме от массы катка представлена на рис. 11. При увеличении массы катка до 5 т наблюдается интенсивный рост. При дальнейшем увеличении массы катка интенсивность снижается. Данная зависимость может быть аппроксимирована уравнением:

$$q/r = 0,27 Q^{0,229}, \text{ кН/см}^2, \quad (9)$$

где  $Q$  – масса катка, т.

Установлено, что уплотняющая способность вибрационного катка зависит от параметров вибрации. В зависимости от свойств уплотняемого материала и режима работы катка величина вынуждающей силы должна быть разной. В результате статистической обработки параметров выпускаемых катков установлено, что между массой катка и вынуждающей силой существует прямая зависимость. Для повышения эффективности вибрационных катков применяют вибрацию в обоих вальцах. На рис. 12 представлена зависимость вынуждающей силы вибрационного вальца от его массы для катков типа тандем с обеими вибрационными вальцами.

Из представленных на рис. 12 зависимостей видно, что и при такой конструктивной схеме катков между вынуждающей силой и массой вальца существует линейная зависимость. Установлено, что эффективность воздействия вальца на уплотняемый материал определяется относительной вынуждающей силой, представляющей собой отношение вынуждающей силы к силе тяжести вальца и приходящейся на него части массы рамы катка. Экспериментально доказано, что при уплотнении асфальтобетонных покрытий максимальный эффект достигается при частоте колебаний 40 – 60 Гц.

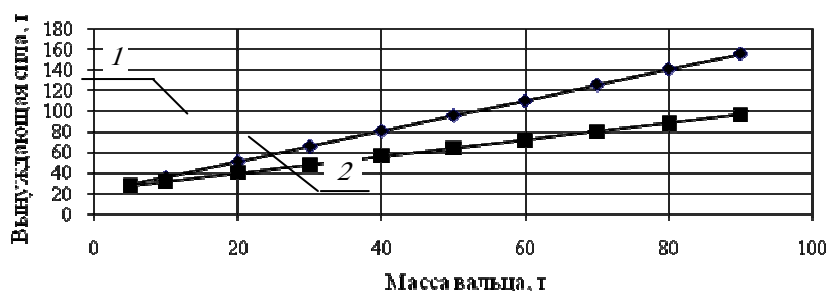


Рис. 12. Зависимости между нагрузкой от вальца и вынуждающей силой:  
1 – ведомый валец; 2 – ведущий валец

Наблюдающаяся тенденция роста вынуждающей силы с увеличением массы катка способствует интенсивному росту контактных напряжений, что может привести к процессу разуплотнения. Поэтому с увеличением массы катка уменьшают вынуждающую силу. На рис. 13 представлены зависимости изменения относительной вынуждающей силы от массы катка.

При работе катка в динамическом режиме силовой ( $Q/Br$ ) параметр катка меняется в зависимости от величины вынуждающей силы и определяется отношением  $(Q + P)/Br$ , где  $P$  – вынуждающая сила, кН.

На основании статистической обработки параметров современных катков установлены закономерности изменения силового параметра вибрационного вальца катка при разных режимах работы, которые представлены на рис. 14.

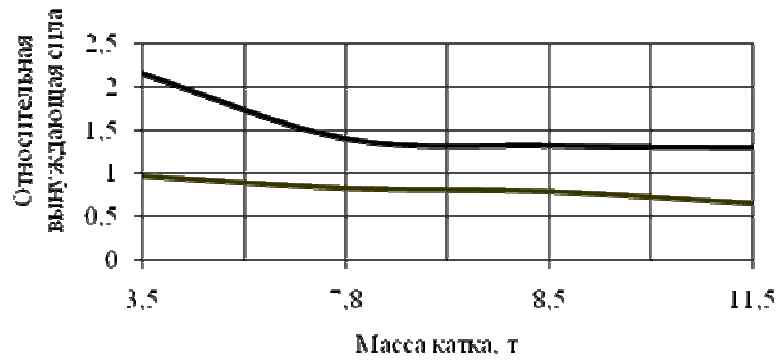


Рис. 13. Зависимость относительной вынуждающей силы вальца от массы катка:

1 – масса катка; 2 – масса вибрационного вальца и части рамы катка

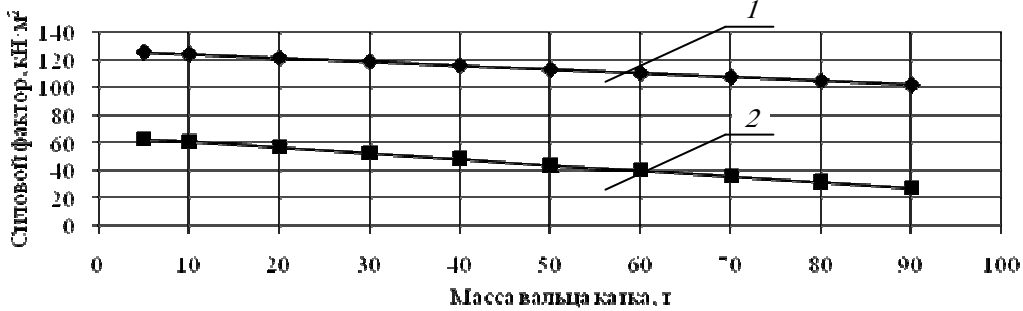


Рис. 14. Влияние силового воздействия вальца от его массы:

1 – при работе в динамическом режиме; 2 – при работе в статическом режиме

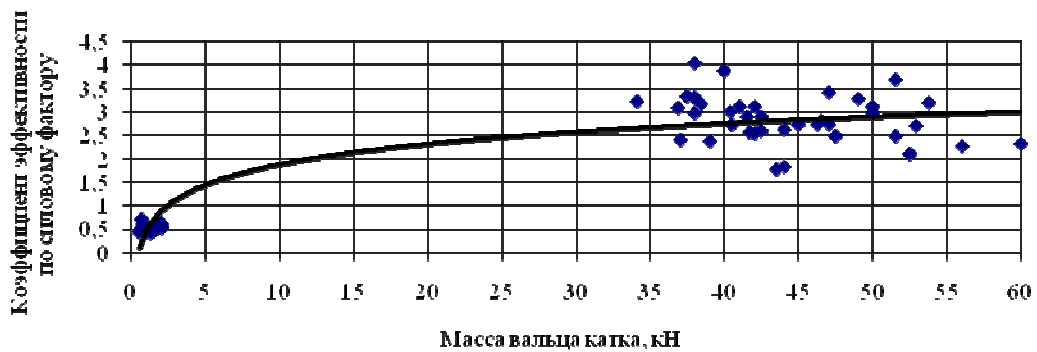


Рис. 15. Зависимость коэффициента эффективности вибрационного катка от массы вальца

Вопрос эффективности вибрационных катков по отношению к каткам статического действия рассматривается в ряде работ. Отмечается, что эффективность работы вибрационного катка зависит от относительной вынуждающей силы, частоты колебаний и свойств уплотняемого материала. В результате обработки параметров современных вибрационных катков установлена зависимость коэффициента эффективности катка от массы вальца, которая представлена на рис. 15 (за коэффициент эффективности принято отношение силовых факторов катка при работе в динамическом и статическом режимах).

Из представленного на рис. 15 графика видно, что в зависимости от массы вальца и параметров вибрации, характеризующих тип катка, коэффициент эффективности для современных машин находится в пределах от 2 до 4.

Конструктивный анализ современных катков показал, что большинство катков имеют несколько значений вынуждающей силы. Это позволяет менять её величину на разных этапах уплотнения, что расширяет область их применения. Изменение вынуждающей силы возбудителя колебаний возможно за счёт частоты колебаний или статического момента. Установлено, что лучший эффект уплотнения материала достигается при определённой частоте колебаний вибрационного вальца в зависимости от свойств материала. Чем меньше размеры фракций уплотняемого материала, тем выше должна быть частота возбудителя колебаний.

В настоящее время освоен выпуск вибрационных катков, в которых вынуждающая сила меняется за счёт статического момента возбудителя колебаний при его постоянной частоте вращения. С учётом

технологических требований к процессу уплотнения целесообразным является создание такой системы управления вибровозбудителем, которая позволяет менять параметры вибрации независимо друг от друга.

### **3.2. ВЛИЯНИЕ УПЛОТНЯЮЩЕЙ НАГРУЗКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ**

Рост интенсивности движения и увеличение осевой нагрузки от транспортных средств на дорожные одежды предъявляют повышенные требования к транспортно-эксплуатационным показателям асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог, которые можно обеспечить только в процессе строительства. В настоящее время на долю асфальтобетонных покрытий приходится около 60 % общей протяжённости дорог.

Величина достигаемых показателей асфальтобетона в процессе устройства покрытия зависит как от качества применяемого материала, так и принятой технологии строительства. Нарушение технологии при выполнении процессов приготовления горячей смеси, транспортирования, укладки и уплотнения, а также выбор режимов работы механизированного звена машин, без учёта конкретных условий производства работ, приводит к снижению эксплуатационных показателей асфальтобетонного покрытия.

Основными параметрами, характеризующими эксплуатационные показатели асфальтобетона, являются:

- прочность при его различных температурах, характеризующая сопротивление асфальтобетона сжимающим силовым воздействиям от движущегося транспорта при различных температурах окружающего воздуха;
- водостойкость, характеризующая потерю прочности асфальтобетона при его водонасыщении;
- водонасыщение, характеризующее остаточную пористость материала;
- сдвигустойчивость, характеризующая способность материала сопротивляться действию касательных напряжений;
- трещиностойкость, характеризующая сопротивление материала покрытия растягивающим силовым воздействиям при низких температурах.

Значительное влияние на обеспечение требуемых показателей асфальтобетона в процессе эксплуатации оказывает температура горячей смеси на всех этапах устройства покрытия. В процессе эксплуатации дорожного покрытия его транспортно-эксплуатационные показатели также зависят от температуры окружающего воздуха. В летний период, за счёт солнечной радиации, температура асфальтобетонного покрытия может достигать температуры 60 – 70 °С, что приводит к снижению прочностных и деформативных характеристик асфальтобетона, и, как следствие, под действием нагрузок от транспортных средств могут возникать пластические деформации, способствующие образованию волн и колеи на поверхности покрытия. При низких температурах окружающего воздуха объём асфальтобетона уменьшается и в покрытие возникают растягивающие напряжения, способствующие образованию трещин на поверхности покрытия.

Установлено, что обеспечить требуемые эксплуатационные параметры асфальтобетонного покрытия можно только в процессе его устройства при соответствующем выборе силовых параметров уплотняющих машин свойствам применяемых горячих смесей. На рис. 16 представлены зависимости, характеризующие влияние уплотняющей нагрузки на параметры, определяющие эксплуатационные показатели асфальтобетонного покрытия. Данные зависимости получены по результатам обработки экспериментальных исследований. Из данных видно, что достигаемые значения параметров покрытия в процессе уплотнения горячей смеси, характеризующие свойства асфальтобетона и влияющие на работоспособность дорожного покрытия, зависят от напряжений в зоне контакта рабочего органа машины с уплотняемым материалом.

Установлено также, что величина контактных напряжений влияет на получаемую плотность асфальтобетона, которая характеризуется величиной остаточной пористости.

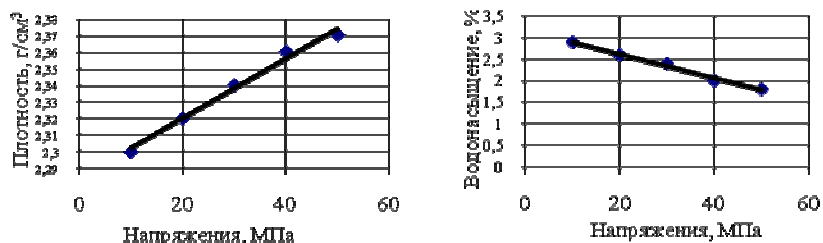


Рис. 16. Влияние контактных напряжений на эксплуатационные показатели асфальтобетона

Экспериментально доказано, что при отсутствии разрушения минерального материала асфальтобетонных смесей в процессе их уплотнения, между достигаемой плотностью, водонасыщением и прочностными параметрами асфальтобетона существуют зависимости. С повышением прочностных характеристик асфальтобетона повышается его устойчивость к образованию трещин на покрытии и возникновению сдвигающих деформаций от действия касательных нагрузок, возникающих при движении транспортных средств.

Существующими документами при устройстве асфальтобетонного покрытия в качестве нормируемого параметра принят коэффициент уплотнения. Практикой строительства дорожных одежд установлено, что обеспечить требуемый коэффициент уплотнения возможно только при условии соответствия контактных напряжений под рабочим органом катка прочностным параметрам горячего асфальтобетона. На основании проведённого анализа взаимосвязи эксплуатационных показателей асфальтобетонного покрытия с величиной уплотняющей нагрузки выявлено, что каждой величине уплотняющей нагрузки соответствуют определенные эксплуатационные показатели асфальтобетона, характеризующие работоспособность дорожного покрытия. Поэтому для обеспечения заданных параметров асфальтобетона выбор параметров уплотняющих машин необходимо производить с учетом свойств горячей смеси.

### 3.3. РАСЧЁТ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОД ЖЁСТКИМ ВАЛЬЦОМ ДОРОЖНОГО КАТКА СТАТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Эффективность работы уплотняющих машин определяется величиной контактных напряжений под вальцом катка. Максимальный эффект достигается при условии, когда контактные напряжения близки пределу прочности уплотняемого материала [2, 4]. При величине контактных напряжений выше предела прочности материала происходит разрушение его структуры, что проявляется в виде пластических деформаций и волнообразования на поверхности покрытия. При незначительных напряжениях обеспечить требуемую плотность материала невозможно. Поэтому выбор катков необходимо производить с учётом их параметров, свойств уплотняемого материала и конкретных условий производств работ.

При работе катка в зоне контакта вальца с поверхностью уплотняемого материала возникают сжимающие и сдвигающие напряжения, которые влияют на процесс уплотнения за счёт перемещения частиц материала в горизонтальной плоскости. Анализ существующих зависимостей для определения сжимающих контактных напряжений показал, что они получены без учёта упругих деформаций и не отражают реальную картину взаимодействия жёсткого вальца с уплотняемым материалом, так как экспериментальные зависимости позволяют определять только нормальные напряжения. Напряжения, возникающие в зоне контакта вальца катка с материалом, зависят от нагрузки и площади контакта. Установлено, что площадь контакта вальца катка с материалом зависит от параметров машины и свойств материала. Параметром, характеризующим процесс взаимодействия вальца с материалом, является угол контакта вальца, величина которого может быть определена из выражений:

– для грунта

$$\beta = \beta_0 - 3,8 \ln (N);$$

– для мелкозернистой смеси

$$\beta = \beta_0 - 3,7 \ln (N); \quad (10)$$

– для крупнозернистой смеси

$$\beta = \beta_0 - 4,09 \ln (N),$$

где  $\beta_0$  – угол контакта при первом проходе;  $N$  – число проходов по одному следу. Коэффициенты корреляции уравнений находятся в пределах 0,94 – 0,98.

Для ведомого вальца статического действия силовым фактором является его масса и часть массы рамы катка, а также толкающее усилие от рамы катка на валец. При взаимодействии ведущего вальца с материалом необходимо учитывать крутящий момент.

Расчётные схемы, моделирующие процесс взаимодействия вальцов катка с материалом, представлены на рис. 17.

Экспериментально установлено, что при уплотнении дорожных покрытий напряжения под металлическим вальцом катка распределяются равномерно по всей его ширине. Поэтому расчёт контактных напряжений по дуге контакта вальца с материалом можно вести как для плоской задачи. Напряжённое состояние частицы (МПа) в зоне контакта вальца с материалом будет определяться:

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_y + \bar{\sigma}_x + \bar{\tau}_y + \bar{\tau}_x + \bar{\sigma}_s + \bar{\tau}_s, \quad (11)$$

где  $\bar{\sigma}_y, \bar{\sigma}_x, \bar{\tau}_y, \bar{\tau}_x, \bar{\sigma}_s, \bar{\tau}_s$  – составляющие общего напряжения частицы от действия вертикальных и горизонтальных силовых факторов.

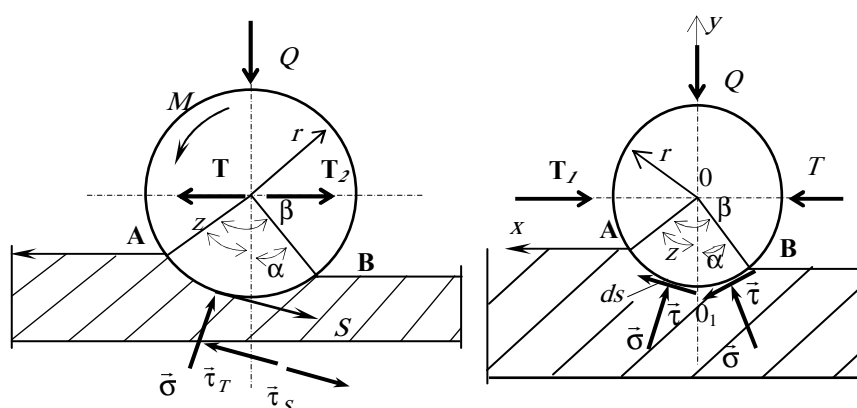


Рис. 17. Схема взаимодействия вальцов катка с уплотняемым материалом:

$Q$  – масса вальца и передаваемая на него нагрузка от рамы катка;

$T$  – толкающее усилие, передаваемое от рамы на валец;

$\beta$  – угол контакта вальца катка с уплотняемым материалом;

$\alpha$  – угол, характеризующий упругую деформацию материала;

$z$  – угол, характеризующий полную деформацию материала под вальцом;

$ds$  – единичная площадка поверхности вальца катка;

$\bar{\sigma}, \bar{\tau}$  – нормальные и касательные напряжения в уплотняемом материале;

$r$  – радиус вальца;  $T_1$  – сила сопротивления движению вальца катка

со стороны уплотняемого материала;  $M$  – крутящий момент, кН · м

Моделируя процесс взаимодействия жёсткого вальца катка с материалом, получены зависимости для определения составляющих общего напряжения под вальцом, которые имеют вид:

– для ведомого вальца

$$\sigma_y = (A_1\varphi + A_2\varphi^2 + A_3\varphi^3 + A_4\varphi^4)/\Delta; \quad \tau_{yF} = (D_1\varphi + D_2\varphi^2 + D_3\varphi^3 + D_4\varphi^4)/\Delta;$$

$$\sigma_x = (B_1\varphi + B_2\varphi^2 + B_3\varphi^3 + B_4\varphi^4)/\Delta; \quad \tau_{xF} = (\Phi_1\varphi + \Phi_2\varphi^2 + \Phi_3\varphi^3 + \Phi_4\varphi^4)/\Delta;$$

(12)

– для ведущего вальца

$$\sigma_y = (A_1\varphi + A_2\varphi^2 + A_3\varphi^3 + A_4\varphi^4)/\Delta; \quad \tau_{xF} = (\Phi_1\varphi + \Phi_2\varphi^2 + \Phi_3\varphi^3 + \Phi_4\varphi^4)/\Delta;$$

$$\sigma_x = (B_1\varphi + B_2\varphi^2 + B_3\varphi^3 + B_4\varphi^4)/\Delta; \quad \sigma_{xS} = (Z_1\varphi + Z_2\varphi^2 + Z_3\varphi^3 + Z_4\varphi^4)/\Delta;$$

$$\tau_y = (D_1\varphi + D_2\varphi^2 + D_3\varphi^3 + D_4\varphi^4)/\Delta; \quad \sigma_{yS} = (O_1\varphi + O_2\varphi^2 + O_3\varphi^3 + O_4\varphi^4)/\Delta,$$

(13)

где  $\varphi$  – угол, характеризующий рассматриваемую точку на дуге контакта вальца с материалом;  $A_i, B_i, D_i, \Phi_i, Z_i, O_i$  – коэффициенты системы уравнений, зависящие от параметров машины и свойств материала, численное значение которых определяется по формулам:

$$\begin{aligned} A_1 &= R\beta^2 [\beta y_2 (C - \beta N) + y_3 (\beta^2 M - C) + y_4 (N - \beta M)]; \\ B_1 &= R\beta^2 \mu [\beta y_2 (\beta W - E) + y_3 (\beta^2 V - E) + y_4 (W - \beta V)]; \\ D_1 &= \mu F\beta^2 [\beta y_2 (-\beta W + E) + y_3 (\beta^2 V - E) + y_4 (W - \beta V)]; \\ \Phi_1 &= F\beta^2 [\beta y_2 (\beta N - C) + y_3 (-\beta^2 M + C) + y_4 (-N + \beta M)]; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} A_2 &= R\beta [\beta^2 y_1 (\beta N - C) + y_3 (C - \beta^3 K) + y_4 (\beta M - N)]; \\ B_2 &= R\beta \mu [\beta^2 y_1 (\beta W - E) + y_3 (E - \beta^3 U) + y_4 (\beta^2 U - W)]; \\ D_2 &= \mu F\beta [\beta^2 y_1 (\beta W - E) + y_3 (E - \beta^3 U) + y_4 (\beta^2 U - W)]; \\ \Phi_2 &= F\beta [\beta^2 y_1 (C - \beta N) + y_3 (\beta^3 K - C) + y_4 (N - \beta^2 K)]; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} A_3 &= R\beta [\beta y_1 (C - \beta^2 M) + y_2 (\beta^3 K - C) + y_4 (M - \beta K)]; \\ B_3 &= R\beta \mu [\beta y_1 (E - \beta^2 V) + y_2 (\beta^3 U - E) + y_4 (V - \beta U)]; \\ D_3 &= \mu F\beta [\beta y_1 (E - \beta^2 V) + y_2 (\beta^3 U - E) + y_4 (V - \beta U)]; \\ \Phi_3 &= F\beta [\beta y_1 (\beta^2 M - C) + y_2 (C - \beta^3) + y_4 (\beta K - M)]; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} A_4 &= R\beta [\beta y_1 (\beta M - N) + y_2 (N - \beta^2 K) + y_3 (\beta K - M)]; \\ B_4 &= R\beta \mu [\beta y_1 (\beta V - W) + y_2 (W - \beta^2 U) + y_3 (\beta U - V)]; \\ D_4 &= F\beta [\beta y_1 (\beta V - W) + y_2 (W - \beta^2 U) + y_3 (\beta U - V)]; \\ \Phi_4 &= F\beta [\beta y_1 (N - \beta M) + y_2 (\beta^2 K - N) + y_3 (M - \beta K)]; \end{aligned} \quad (17)$$

$\Delta$  – определитель системы уравнений, определяется из выражения:

$$\begin{aligned} \Delta &= \beta [y_2 (I_3 I_8 - I_4 I_7) + y_3 (I_4 I_6 - I_2 I_8) + y_4 (I_2 I_7 - I_3 I_6)] - \\ &- \beta^2 [y_1 (I_3 I_8 - I_4 I_7) + y_3 (I_4 I_5 - I_1 I_8) + y_4 (I_1 I_7 - I_3 I_5)] + \\ &+ \beta^3 [y_1 (I_2 I_8 - I_4 I_6) + y_2 (I_4 I_5 - I_1 I_8) + y_4 (I_1 I_6 - I_2 I_5)] - \\ &- \beta^4 [y_1 (I_2 I_7 - I_3 I_6) + y_2 (I_3 I_5 - I_1 I_7) + y_3 (I_1 I_6 - I_2 I_5)], \end{aligned} \quad (18)$$

где

$$\begin{aligned} I_1 &= K + \mu U; \quad I_2 = M + \mu V; \quad I_3 = N + \mu W; \quad I_4 = C + \mu E; \\ I_5 &= U - \mu K; \quad I_6 = V - \mu M; \quad I_7 = W - \mu N; \quad I_8 = E - \mu C; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} K &= -\beta \cos(\beta - z) + \sin(\beta - z) + \sin z; \quad U = \beta \sin(\beta - z) + \cos(\beta - z) - \cos z; \\ M &= -\beta^2 \cos(\beta - z) + 2U; \quad V = \beta^2 \sin(\beta - z) - 2K; \\ N &= -\beta^3 \cos(\beta - z) + 3V; \quad W = \beta^3 \sin(\beta - z) - 3M; \\ C &= -\beta^4 \cos(\beta - z) + 4W; \quad E = \beta^4 \sin(\beta - z) - 4N. \end{aligned} \quad (20)$$



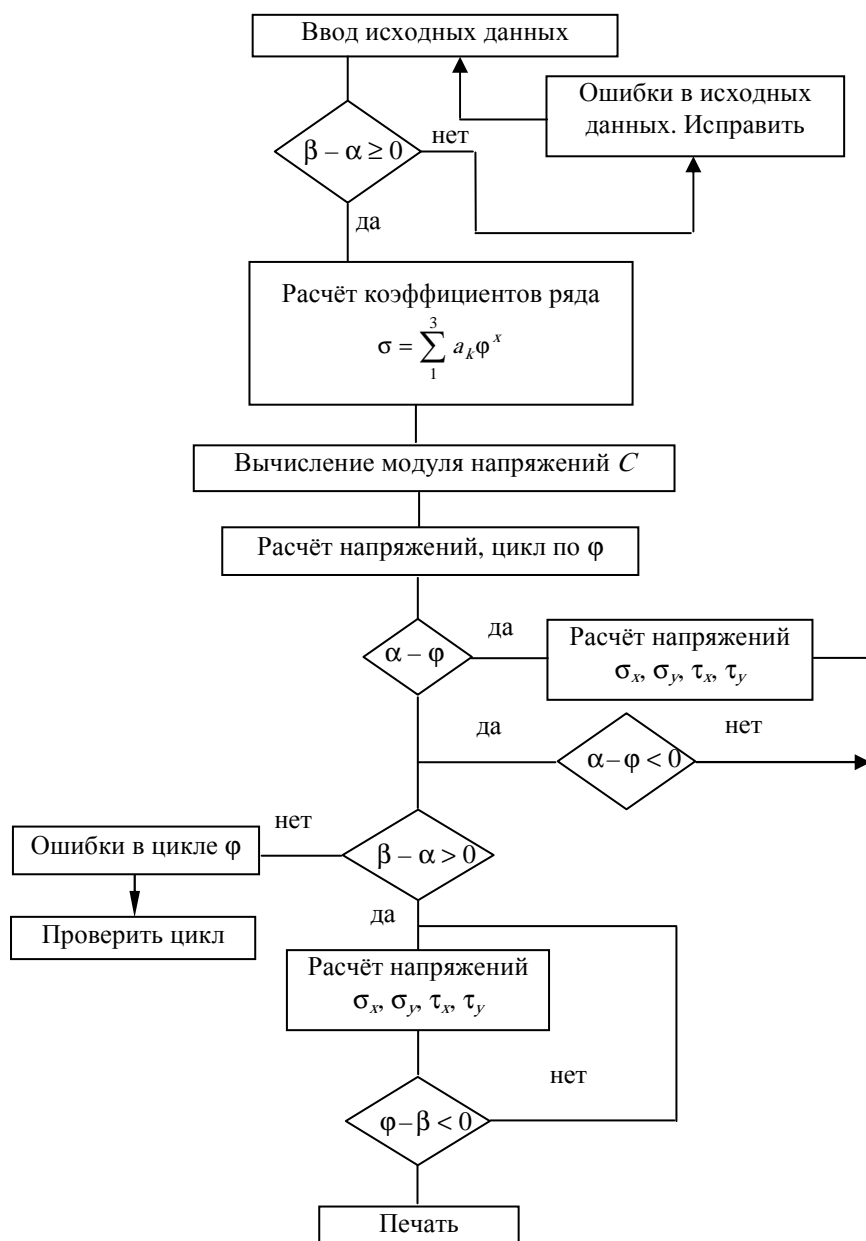


Рис. 18. Блок-схема алгоритма расчёта распределения напряжений по дуге контакта вальца катка с уплотняемым материалом

Для решения полученных уравнений разработана программа, которая позволяет определить напряжение в любой точке дуги контакта вальца катка с учётом свойств материалов и его параметров (рис. 18).

Анализ результатов расчётов напряжённого состояния уплотняемого материала позволяет сделать вывод, что при значительной величине полной деформации материала в начале контакта вальца возникают напряжения, направленные в сторону движения вальца. Это приводит к выдавливанию материала под вальцом в сторону движения, т.е. происходит волнообразование на уплотняемой поверхности, что особенно характерно при недостаточной деформативной способности материала и применения уплотняющих машин с большими линейными давлениями.

### 3.4. РАСЧЁТ НАПРЯЖЕНИЙ ПОД ВАЛЬЦОМ ВИБРАЦИОННОГО КАТКА

Анализ конструкций выпускаемых вибрационных катков может быть представлен схемами, изображёнными на рис. 19. Выпуск моделей катков показывает, что наибольший процент приходится на традиционную схему, когда вибрационный валец является ведущим (42 %), а управляемый валец – статического действия. За последние 10 – 15 лет широкое распространение получили катки с обеими вибрационными и ведущими вальцами, когда они одновременно являются и управляемыми (3 %).

Параметры вибрации оказывают влияние на сцепные качества ведущего вальца и приводят к потере управляемости ведомого вальца, когда он является вибрационным. Поэтому на практике ограничивают величину относительной возмущающей силы катка, что приводит к снижению эффективности воздействия катка на уплотняемый материал. Установлено, что наилучший эффект воздействия вальца

достигается в том случае, когда валец работает в виброударном режиме и за одно колебание происходит один удар вальца о поверхность уплотняемого материала. Схема взаимодействия вибрационного вальца с уплотняемым материалом аналогична схеме взаимодействия вальца катка статического действия. Различие заключается в действии силовых факторов, которые для вибрационного вальца имеют вид:

$$R = \frac{Q - (P - MA\omega^2) \cos \omega t}{Br}; \quad F = \frac{T - (P - MA\omega^2) \sin \omega t}{Br},$$

где  $R$  и  $F$  – величины, характеризующие силовое воздействие вибрационного вальца на уплотняемый материал от действия вертикальных и горизонтальных сил;  $P$  – величина вынуждающей силы;  $\omega$  – частота колебаний вынуждающей силы, рад/с;  $t$  – время, с;  $M$  – масса вальца и приходящейся на него нагрузки от рамы катка;  $A$  – амплитуда колебаний вальца, м.

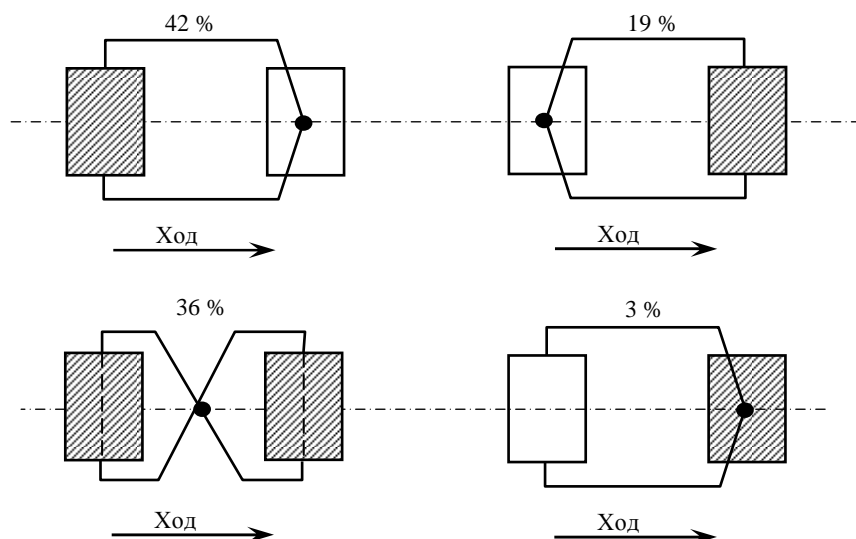


Рис. 19. Основные конструктивные схемы вибрационных катков

В процессе динамического действия возмущающей силы величина коэффициента  $\varphi_{\text{ст}}$  в отличие от вальца статического действия не является величиной постоянной и зависит от параметров вибрации, также как и коэффициент сопротивления движению, что усложняет определение напряжений в контактируемой зоне вибрационного вальца.

Используя те же приёмы, что и при определении контактных напряжений под вальцом катка статического действия, величина контактных напряжений под вальцом катка вибрационного действия имеет вид:

– для ведомого вальца

$$\sigma_y = (A_1\varphi + A_2\varphi^2 + A_3\varphi^3 + A_4\varphi^4)/\Delta; \quad \tau_{yF} = (D_1\varphi + D_2\varphi^2 + D_3\varphi^3 + D_4\varphi^4)/\Delta;$$

$$\sigma_x = (B_1\varphi + B_2\varphi^2 + B_3\varphi^3 + B_4\varphi^4)/\Delta; \quad \tau_{xF} = (\Phi_1\varphi + \Phi_2\varphi^2 + \Phi_3\varphi^3 + \Phi_4\varphi^4)/\Delta;$$

(21)

– для ведущего вальца

$$\sigma_y = (A\varphi + A_2\varphi^2 + A_3\varphi^3 + A_4\varphi^4)/\Delta; \quad \tau_{xF} = (\Phi_1\varphi + \Phi_2\varphi^2 + \Phi_3\varphi^3 + \Phi_4\varphi^4)/\Delta;$$

$$\sigma_x = (B_1\varphi + B_2\varphi^2 + B_3\varphi^3 + B_4\varphi^4)/\Delta; \quad \sigma_{xS} = (Z_1\varphi + Z_2\varphi^2 + Z_3\varphi^3 + Z_4\varphi^4)/\Delta;$$

$$\tau_{yF} = (D_1\varphi + D_2\varphi^2 + D_3\varphi^3 + D_4\varphi^4)/\Delta; \quad \tau_{yS} = (O_1\varphi + O_2\varphi^2 + O_3\varphi^3 + O_4\varphi^4)/\Delta,$$

(22)

где  $A_i, B_i, D_i, \Phi_i, S_i, O_i, Z_i$  – коэффициенты, зависящие от свойств уплотняемого материала, численное значение которых может быть определено по предложенным ранее зависимостям для вальца статического действия.

Из уравнений видно, что величина напряжённого состояния материала зависит от параметров уплотняющих машин ( $R, F$ ) и свойств уплотняемого материала, что подтверждается экспериментальными исследованиями.

Для решения полученных уравнений использована блок-схема алгоритма расчёта напряжений, которая представлена на рис. 18.

### Контрольные вопросы к главе 3

1. Перечислите существующие тенденции в изменении параметров машин, применяемых для дорожного строительства.
2. Как влияют свойства применяемых асфальтобетонных смесей на выбор параметров механизированного звена машин для устройства дорожного покрытия?
3. Какой параметр уплотняющих машин принят нормативным документом за основу при составлении механизированного звена машин?
4. При каких условиях в процессе укатки можно достичь требуемого коэффициента уплотнения асфальтобетона?
5. В каких случаях запрещается применение вибрационных катков для уплотнения горячего асфальтобетона?
6. Что подразумевает термин «уплотняющая способность катка»?
7. Перечислите параметры катков, влияющие на величину напряжений в уплотняемом материале.

### Основная литература

1. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: СЭД / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2005. – Т. 1. – 207 с.
2. Артемьев, К.А. Дорожные машины : учебник. Ч. 2 : Машины для устройства дорожных покрытий / К.А. Артемьев. – М. : Машиностроение, 1982. – 310 с.
3. СНИП 3.06.03–85. Автомобильные дороги. – М. : Госстрой, 1986. – 38 с.
4. Хархута, Н.Я. Дорожные машины / Н.Я. Хархута и др. – Л. : Машиностроение, 1976. – 173 с.

### Дополнительная литература

5. Зубков, А.Ф. Обоснование параметров контакта металлического вальца катка с уплотняемым материалом / А.Ф. Зубков // Научный вестник ВГСУ. – Серия Дорожно-транспортное строительство. – Воронеж, 2004. – Вып. 3. – С. 77 – 84.
6. Уплотняющие машины / В.П. Ложечко, А.А. Шестопапов, В.П. Окунев, Р.Д. Окулов. – Рыбинск : Рыбинский дом печати, 2004. – 79 с.
7. Пермяков, В.Б. Эффективность уплотнения асфальтобетонных смесей в дорожных покрытиях / В.Б. Пермяков // Строительные материалы. – 2005. – № 10. – С. 8–9.

## ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УСТРОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С УЧЁТОМ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

### 4.1. ВЫБОР МЕХАНИЗИРОВАННОГО ЗВЕНА МАШИНЫ ПРИ РАЗНЫХ МЕТОДАХ УПЛОТНЕНИЯ

Анализ применяемых технологий для устройства покрытий показал, что в звено уплотняющих машин назначают катки, отличающиеся как по массе, так и принципу воздействия на уплотняемый материал. С увеличением плотности материала необходимо повышать нагрузку на валец, что является основанием для увеличения массы катка для последующего этапа уплотнения покрытия.

Обеспечение прочностных параметров покрытия достигается в определённых температурных интервалах смеси, которыми определяется продолжительность уплотнения. Учитывая, что продолжительность работы катка определённого типа в установленных температурных интервалах незначительна, стали уменьшать количество полос укатки за счёт увеличения ширины вальца. Ширина вальца при одной и той же массе катка бывает разной, поэтому в качестве критерия иногда принимают линейное давление вальца.

Площадь контакта вальца при одной и той же массе катка и ширине вальца зависит от диаметра. С увеличением диаметра поверхность контакта вальца возрастает, что уменьшает силовое воздействие на уплотняемый материал, а следовательно, на достигаемую плотность асфальтобетона. По величине контактных напряжений, в первом приближении, сравнивают параметры катков. Такой сравнительный анализ параметров катков можно применять при одинаковом методе уплотнения. При назначении катков с разными методами уплотнения сравнение параметров необходимо проводить по необратимой деформации материала, величина которой характеризует не только силовое воздействие вальца, но и время действия нагрузки.

Вибрационный каток по уплотняющему эффекту заменяет более тяжёлый каток статического действия. Известно, что характер колебаний вальца не влияет на качество уплотнения. С увеличением вынуждающей силы ходовые качества катка снижаются. Поэтому величина относительной вынуждающей силы в самоходных вибрационных катках ограничена.

Эффективность работы катка зависит от скорости передвижения. Увеличение рабочей скорости приводит к снижению достигаемой плотности покрытия и требует увеличения проходов по одному следу. Время действия нагрузки на частицу материала за один проход катка в статическом режиме при разных скоростях укатки составляет 0,2 – 0,4 с. Время действия нагрузки при работе вибрационного катка зависит также от относительной вынуждающей силы и частоты колебаний. Объективным показателем, позволяющим сравнивать параметры катков между собой при укатке, является величина необратимой деформации, которая достигается при одинаковом напряжённом состоянии материала.

Установлено, что время контакта вальца вибрационного катка с материалом зависит от параметров вибрации и определяется, в зависимости от относительной вынуждающей силы, из выражения:

$$t_k^B = t_k e^{-0,084(P/Q)}, \quad (23)$$

где  $t_k^B$  – время контакта вальца катка вибрационного действия, с;  $t_k$  – время контакта вальца катка при статическом режиме уплотнения, с;  $P/Q$  – величина относительной вынуждающей силы.

Свойства горячей асфальтобетонной смеси зависят от температуры.

С понижением температуры увеличиваются прочностные характеристики асфальтобетона. Увеличение же вязкости битума способствует усилению связей между частицами материала и образованию монолитного слоя, обладающего большей распределяющей способностью. Это приводит к снижению эффективности работы всех уплотняющих машин. На рис. 20 представлены зависимости изменения остаточной деформации смеси от её температуры при равных контактных давлениях.

Из представленных на рис. 20 зависимостей видно, что с понижением температуры смеси эффективность уплотнения снижается, независимо от способа уплотнения.

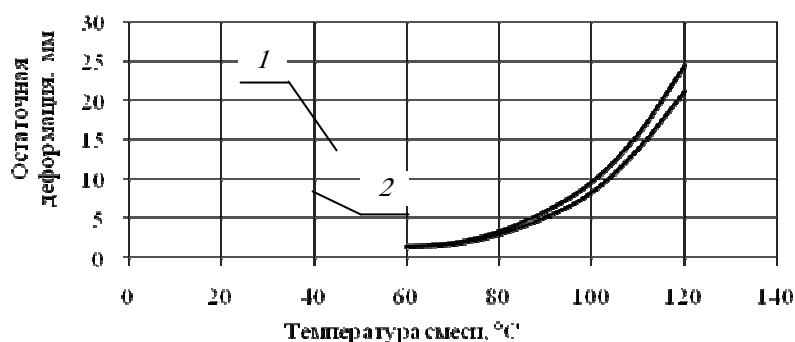


Рис. 20. Влияние температуры смеси на остаточную деформацию материала:

1 – каток статического действия; 2 – каток вибрационного действия  
(при относительной вынуждающей силе, равной 2 и частоте колебаний вальца 50 Гц)

Величина относительной деформации материала от параметров вибрации катка и температуры смеси определяется из выражения:

$$\varepsilon_{\text{отн}} = 0,67 e^{0,0007t + 0,0026\omega - 0,0756(P/Q)}, \quad (24)$$

где  $t$  – температура смеси, °C;  $\omega$  – частота колебаний вальца, Гц;  $P/Q$  – относительная вынуждающая сила.

При одинаковых контактных напряжениях под вальцами катков статического и вибрационного действия соотношение между параметрами катков имеет вид:

$$\sqrt{q_1 E_1 / R_1} = \varepsilon_{\text{отн}} K_1 \sqrt{q_2 E_2 / R_2}, \quad \text{МПа}, \quad (25)$$

где  $q_1, q_2$  – линейные давления, Кн/м;  $R_1, R_2$  – радиусы вальцов, м, статического и вибрационного катков соответственно;  $E_1$  и  $E_2$  – модули деформации уплотняемых материалов, МПа;  $K_1$  – коэффициент, зависящий от

относительной вынуждающей силы, определяемый из выражения  $K_1 = \varepsilon_{\text{отн}} (1,67 + 1,31 \ln(P/Q))$ ;  $\varepsilon_{\text{отн}}$  – относительная деформация материала.

При работе на захватках с одинаковым модулем деформации уплотняемого материала и равных диаметрах вальцов соотношение имеет вид:

$$q_1 = K_2 q_2, \quad (26)$$

где  $K_2$  – безразмерная величина, зависящая от параметров вибрации, определяется из выражения:  $K_2 = \varepsilon_{\text{отн}}^2 (1,67 + 1,31 \ln(P/Q))^2$ .

Для определения соотношений по массе катков вибрационного и статического действия, при равном модуле деформации, зависимость имеет вид:

$$Q_1 = Q_2 K_1^2 \varepsilon_{\text{отн}}^2 B_1 R_1 / B_2 R_2, \quad (27)$$

где  $B_1, B_2, Q_1, Q_2$  – ширина вальцов и масса катков.

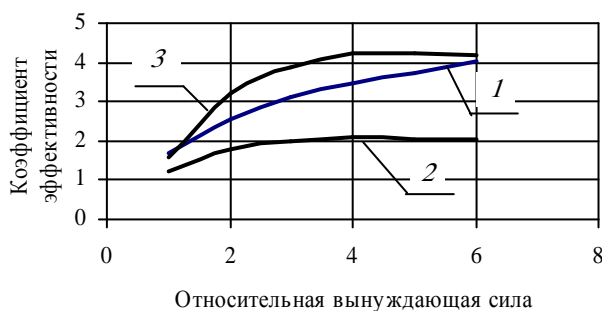
При одинаковой ширине уплотняемой полосы и разных линейных давлениях зависимость имеет вид:

$$q_1 = q_2 K_1^2 \epsilon_{отн}^2 R_1 / R_2 . \quad (28)$$

В качестве силового фактора, влияющего на величину напряжений под вальцом катка, принимается отношение линейного давления вальца к его радиусу. В этом случае сравнение параметров катков можно осуществлять по формуле:

$$q_1 / R_1 = q_2 K_1^2 \epsilon_{отн}^2 / R_2 . \quad (29)$$

Для существующих параметров катков статического действия отношение линейного давления к радиусу вальца находится в пределах от 0,22 до 1,7. У вибрационных катков это отношение принимается в пределах от 0,29 до 0,65. На рис. 21 представлены зависимости коэффициента эффективности вибрационного катка от относительной вынуждающей силы при разных критериях сравнения параметров катков.



**Рис. 21. Зависимость коэффициента эффективности вибрационного катка от относительной вынуждающей силы:**

1 – по контактным напряжениям; 2 – с учётом деформаций при равных радиусах и ширине вальцов – ( $K_1 \epsilon_{отн}$ ); 3 – по уплотняющей способности катков при условии равной ширины укатываемой полосы ( $K_1^2 \epsilon_{отн}^2$ ).

Из представленных на рис. 21 зависимостей видно, что эффективность вибрационных катков по отношению к каткам статического действия при уплотнении материала с одинаковой деформативной способностью зависит от величины относительной вынуждающей силы. Интенсивный рост напряжений под вибрационным вальцом наблюдается при увеличении относительной силы до трёх, затем темп роста уменьшается. При одинаковых статических параметрах катков (радиус и ширина вальца) и деформативной способности материала коэффициент эффективности интенсивно увеличивается до относительной силы, равной трём, затем практически стабилизируется на величине коэффициента, равного двум. При применении катков с разными силовыми параметрами коэффициент эффективности вибрационного катка увеличивается до относительной силы, равной четырём, а затем происходит снижение эффективности, что объясняется уменьшением времени воздействия вальца на уплотняемый материал.

Установлено, что эффективность вибрационного катка по отношению к катку статического действия зависит также от температуры уплотняемой смеси. На рис. 22 представлена зависимость коэффициента эффективности от температуры смеси.

Таким образом, зная относительную вынуждающую силу и параметры вибрационного вальца катка, можно определить эквивалентный каток статического действия.

Установлено, что эквивалент вибрационного катка зависит от относительной возмущающей силы и при постоянной частоте колебаний находится в интервале от 1,6 до 4.

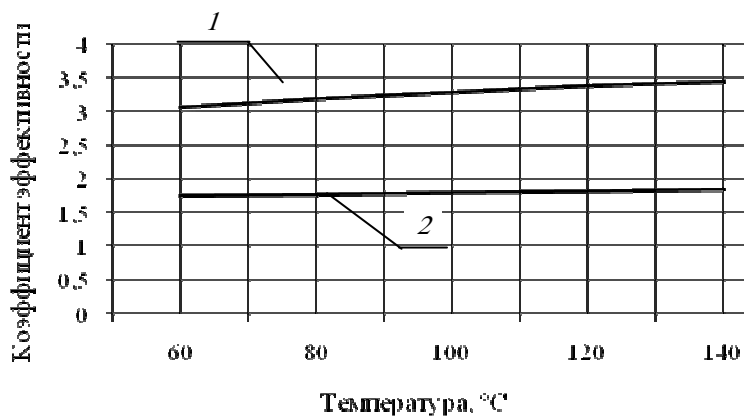


Рис. 22. Зависимость коэффициента эффективности вибрационного катка от температуры смеси:

1 — по напряжениям; 2 — по деформациям

## 4.2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МАШИН ДЛЯ УКЛАДКИ И УПЛОТНЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Строительство покрытий из горячих асфальтобетонных смесей ведётся звеном машин, состоящих из асфальтоукладчика и уплотняющих машин. С учётом непрерывности строительства эффективность применяемых машин зависит от результатов совместной работы, при которой каждая машина (асфальтоукладчик, каток) выполняет свои функции в конкретных температурных интервалах и создаёт фронт работы для других машин.

Качество покрытия зависит от температурных и технологических режимов укладки и уплотнения смеси, к которым относятся температуры начала и окончания процессов, рабочие скорости передвижения машин, число проходов катков по одному следу и соответствие параметров машин свойствам материала. Обеспечить заданное число проходов с установленными скоростями необходимо за время, в течение которого асфальтобетонная смесь находится в заданном температурном интервале. Поэтому параметры машин, применяемые для строительства покрытий из горячих смесей, должны быть взаимосвязаны между собой как по продолжительности выполнения операций, так и температурным режимам.

На практике горячие асфальтобетонные смеси иногда уплотняют и при пониженных температурах при наличии тяжёлых катков. Однако это приводит к снижению эффективности работы уплотняющих машин и низкому качеству покрытий.

Устройство покрытий ведётся непрерывным потоком. За время охлаждения смеси с момента укладки до начала укатки асфальтоукладчик ведёт укладку и предварительное уплотнение смеси без работы уплотняющих машин. В зависимости от типа смеси и марки битума, а также условий строительства, продолжительность охлаждения смеси будет разной. Длина полосы укладки смеси будет определяться по формуле (4).

В тоже время длина полосы укладки при параллельно работающих асфальтоукладчиках для обеспечения прочности стыка уложенных полос зависит от температуры воздуха и может быть определена по формуле (5). Поэтому при высоких темпах строительства и соответствующей температуре воздуха это условие накладывает ограничения на длину укладываемой полосы, а следовательно, и на рабочую скорость асфальтоукладчика.

Ведущей машиной, определяющей производительность строительства, является асфальтоукладчик, который не только укладывает слой с заданными параметрами покрытия, но и осуществляет предварительное уплотнение смеси. Качество укладки зависит от конструктивных параметров машины, температуры смеси при укладке и её свойств, а также рабочей скорости перемещения асфальтоукладчика. При выборе скорости укладки необходимо учитывать следующие факторы:

1. Скорость движения асфальтоукладчика должна обеспечивать заданную производительность строительства.

2. Рабочая скорость асфальтоукладчика должна быть согласована со скоростными режимами и типами катков, при применении которых достигается требуемая плотность покрытия.

3. С учётом непрерывности строительства длина захваток укладки и уплотнения катком конкретного типа в заданных температурных интервалах должны быть равны между собой.

Для достижения требуемого качества уплотнения каток должен обеспечить необходимое количество проходов по одному следу за время, в течение которого его параметры соответствуют

температурному интервалу уплотняемого покрытия. Для приготовления смеси любого типа могут быть использованы разные марки битума, свойства которых зависят от температуры, а следовательно, имеют разные температуры окончания работ. Существующие рекомендации [1, 6, 7] по температурным режимам уплотнения учитывают только тип смеси, согласно которым определяются рациональные температурные режимы уплотнения смесей катками разных типов.

#### 4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ УПЛОТНЕНИЯ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Известно, что для каждой марки битума существуют наиболее эффективные температурные интервалы, в пределах которых можно достичь требуемой плотности смеси [3]. Предлагаемые температурные интервалы уплотнения асфальтобетонных смесей получены из условия обеспечения плотности смеси при приложении 30 циклов нагрузки. В тоже время, согласно СНиП, количество проходов катков для обеспечения требуемой плотности асфальтобетона соответствует 18 – 21 проходам.

Используя данные по уплотняемости смесей с разными марками битумов в зависимости от температуры, получены зависимости, определяющие температуру смеси ( $t$ ) от заданной плотности с учётом марки битума при разном числе циклов нагрузки (табл. 7).

Из представленных в табл. 7 зависимостей видно, что при изменении числа циклов приложения, необходимых для обеспечения плотности смеси, меняются и температурные режимы.

На основании полученных результатов предлагаются температуры окончания уплотнения с учётом типа смеси и марки битума, которые представлены в табл. 8.

Анализ полученных значений температуры окончания эффективного уплотнения асфальтобетонных смесей показал, что для смесей с битумами марок БНД 90/130, 60/90 и 40/60 необходимо увеличить температуру окончания эффективного уплотнения.

Повышение температуры окончания уплотнения смесей приводит к уменьшению времени работы уплотняющих машин и требует тщательной проработки технологических схем работы применяемых машин при строительстве покрытий из горячих асфальтобетонных смесей, а также постоянного контроля за температурой в момент укладки смеси.

Для достижения требуемого качества уплотнения каток должен обеспечить необходимое количество проходов по одному следу за время, в течение которого его параметры соответствуют температурному интервалу уплотняемого покрытия. В зависимости от типа смеси и марки битума температурные границы работы машин отличаются между собой. В табл. 9 представлены рекомендуемые температуры уплотнения асфальтобетонных смесей с учётом типа смеси и марки битума. Из представленных в таблице данных видно, что температура окончания процесса уплотнения существенно зависит от марки битума.

#### 7. Зависимость температуры смеси от числа циклов нагрузки

Марка битума	Зависимость	Коэффициент корреляции	Число циклов нагрузки	
			20	30
БНД 60/90	$t = 245,27n^{-0,307}$	0,97	97	86
БНД 90/130	$t = 258,1n^{-0,335}$	0,97	94	82
БНД 130/200	$t = 151,9n^{-0,263}$	0,96	69	62
БНД 200/300	$t = 217,03n^{-0,396}$	0,97	66	56
СГ 130/200	$t = 202,21n^{-0,481}$	0,98	48	39

Примечание.  $n$  – число циклов нагрузки.

#### 8. Рекомендуемая температура окончания уплотнения горячих асфальтобетонных смесей

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



## 9. Рекомендуемые температуры уплотнения асфальтобетонов разных типов в зависимости от марки битума

### Асфальтобетон типа А

Марка битума	Рекомендуемые интервалы температуры уплотнения дорожных покрытий на этапах, °С					
	Предварительный		Основной		Окончательный	
	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец
БНД 40/60	160 – 150	140 – 135	140 – 135	115 – 110	100 – 95	105 – 100
БНД 60/90	155 – 145	135 – 130	135 – 130	110 – 105	110 – 105	110 – 95
БНД 90/130	150 – 140	130 – 125	130 – 125	105 – 100	105 – 100	95 – 90
БНД 130/200	140 – 130	115 – 110	115 – 110	95 – 90	95 – 90	85 – 80
БНД 200/300	130 – 120	110 – 105	110 – 105	90 – 80	90 – 80	75 – 70
СГ 130/200	120 – 110	100 – 90	100 – 90	75 – 65	75 – 65	60 – 55

### Асфальтобетон типа Б

Марка битума	Рекомендуемые интервалы температуры уплотнения дорожных покрытий на этапах, °С					
	Предварительный		Основной		Окончательный	
	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец
БНД 40/60	160 – 150	140 – 130	140 – 130	110 – 105	110 – 105	100 – 95
БНД 60/90	155 – 145	135 – 130	135 – 130	115 – 105	115 – 105	95 – 90
БНД 90/130	150 – 140	130 – 125	130 – 125	105 – 100	105 – 100	90 – 85
БНД 130/200	140 – 130	115 – 110	115 – 110	95 – 90	95 – 90	80 – 75
БНД 200/300	130 – 120	110 – 100	110 – 100	80 – 75	80 – 75	70 – 65
СГ 130/200	120 – 110	95 – 90	95 – 90	70 – 65	70 – 65	55 – 50

### Асфальтобетон типа В

Марка битума	Рекомендуемые интервалы температуры уплотнения дорожных покрытий на этапах, °С							
	Укладка		Предварительный		Промежуточный		Окончательный	
	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец
БНД 40/60	160 – 150	140 – 135	140 – 135	125 – 120	125 – 120	110 – 105	110 – 105	95 – 90
БНД 60/90	155 – 145	135 – 130	135 – 130	120 – 115	120 – 115	105 – 100	105 – 100	90 – 85
БНД 90/130	150 – 140	130 – 125	130 – 125	115 – 110	115 – 110	100 – 95	100 – 95	85 – 80
БНД 130/200	140 – 130	115 – 110	115 – 110	105 – 110	105 – 110	90 – 85	90 – 85	75 – 70
БНД 200/300	130 – 120	110 – 100	110 – 100	90 – 95	90 – 95	75 – 80	75 – 80	65 – 60
СГ 130/200	120 – 110	95 – 90	95 – 90	80 – 75	80 – 75	65 – 60	65 – 60	55 – 50

### Асфальтобетон типа Г

Марка битума	Рекомендуемые интервалы температуры уплотнения дорожных покрытий на этапах, °С							
	Укладка		Предварительный		Промежуточный		Окончательный	
	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец
БНД 40/60	160 – 150	140 – 135	140 – 135	125 – 120	125 – 120	110 – 105	110 – 105	95 – 90
БНД 60/90	155 – 145	135 – 130	135 – 130	120 – 115	120 – 115	105 – 100	105 – 100	90 – 85
БНД 90/130	150 – 140	130 – 125	130 – 125	115 – 110	115 – 110	100 – 95	100 – 95	85 – 80
БНД 130/200	140 – 130	115 – 110	115 – 110	105 – 110	105 – 110	90 – 85	90 – 85	75 – 70
БНД 200/300	130 – 120	110 – 100	110 – 100	90 – 95	90 – 95	75 – 80	75 – 80	65 – 60
СГ 130/200	120 – 110	95 – 90	95 – 90	80 – 75	80 – 75	65 – 60	65 – 60	55 – 50

### Асфальтобетон типа Д

Марка битума	Рекомендуемые интервалы температуры уплотнения дорожных покрытий на этапах, °С							
	Укладка		Предварительный		Промежуточный		Окончательный	
	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец	Начало	Конец
БНД 40/60	160 – 150	140 – 135	140 – 135	125 – 120	125 – 120	110 – 105	110 – 105	95 – 90
БНД 60/90	155 – 145	135 – 130	135 – 130	120 – 115	120 – 115	105 – 100	105 – 100	90 – 85
БНД 90/130	150 – 140	130 – 125	130 – 125	115 – 110	115 – 110	100 – 95	100 – 95	85 – 80
БНД 130/200	140 – 130	115 – 110	115 – 110	105 – 110	105 – 110	90 – 85	90 – 85	75 – 70
БНД 200/300	130 – 120	110 – 100	110 – 100	90 – 95	90 – 95	75 – 80	75 – 80	65 – 60
СГ 130/200	120 – 110	95 – 90	95 – 90	80 – 75	80 – 75	65 – 60	65 – 60	55 – 50

## 10. Зависимости для определения значений коэффициентов

Коэффициент	При укладке смеси	При уплотнении слоя
$K_c = K_\lambda K_{yt}$	$K_\lambda = 2,34 e^{-0,6\lambda} [0,89(t_{cm}/100 - 0,42)]$ $K_{yt} = (0,76 C_{cm} - 0,26)[0,88(t_{cm}/100 - 0,41)]$	$K_\lambda = 2,34 e^{-0,6\lambda} [0,89(t_{cm}/100 - 0,42)]$ $K_{yt} = (0,76 C_{cm} - 0,26)[0,88(t_{cm}/100 - 0,41)]$
$K_{тс}$	$0,015 t_{cm} - 1,43$	$1,005 \ln t_{cm} - 4,0791$
$K_v$	$0,98 e^{-0,047 V}$	$0,98 e^{-0,049 V}$
$K_{oc}$	$0,99 e^{0,013 \Delta t}$	$0,99 e^{0,013 \Delta t}$
$K_m$	$-2,092 \ln(t_{op}) + 10,62$	$-2,62 A^3 + 9,096 A^2 - 11,293 A + 5,061$ при $h = 0,05$ м и более; $-4,788 A^3 + 15,85 A^2 - 17,979 A + 7,09$ при $h = 0,03 - 0,04$ м
$K_h$	$3586,9 h^{1,8876}$	$7072 h^{1,7723}$
$\alpha$	$20 h^3 - 5,11 h^2 + 0,38 h - 0,0004$	$-76,19 h^3 + 16,25 h^2 - 1,1572 h + 0,05$

Условные обозначения:  $t_{cm}$  – температура смеси при укладке, °С;  $V$  – скорость ветра, м/с;  $\Delta t$  – разница в температурах основания и окружающего воздуха, °С;  $e$  – основание натурального логарифма;  $\ln$  – натуральный логарифм;  $h$  – толщина укладываемого слоя, м;  $A$  – условная величина, определяемая выражением  $(t_{op}/100)$ ,  $t_{op}$  – температура окончания процесса, °С;  $C_{cm}$  – удельная теплоёмкость смеси, кДж/кг·град;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м·град.

## 11. Влияние марки битума на температурные режимы и время работы машин

Марка битума	Температура смеси при укладке, °С	Время охлаждения смеси, мин	Температурные интервалы, °С				Среднее время работы, мин			
			$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$\tau_{ук}$	$\tau_{уп}$	$\tau_{уп}$	$\tau_{уп}$
<b>Тип А</b>										
БНД 40/60	160 – 150	25	145	130	110	100	6	5	8	6
БНД 60/90	155 – 145	26,0	140	125	105	95	6	5	8	7
БНД 90/130	150 – 140	30,0	130	120	100	80	6	4	13	7
БНД 130/200	140 – 130	22,0	120	105	90	80	6	4	7	5
БНД 200/300	130 – 120	29,0	115	100	80	70	7	4	10	8
СГ 130/200	120 – 110	40,0	90	80	65	60	9	5	11	9
<b>Тип В</b>										
БНД 40/60	160 – 150	32	140	120	105	90	9	6	7	10
БНД 60/90	155 – 145	34,0	135	115	100	85	10	6	7	11
БНД 90/130	150 – 140	37,0	125	110	95	80	10	6	9	12
БНД 130/200	140 – 130	31,0	120	100	85	70	5	6	10	10
БНД 200/300	130 – 120	43,0	110	95	80	60	7	8	10	18
СГ 130/200	120 – 110	42,0	90	75	60	45	7	7	10	18

#### 4.4. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА

Длина захватки при работе катка в заданном температурном интервале с учётом числа укатываемых полос ( $b$ ) и числа проходов по одному следу ( $n$ ) будет определяться:

$$L_{\text{уп}} = V_{\text{к}}\tau_{\text{уп}} / bn, \text{ м}, \quad (30)$$

где  $V_{\text{к}}$  – средняя рабочая скорость катка, м/мин;  $\tau_{\text{уп}}$  – возможное время работы катка в заданном температурном интервале, мин.

Для обеспечения непрерывности строительства покрытия, соотношения между рабочими скоростями асфальтоукладчика и катками в заданных температурных интервалах имеют вид:

$$V_{\text{а}} = V_{\text{к}}\tau_{\text{уп}} / \tau_{\text{к}}bn, \text{ м/мин}. \quad (31)$$

Скорость укладки слоя покрытия зависит не только от средней скорости укатки и числа проходов по одному следу, но и от продолжительности укладки и уплотнения слоя в заданных температурных интервалах.

Зависимость (31) позволяет решать и другие вопросы. При заданных скоростях укладки слоя и числа проходов катка в заданном температурном интервале уплотнения можно определить среднюю скорость катка, на основании которой можно выбирать тип уплотняемой машины. Аналогичным образом можно определить число проходов катка по одному следу.

Таким образом, зависимость (31) позволяет осуществлять выбор технологических параметров машин для строительства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей.

Для обеспечения непрерывности строительства покрытия необходимо знать время укладки и уплотнения покрытия в заданных температурных интервалах. Время охлаждения слоя горячей смеси зависит от многих факторов. В общем виде продолжительность нахождения слоя в определённом температурном интервале с учётом влияния различных факторов может быть определена по формуле (7).

Численные значения коэффициентов для смесей с битумами марок БНД 40/60, 60/90 и 90/130 определяются по зависимостям, представленным в табл. 10.

При расчёте возможной продолжительности работы катков в заданных температурных интервалах величина коэффициента  $K_{\text{м}}$  будет определяться:

$$K_{\text{м}} = K_{\text{м}2} - K_{\text{м}1}, \quad (32)$$

где  $K_{\text{м}2}$  – коэффициент, учитывающий температуру смеси при окончании работы катка;  $K_{\text{м}1}$  – коэффициент, учитывающий температуру смеси в начале работы катка.

В зависимости от типа и температурных режимов смеси выбираются параметры уплотняющих машин. Отмечалось, что уплотняющие машины работают эффективно при условии, когда контактные напряжения близки пределу прочности материала. С учётом предлагаемых температурных режимов и зависимостей (12), (13), (21), (22), и условия обеспечения непрерывности производства работ, разработана программа на ЭВМ, алгоритм которой представлен на рис. 23.

Данная программа позволяет рассчитать возможную продолжительность строительства покрытия, продолжительность операций укладки и уплотнения смеси и технологические параметры строительства покрытия (производительность и рабочие скорости при конкретных условиях производства работ). На рис. 24 представлена технологическая схема устройства покрытия асфальтоукладчиком с коэффициентом предварительного уплотнения ( $K_{\text{у}}$ ) 0,7 – 0,85 и звеном из трёх катков.

В качестве примера в табл. 11 представлено распределение машин при устройстве покрытий с учётом температурных интервалов и времени работы машин.

Приведенные в табл. 11 данные соответствуют температуре окружающего воздуха и основания 20 °С, скорости ветра 0 м/с, толщине слоя в плотном состоянии 0,05 м и температуре смеси при укладке с использованием битумов марок БНД 40/60, 60/90, 90/130 – 160 °С и температуре смеси при окончании укатки 60 °С, для смесей с битумами марок БНД 130/200, 200/300 и СГ 130/200 – 140 °С при температуре смеси при укладке и окончании работ 50 °С. Из приведённых результатов видно, что при одном и том же типе смеси, но разных марках битумов, применяемых для их приготовления, возможная продолжительность операций по устройству покрытий разная. Данный фактор необходимо учитывать при разработке технологических процессов устройства покрытий. При изменении условий строительства и свойств смеси необходимо вносить поправки в продолжительность выполнения операций укладки и уплотнения за счёт коэффициентов  $K_{\text{м}}$ ,  $K_{\text{тс}}$ ,  $K_{\text{о}}$ ,  $K_{\text{с}}$ ,  $K_{\text{л}}$ ,  $K_{\text{в}}$  и  $\alpha$  (см. табл. 10).

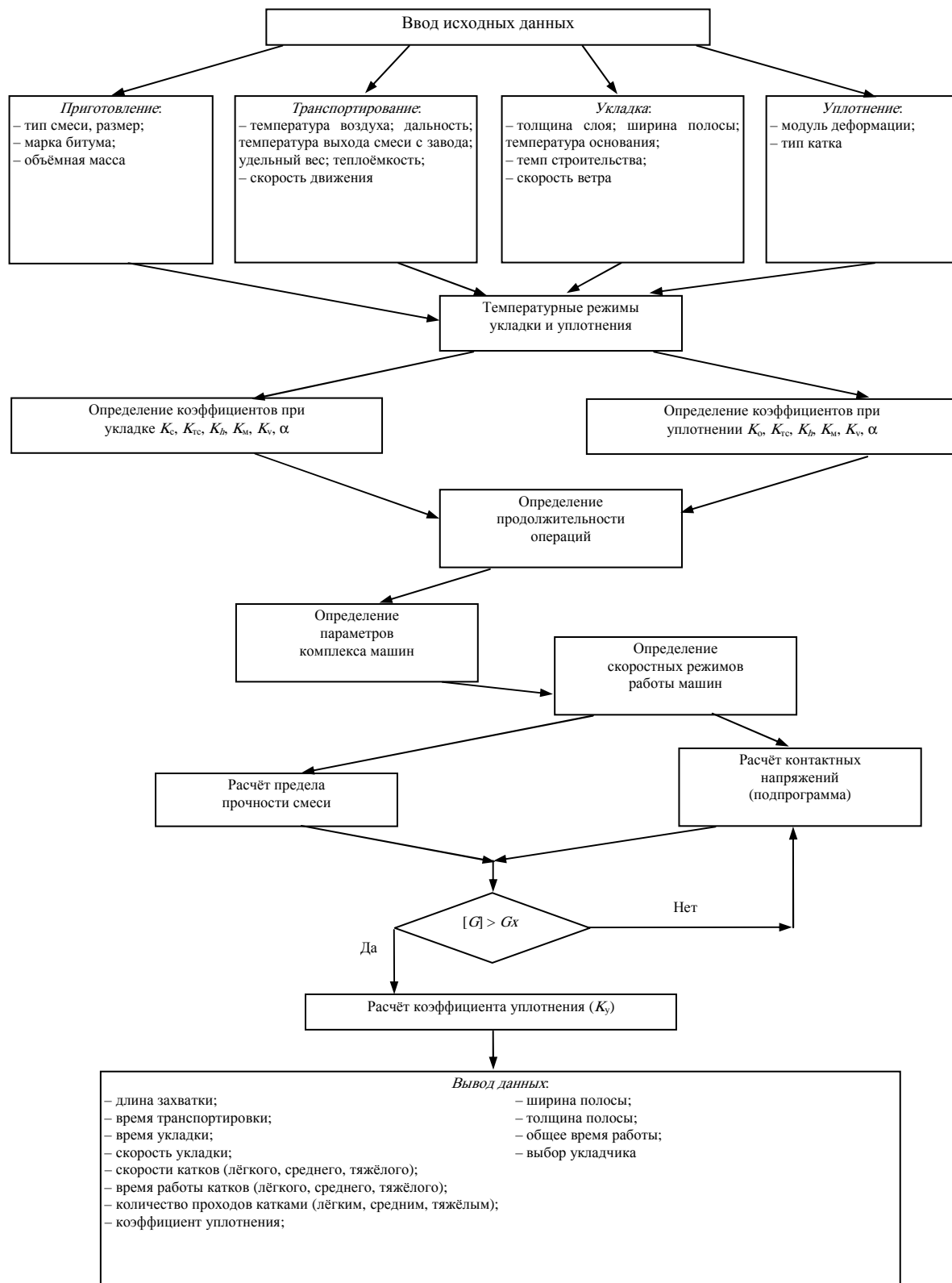
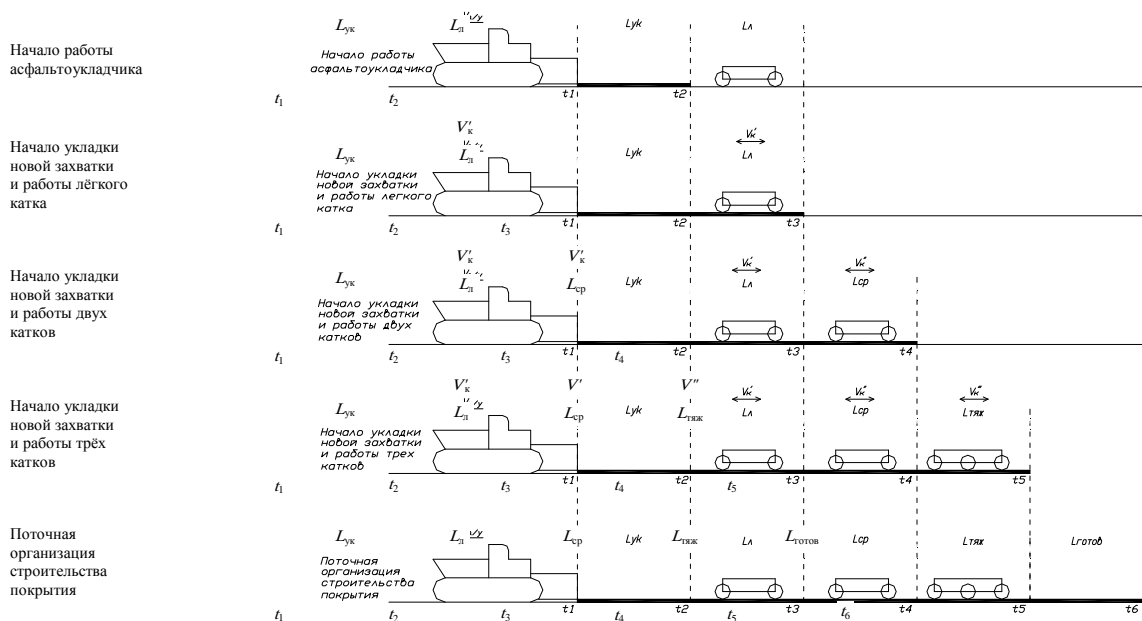


Рис. 23. Блок-схема расчёта технологических параметров устройства покрытий



Примечания:

1. Значение температурных интервалов ( $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ) представлено в табл. Численные значения времени соответствуют температуре начала укладки  $160^\circ\text{C}$  и окончанию процесса уплотнения  $60^\circ\text{C}$ .
2. При изменении температуры начала укладки и окончания уплотнения и окончания необходимо вносить поправки за счёт коэффициентов  $K_{тс}$  и  $K_{тв}$ .

Эти значения плотности  $60^\circ\text{C}$  вносить поправки

Рис. 24. Устройство покрытия асфальтоукладчиком и звеном из трёх катков

#### 4.5. УСТРОЙСТВО ПОКРЫТИЙ ИЗ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗДУХА

Нормативными документами устройство покрытий из горячих асфальтобетонных смесей разрешается вести при минимальной температуре воздуха  $+5^\circ\text{C}$  летом и весной и  $+10^\circ\text{C}$  осенью. В некоторых случаях производят работы при пониженных температурах, когда температура воздуха опускается ниже нулевой отметки. Существующими рекомендациями допускается устраивать покрытия из горячих смесей при соблюдении следующих условий:

- при температуре воздуха не ниже  $0^\circ\text{C}$ ;
- основание должно быть построено до наступления периода пониженных температур и иметь коэффициент уплотнения в соответствии с проектом;
- при устройстве двухслойного покрытия следует устраивать только нижний слой;
- при одновременной укладке двухслойного покрытия верхний слой укладывают на свежеложенный нижний слой при температуре нижнего слоя не ниже  $20^\circ\text{C}$ ;
- толщина укладываемого слоя должна быть не менее  $0,04\text{ м}$ ;
- не допускается простоя асфальтоукладчика;
- транспортировка смесей должна осуществляться автосамосвалами большой грузоподъёмности;
- автотранспорт должен быть оснащён обогреваемыми кузовами и утеплительными устройствами (брезентовые чехлы, маты);
- при работе одним асфальтоукладчиком длина захватки должна быть минимальной, чтобы новая полоса укладки примыкала к ранее уложенной неостывшей кромке полосы.

В исключительных случаях допускается строительство покрытий из горячих асфальтобетонных смесей при температуре воздуха  $-10^\circ\text{C}$  при следующих условиях:

- толщина укладываемого слоя не менее  $0,05\text{ м}$ ;
- устройство только нижнего слоя двухслойного покрытия;
- устройство верхнего слоя только по свежеложенному нижнему слою при температуре нижнего слоя не ниже  $10^\circ\text{C}$ ;
- повышение подвижности смеси за счёт применения ПАВ и повышения температуры смеси при укладке;
- повышения интенсивности уплотнения смеси;
- уплотнение смеси должно производиться при температуре смеси не ниже  $80^\circ\text{C}$ ;

– выбор уплотняющих машин необходимо осуществлять с учётом конкретных условий производства работ.

При пониженных температурах воздуха происходит интенсивное охлаждение горячей смеси за счёт отдачи тепла в окружающую среду и основание, а также за счёт контакта поверхности слоя с рабочими органами уплотняющих машин. Интенсивное охлаждение смеси приводит к уменьшению времени на устройство покрытия и для достижения требуемых показателей покрытия необходима увязка технических параметров и технологических режимов применяемого оборудования. В зависимости от конкретных условий строительства возможны разные технологические схемы производства работ: укладка одного нижнего слоя или двух слоёв при условии, что температура свежесуложенного нижнего слоя покрытия составляет не менее 10 °С. При укладке нескольких слоёв покрытия одного состава смеси целесообразно укладывать смесь одним слоем повышенной толщины. При укладке слоёв с разными по составу смесями может применяться немецкая технология «компактасфальт», т.е. «горячее по горячему» [4]. Применение такой технологии укладки смесей позволяет производить уплотнение покрытия как одного слоя с повышенной толщиной.

С понижением температуры воздуха меняются теплофизические свойства материалов, что влияет на продолжительность устройства покрытия. На практике применяют следующие способы увеличения продолжительности технологических процессов устройства покрытия: повышение температуры смеси при укладке и увеличение толщины слоя покрытия. Увеличение толщины укладываемого слоя горячей асфальтобетонной смеси влияет на нагрев нижележащего слоя. Так, при укладке слоя толщиной 0,04 м и температуре смеси при укладке 160 °С основание нагревается до 40 – 43 °С. Кроме того, при увеличении толщины слоя до 0,1 м нижележащий слой прогревается до температуры 60 °С, что обеспечивает лучшее сцепление слоёв между собой.

Повышение температуры смеси при укладке способствует увеличению продолжительности технологических процессов. Увеличение температуры смеси от 120 до 160 °С увеличивает продолжительность работ на 40 – 50 % независимо от толщины укладываемого слоя и температуры окружающего воздуха. При снижении температуры поставляемой смеси ниже 120 °С продолжительность работ снижается на 25 – 50 % независимо от толщины укладываемого слоя. Анализ влияния температуры смеси при укладке на продолжительность устройства покрытия показал, что между ними существует линейная зависимость.

При увеличении толщины укладываемого слоя смеси продолжительность устройства покрытия также увеличивается. На основании экспериментальных данных и результатов моделирования тепловых процессов при устройстве покрытий с применением горячих асфальтобетонных смесей можно определить эффективность укладки покрытия повышенной толщины относительно укладки смесей с повышенной температурой. Для сравнения примем продолжительность устройства покрытия толщиной 0,05 м за единицу (табл. 12).

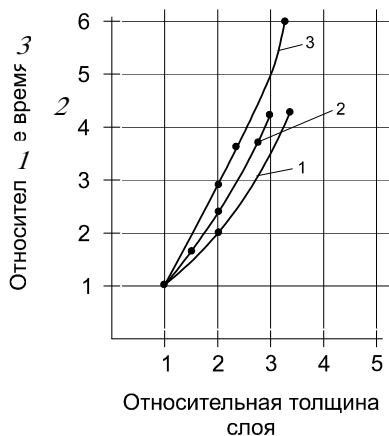
## 12. Влияние относительной толщины слоя на продолжительность процесса уплотнения при различной температуре смеси при укладке

Относительная толщина слоя		2,0			3,0		
		Температура воздуха, °С	-10	0	10	-10	0
Температура смеси, °С	180	3,26	3,27	3,22	6,62	6,63	6,47
	160	3,30	3,27	3,27	6,75	6,63	6,50
	140	3,25	3,22	3,25	6,64	6,60	6,60
	120	3,30	3,25	3,25	6,92	6,67	6,69
	100	3,27	3,30	3,30	6,83	6,90	6,87
	80	3,30	3,17	3,14	7,30	6,83	6,70

Из данных, приведённых в табл. 12 видно, что с увеличением толщины слоя допустимая продолжительность устройства покрытия увеличивается в несколько раз независимо от температуры окружающего воздуха. Поэтому повышение толщины укладываемого слоя при пониженных температурах окружающего воздуха следует считать более эффективным методом повышения допустимого времени устройства дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей. Используя экспериментальные данные, на рис. 25 представлена зависимость влияния толщины слоя смеси на продолжительность устройства.

Из представленных на рис. 25 зависимостей видно, что с увеличением толщины укладываемого слоя смеси время увеличивается более интенсивно и зависимость носит нелинейный характер. При одной и той же относительной толщине слоя допустимое время на производство работ зависит от типа смеси. Так, если при увеличении толщины слоя из песчаной асфальтобетонной смеси в два раза время на её уплотнение увеличивается в три раза, для среднезернистых смесей в 2,5 раза, крупнозернистых – в 2 раза.

В процессе строительства при пониженных температурах воздуха значительное влияние на возможное время укладки и уплотнения смесей оказывает скорость ветра. Установлено, что характер влияния скорости ветра на продолжительность работ по строительству покрытий не зависит от толщины укладываемого слоя. Увеличение скорости ветра приводит к снижению продолжительности процесса устройства за счёт интенсивной отдачи тепла в окружающую среду.



**Рис. 25. Влияние относительной толщины уплотняемого слоя на время уплотнения:**

1 – по данным Н.В. Горельшева, крупнозернистая асфальтобетонная смесь;

2 – по данным К. Нижбойера, мелкозернистая смесь;

3 – по данным экспериментов, песчаная асфальтобетонная смесь

В зависимости от конструкции дорожного покрытия используются разные смеси и технологические схемы производства работ, влияющие на продолжительность строительства. При строительстве дорожных покрытий в два слоя используется раздельная укладка смеси. В этом случае материал слоя покрытия регламентирован СНиП и зависит от категории дороги.

В нижние слои укладывают крупнозернистые смеси, в верхний слой покрытия – мелкозернистые или песчаные. С целью обеспечения безопасности движения в верхние слои покрытия укладывают смеси с большим содержанием щебня (тип А) или отсевов дробления (тип Б, Г). Если предусмотрена укладка разных по составу смесей, то укладку ведут в два слоя, верхний слой покрытия укладывают после уплотнения нижнего слоя и снижения температуры покрытия до 20 – 30 °С при температуре окружающего воздуха до +10 °С.

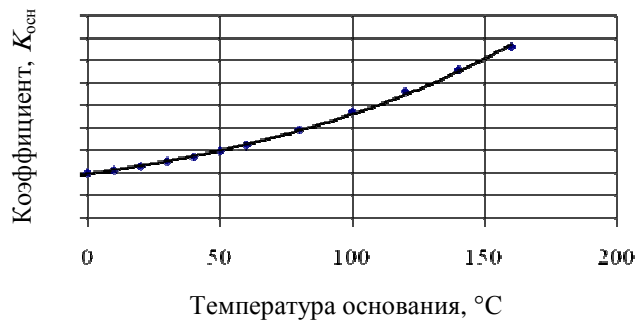
В условиях пониженных температур окружающего воздуха, при устройстве двухслойного покрытия, допускается укладывать верхний слой на свежеложенный нижний слой при его температуре 20 – 40 °С и температуре воздуха ниже +10 °С [4]. Наличие нижнего слоя покрытия с более высокой температурой по отношению к температуре окружающего воздуха способствует уменьшению отдачи тепла основанию, а следовательно, приводит к увеличению возможного времени строительства верхнего слоя покрытия.

Аналогичная закономерность продолжительности строительства покрытий установлена при высоких температурах окружающего воздуха. Продолжительность устройства покрытий при пониженных температурах окружающего воздуха зависит от температуры нижнего слоя. Увеличение температуры основания до 30 – 40 °С при температуре окружающего воздуха –10 °С способствует увеличению времени в интервале температур 160 – 60 °С на 25 – 35 %. На продолжительность укладки смеси температура основания оказывает незначительное влияние. Продолжительность укладки смеси, исходя из непрерывности строительства, может быть увеличена за счёт повышения температуры смеси в момент её распределения.

На рис. 26 представлена зависимость влияния температуры основания на продолжительность устройства покрытия. Численное значение коэффициента влияния температуры основания ( $K_{осн}$ ) на продолжительность строительства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей может быть определено по формуле:

$$K_{осн} = 0,99e^{0,0086t_{см}}, \quad (33)$$

где  $t_{см}$  – температура смеси, °С.

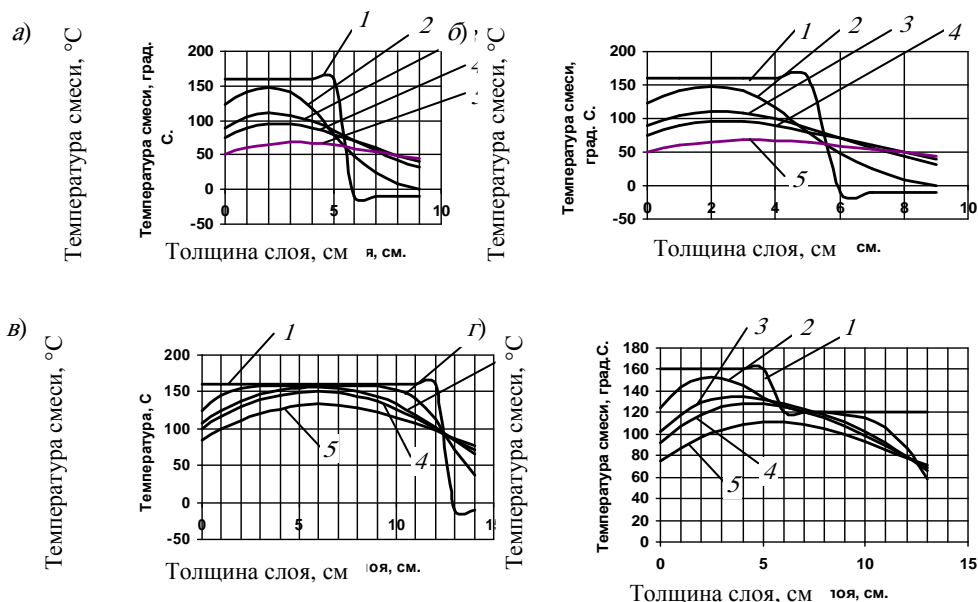


**Рис. 26. Влияние температуры основания на продолжительность строительства**

Установлено, что коэффициент влияния нижнего слоя не зависит от температуры укладываемой смеси.

В общем виде продолжительность устройства дорожного покрытия при пониженных температурах воздуха определяется по формуле (7).

Принятая технология производства работ влияет не только на продолжительность устройства покрытий, но и на качество строительства. На рис. 27 представлено распределение температуры смеси по толщине слоя в зависимости от технологии строительства. Из распределения температуры по толщине слоя видно, что при раздельной укладке нижнего или верхнего слоёв из горячих асфальтобетонных смесей при пониженных температурах воздуха на границе укладываемого слоя происходит резкое понижение температуры смеси, что приводит к снижению качества работ. Укладка смесей повышенной толщины слоя (рис. 27, в) способствует увеличению продолжительности строительства и обеспечивает равномерное распределение температуры по толщине слоя, что позволяет получить более высокую плотность покрытия. Применение технологии «компактасфальт» (рис. 27, г) также способствует увеличению продолжительности строительства и обеспечивает равномерное распределение температуры по толщине слоя и получению высокой плотности покрытия.



**Рис. 27. Распределение температуры по толщине слоя в зависимости от принятой технологии строительства покрытия:**

- а – распределение температуры при укладке нижнего слоя покрытия на слой щебня; б – при укладке верхнего слоя покрытия на нижний слой покрытия из крупнозернистого асфальтобетона при температуре +30 °C;
- в – распределение температуры смеси при укладке одним слоем толщиной 12 см; г – распределение температуры в покрытие при применении метода «компактасфальт» (температура воздуха –10 °C, скорость ветра 0 м/с, температура смеси при укладке 160 °C);
- 1 – температура смеси после укладки, °C; 2 – 5 минут; 3 – 20 минут; 4 – 30 минут; 5 – 60 минут



#### 4.6. ДЕФЕКТЫ НА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЯХ И ПРИЧИНЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Дефекты и причины их образования на автомобильных дорогах приведены в табл. 13 [1, 3, 6, 7].

**13. Дефекты и причины их образования**

Дефекты	Причины, способствующие появлению дефектов
Трещины на поверхности покрытия	Избыточное смачивание вальца катка водой; высокая скорость при изменении направления движения катка; неоднородность смеси по составу; нарушение температурного режима; занижена толщина слоя
Волнообразование	Неровность основания; неправильный выбор параметров катков; некачественная подготовка основания; нарушение температурных режимов уплотнения горячей смеси; остановка катка на горячем покрытии, высокая скорость при изменении направления движения катка; неправильное взаимодействие автосамосвала и асфальтоукладчика; неравномерность подачи горячей смеси в приёмный бункер асфальтоукладчика; параметры асфальтоукладчика не соответствуют предъявляемым требованиям
«Жирные» пятна на поверхности покрытия	Неправильно подобранный состав смеси; смесь содержит влагу
Неравномерность уплотнения по ширине покрытия	Неоднородность смеси по составу; неоднородность смеси по температуре; неправильная организация движения катков; некачественная подготовка основания; простой асфальтоукладчика
Низкий предел прочности	Низкая температура при укладке смеси и уплотнении; неправильный выбор параметров механизированного звена машин; несоответствие скоростных режимов звена машин; нерациональный состав смеси; некачественная подготовка основания
Следы катка	Остановка катка при уплотнении на горячем асфальте; нарушение температурных режимов уплотнения горячей смеси; неоднородность смеси по температуре; неправильный выбор параметров катков; некачественная подготовка основания
Неравномерная структура покрытия	Неоднородность смеси по составу; неоднородность смеси по температуре; некачественная подготовка основания; простой асфальтоукладчика

#### Контрольные вопросы к главе 4

1. От чего зависит темп устройства покрытия и его влияние на выбор параметров механизированного звена машин?
2. Как влияют параметры асфальтоукладчика и темпа укладки горячей смеси на выбор параметров уплотняющих машин?
3. От каких факторов зависят температурные режимы укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей?

4. От чего зависит длина полосы укладки горячей асфальтобетонной смеси?
5. Перечислите применяемые технологии устройства асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах воздуха.
6. Перечислите условия, при которых допускается устройство асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах окружающего воздуха.
7. Перечислите способы производства работ, обеспечивающие большую продолжительность работ по уплотнению покрытия при пониженных температурах воздуха.

#### **Основная литература**

1. Строительство и реконструкция автомобильных дорог : СЭД / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2005. – Т. 1. – 207 с.
2. Гезенцевей, Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцевей. – М. : Транспорт, 1976. – 334 с.
3. Горельшев, Н.В. Технология и организация строительства автомобильных дорог : учебник / Н.В. Горельшев. – М. : Транспорт, 1991. – 551 с.
4. Горячев, М.Г. Технология и организация строительства городских путей сообщения : учеб. пособие. Ч. 2 : Строительство дорожных одежд / М.Г. Горячев. – М., 2003.
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. СНИП 3.06.03–85. Автомобильные дороги. – М. : Госстрой, 1986. – 38 с.

#### **Дополнительная литература**

7. Апарцев, А.З. Технологические схемы и правила укладки и уплотнения горячих многощебенистых асфальтобетонных смесей при устройстве покрытий автомобильных дорог / А.З. Апарцев и др. – СПб. : Павловск, 1996. – 51 с.
8. Истомин, В.С. Практическое руководство по текущему ремонту асфальтобетонных покрытий городской дорожной сети / В.С. Истомин. – М. : Прима-Пресс. – М., 2001. – 58 с.
9. Мелик-Багдосаров, М.С. Строительство и ремонт дорожных асфальтобетонных покрытий : учеб. пособие / М.С. Мелик-Багдосаров, К.А. Гиоев, Н.А. Мелик-Багдосаров. – Белгород : Изд-во «КОНСТАНТА», 2007. – 159 с.
10. Пермяков, В.Б. Эффективность уплотнения асфальтобетонных смесей в дорожных покрытиях / В.Б. Пермяков // Строительные материалы. – 2005. – № 10. - С. 8–9.

## **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 смесей с учётом её свойств и соответствия им силовых параметров уплотняющих машин позволяет повысить качество строительства дорожных покрытий.

Предложенная методика разработки технологических процессов строительства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей позволяет учитывать свойства применяемых смесей и с их учётом выбирать параметры уплотняющих машин. Расчёт допустимой продолжительности строительства покрытий и дифференцированный подход к определению длительности операций по укладке и уплотнению смесей с учётом влияния разных факторов позволяет организовать во времени технологические процессы, что способствует обеспечению высокого качества работ.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Глава 1. ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ..	4
1.1. Разновидности горячих асфальтобетонных смесей и область их применения .	4
1.2. Анализ требований нормативных документов и рекомендаций к технологии устройства дорожных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей	11
1.3. Влияние технологии строительства покрытий на выбор машин для укладки и уплотнения горячих асфальтобетонных смесей	13
1.4. Влияние температуры смеси на деформационно- прочностные характеристики горячего асфальтобетона	18
Контрольные вопросы к главе 1	21
Основная литература ..	21
Дополнительная литература	21
Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО УСТРОЙСТВУ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ГОРЯЧИХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	22
2.1. Подготовительные работы по устройству покрытий из горячих асфальтобетонных смесей ...	22
2.2. Организация движения транспорта и ограждение мест производства дорожных работ по устройству покрытий	23
2.3. Влияние условий производства работ на продолжительность устройства покрытий из горячих асфальтобетонных смесей .....	30
2.4. Расчёт допустимой продолжительности уплотнения горячих асфальтобетонных смесей .	34
Контрольные вопросы к главе 2 .....	35
Основная литература .....	36
Дополнительная литература	36
Глава 3. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПЛОТНЯЮЩИХ МАШИН НА ДОСТИЖЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОКРЫТИЙ НЕЖЁСТКОГО ТИПА	37
3.1. Тенденции в развитии самоходных катков для строительства дорожных одежд .....	37
3.2. Влияние уплотняющей нагрузки на эксплуатационные параметры асфальтобетонного покрытия	43
3.3. Расчёт контактных напряжений под жёстким вальцом дорожного катка статического действия	45
3.4. Расчёт напряжений под вальцом вибрационного катка	50
Контрольные вопросы к главе 3	52
Основная литература .....	52
Дополнительная литература .	52
Глава 4. ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ УСТРОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ С УЧЁТОМ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ	53

4.1. Выбор механизированного звена машин при разных методах уплотнения .....	53
4.2. Выбор параметров машин для укладки и уплотнения дорожных покрытий нежесткого типа	57
4.3. Определение температурных режимов уплотнения горячих асфальтобетонных смесей	58
4.4. Выбор технологических параметров при строительстве покрытий нежесткого типа	63
4.5. Устройство покрытий из горячих асфальтобетонных смесей при пониженных температурах воздуха	68
4.6. Дефекты на дорожных покрытиях и причины их образования .....	75
Контрольные вопросы к главе 4	76
Основная литература .....	76
Дополнительная литература	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	78