

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА»**

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

НАПРАВЛЕНИЕ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

ПРОФИЛЬ «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ И АЭРОДРОМЫ»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к магистерской работе

на тему:

***Разработка составов щебеночно-мастичных асфальтобетонных
смесей, модифицированных различными полимерами
и пластификаторами***

Выпускник Саввин Н.Ю.

Зав. кафедрой д.т.н., проф. Гридчин А.М.

Рук. бакалаврской работы к.т.н., доц. Траутвайн А.И.

Нормоконтроль Сосоенко Е.Л.

К защите допустить

Зав.кафедрой _____/Гридчин А.М./

« _____ » _____ 2018 г.

Белгород 2018 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В. Г. ШУХОВА»**

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

НАПРАВЛЕНИЕ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

ПРОФИЛЬ «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ И АЭРОДРОМЫ»

Утверждаю:

Зав. кафедрой _____

« _____ » _____ 201_ г.

Задание

на выпускную квалификационную работу

Саввину Никите Юрьевичу

1. Тема бакалаврской работы: *«Разработка составов щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, модифицированных различными полимерами и пластификаторами»* утверждена приказом по университету от « » 2018 г. № .
2. Срок сдачи студентом законченной работы « _____ » _____ 20____ г.

Исходные данные: район – Белгородская обл., отсев дробления гранита Павловского карьера, щебень гранитный фракции 5 - 10 мм ЗАО “Кировоградгранит”, щебень гранитный фракции 10 - 15 мм ЗАО “Кировоградгранит”, минеральный порошок для асфальтобетонных и органико - минеральных смесей ООО «Доломит», битум марки БНД 60/90 «Московского НПЗ», индустриальное масло И-20, стеариновая кислота Т-18 ЗАО «Завод органических продуктов», масло Т производства ООО «Катион», дивинилстирольный термоэластопласт ДСТ-30-01 производства ООО «Химторг», эпоксидная смола ЭД-20 ЗАО «Завод органических продуктов», отвердитель ПЭПА ЗАО «Завод органических продуктов».

3. Содержание дипломной работы (перечень подлежащих разработке разделов):
 1. Литературный обзор
 2. Характеристика исходных материалов
 3. Методы испытаний исходных материалов и образцов асфальтобетона
 4. Экспериментальная часть
 5. Техничко-экономическое обоснование результатов работы
 6. Общие выводы

4. Перечень графического материала:
1. Цели и задачи исследования
 2. Характеристика минеральных материалов и органического вяжущего
 3. Характеристика полимеров и пластификаторов
 4. Влияние пластификаторов на свойства битума
 5. Влияние полимеров на свойства битума
 6. Комплексное влияние полимера и пластификатора на свойства битума
 7. Изменение свойств битума при совместном введении различных полимеров и пластификаторов
 8. Эластичность асфальтовяжущего на основе различных составов модифицированного вяжущего
 9. Влияние разработанных композиционных вяжущих на физико-механические характеристики асфальтобетонной смеси

Дата выдачи задания « _____ » _____ 201__ г.

_____ (подпись руководителя)

Задание принял к исполнению _____

_____ (подпись выпускника)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование этапов работы	Срок выполнения этапов работы	Примечание
1	Литературный обзор	18.04-25.04	
2	Характеристика исходных материалов	26.04-1.05	
3	Методы испытаний исходных материалов и образцов асфальтобетона	2.05-10.05	
4	Экспериментальная часть	11.05-15.05	
4.1	Исследование влияния модификаторов на свойства битума	16.05-22.05	
4.2	Проектирование состава и исследование физико-механических свойств	23.05-1.06	
5	Обеспечение качества приготовления и хранения асфальтобетонных смесей	2.06-4.06	
6	Технико-экономическое обоснование результатов работы	5.06-10.06	
7	Основные выводы	11.06-12.06	

Дипломник _____

Руководитель _____

Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя пояснительную записку: 129 страниц, 29 рисунков, 36 таблиц, 80 источников, 1 приложение и графическую часть: 9 листов.

Объект проектирования: район – Белгородская обл., отсев дробления гранита Павловского карьера, щебень гранитный фракции 5 - 10 мм ЗАО «Кировоградгранит», щебень гранитный фракции 10 - 15 мм ЗАО «Кировоградгранит», минеральный порошок для асфальтобетонных и органико - минеральных смесей ООО «Доломит», битум марки БНД 60/90 «Московского НПЗ», индустриальное масло И-20, стеариновая кислота Т-18 ЗАО «Завод органических продуктов», масло Т производства ООО «Катион», дивинилстирольный термоэластопласт ДСТ-30-01 производства ООО «Химторг», эпоксидная смола ЭД-20 ЗАО «Завод органических продуктов», отвердитель ПЭПА ЗАО «Завод органических продуктов».

Цель работы – получить комплексное композиционное вяжущее, позволяющее повысить эксплуатационную надежность асфальтобетонного покрытия в современных условиях транспортных нагрузок и воздействия природно-климатических факторов.

В квалификационной работе проведено исследование влияния различных полимеров и пластификаторов на свойства битума и асфальтобетона; разработаны рациональные составы композиционного вяжущего, оказавшие эффективное влияние на свойства асфальтобетона.

Проведен комплекс лабораторных испытаний по изучению физико-механических характеристик исходных материалов; битума, модифицированного различными полимерами и пластификаторами, а также асфальтобетонных смесей на основе композиционного вяжущего разработанных составов.

Асфальтобетон, битум, композиционное вяжущее, полимеры, пластификаторы, физико-механические характеристики, модифицирование.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Содержание

Введение

1 Литературный обзор

1.1 Состав и структурные особенности асфальтобетонных смесей

1.2 Классификация асфальтобетонных смесей

1.3 Роль минеральных материалов в составе асфальтобетонных смесей

1.4 Влияние органических вяжущих веществ на физико-механические характеристики асфальтобетона

1.5 Обеспечение сдвигоустойчивости и трещиностойкости современных асфальтобетонных покрытий

1.6 Снижение пластических напряжений в асфальтобетонных покрытиях за счет введения различных добавок в состав органического вяжущего

2 Объекты и методы исследований

2.1 Характеристика исходных материалов

2.2 Методы исследований

2.2.1 Определение характеристик сырьевых материалов

2.2.2 Определение физико-механических характеристик асфальтобетона

3. Исследование влияния модификаторов на свойства битума

3.1 Влияние различных пластификаторов на свойства битума

3.2 Влияние различных полимеров на свойства битума

3.3 Исследование комплексного влияния полимера и пластификатора на физико-механические свойства органического вяжущего

3.4 Исследование изменения свойств битума при совместном введении различных полимеров и пластификаторов

3.5 Исследование эластичности асфальтовяжущего на основе разработанных составов модифицированного битума

4. Проектирование состава и исследование физико-механических свойств асфальтобетона на модифицированном битуме

Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

ВКР-16.08.03.01(09).887

Лист

4.1 Проектирование состава асфальтобетонной смеси

4.2 Исследование влияния различных модификаторов в составе органического вяжущего на основные физико-механические характеристики асфальтобетона

5 Обеспечение качества приготовления и хранения асфальтобетонных смесей

6 Техничко-экономическое обоснование результатов работы

Общие выводы

Список литературы

Приложение А

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Введение

Увеличение объемов строительства дорог, повышение их технического уровня предъявляют все более высокие требования к битумам, поэтому в ряде стран проводится обширные исследования для улучшения их качества и повышение сроков службы дорожных покрытий.

Большое внимание уделяется установлению связи между химическим составом и свойствами битумов и поведением их в дорожных покрытиях.

Однако эти исследования не позволили ещё в полной мере установить наиболее важные строительные, эксплуатационные, технологические свойства битума и то влияние, которые они оказывают на прочность и долговечность дорожного покрытия.

Трудности решения этой проблемы объясняются сложностью химического состава битумов и отсутствием прямой зависимости прочности, деформативной способности и водостойкости битумо-минерального материала в широком интервале температур от химического состава и свойств битума.

Цель – исследования было изучение влияния различных полимеров и пластификаторов в комплексе на свойства битума и физико-механические характеристики асфальтобетона, а также получение эффективного органического вяжущего, способного улучшить физико-механические характеристики битума и асфальтобетона на их основе. Варьируя различными модификаторами битума, в частности пластифицирующими и полимеризирующими добавками, а также их концентрациями, можно получить битум необходимого качества. Получить асфальтобетонное покрытие, удовлетворяющее требованиям нормативной документации, возможно за счет использования качественного органического вяжущего, однако, на сегодняшний день, его физико-механические характеристики не соответствуют нормативным значениям или находятся границе предельно допустимых.

Задачи дипломной работы заключались в следующем:

– анализ влияния пластификаторов (индустриальное масло И-20, стеариновая кислота Т-18, масло Т) на физико-механические характеристики битума;

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

- исследование свойств битума при введении различных полимеров на примере термоэластопласта ДСТ-30-01 и эпоксидной смолы ЭД-20;
- оценка изменения физико-механических свойств органического вяжущего при введении в его состав одного полимера и пластификатора;
- установление влияния нескольких полимеров и пластификаторов в комплексе на свойства исходного битума;
- исследование эластичности разработанных составов органического вяжущего по ГОСТ 52056-2003 и ОДМ 218.2.002-2007;
- анализ физико-механических характеристик и устойчивости к колееобразованию щебеночно-мастичного асфальтобетона на основе модифицированных органических вяжущих.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

1 Литературный обзор

Состав и структурные особенности асфальтобетонных смесей

Асфальтобетон представляет собой композиционный материал, содержащий твердую и жидкую фазы. Твердая фаза композита, т.е. минеральная часть асфальтобетона, включает частицы различных размеров от щебня с крупностью зерен в десятки миллиметров до минерального порошка с размерами частиц в десятые и сотые доли миллиметра. Жидкой фазой композита является битум, выполняющий роль связующего, содержание которого в материале, как правило, не превышает 10 % от массы [1].

К основным положениям формирования идеальных композиционных материалов относятся [2-5]:

- принцип соответствия (когелентности) между характеристиками выбранных исходных материалов и методов их обработки (цемент и шлакоцемент);
- принцип оптимальной дисперсности (раздробленности);
- принцип гомогенности (перемешивание до однородного состояния);
- принцип оптимального уплотнения (в присутствии ПАВ и повышенной температуры).

Данные принципы были сформулированы в начале прошлого века академиком, разработчиком нового научного направления физико-химической механики П.А. Ребиндером. Он утверждал: «Самый простой путь повышения прочности любого твердого тела почти до идеального потолка состоит в измельчении его до частиц, по порядку величины соответствующих расстояниям между опасными слабыми местами.

Если такие частицы плотно упаковать или склеить тончайшими, а потому тоже высокопрочными после затвердевания, прослойками, полученный материал

						ВКР-17.08.03.01(09).887			
Изм.	Кол.	Лист	Недок	Подпись	Дата				
Разработал		Саввин Н.Ю.				Разработка составов щебеночно-маслянистых асфальтобетонных смесей, модифицированных различными полимерами и пластификаторами	Стадия	Лист	Листов
Руководитель		Траутвайн А.И.					ВКР		
Проверил							БГТУ им. В.Г. Шухова		
Н. контроль		Сосоенко Е.Л.							
Утвердил		Гриджин А.М.							

будет плотным, непроницаемым для жидкостей и газов, макрооднородным, высокопрочным и долговечным». Структура большинства асфальтобетонных смесей, используемых в настоящее время для создания дорожного покрытия, находится в прямом противоречии со сформулированными принципами [1]. Более того, в процессе развития производства структура асфальтобетона все более удаляется от идеальной.

Начиная с 1932 года отечественные проектирование гранулометрического состава плотных асфальтобетонных смесей было ориентировано на получение композита с высокой удобоукладываемостью. В соответствии с этим, асфальтобетонные смеси содержали ограниченное количество щебня (26-45 %) и повышенное количество минерального порошка (8-23 %). Опыт применения таких смесей показал, что в покрытиях, особенно на дорогах с тяжелым и интенсивным движением, образуются волны, сдвиги и другие пластические деформации. При этом шероховатость поверхности покрытий оказывалась недостаточной для обеспечения высокого сцепления с колесами автомобилей, исходя из условий безопасности движения [2].

В настоящее время, изменившиеся условия эксплуатации, связанные с резкой интенсификацией дорожного движения, климатические изменения, состоящие в чередовании морозов и оттепелей в периоды межсезонья и в зимнее время, усугубляют проблему и выдвигают новые требования к качеству дорожных покрытий [5].

1.2 Классификация асфальтобетонных смесей

Бетоны на органических связующих делятся по назначению и могут использоваться для:

- строительства тротуаров и улиц города;
- строительства взлетно-посадочных полос и павильонов на аэродромах;

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

- укрепления склонов или в качестве гидроизоляционного материала для строительства каналов, шлюзов, водных путей и т. д.;
- установки полов в промышленных и складских помещениях;
- строительства парковых дёрожек, покрытия на городских площадях, разделительные полосы на автомагистралях, а также для покрытия полов, террас и вестибюлей гражданских зданий;
- промышленного строительства специального назначения.

Свойства асфальтобетона, обусловившие его широкое распространение [3]:

- достаточная механическая прочность, благодаря которой асфальтобетонные покрытия хорошо воспринимают нагрузки, возникающие при прохождении транспорта;
- способность выдерживать упругие и пластические деформации, которые позволяют асфальтобетонным покрытиям воспринимать возникающие напряжения без разрушений;
- хорошее сцепление автомобильных шин с асфальтобетонным покрытием, обеспечивающее безопасность движения;
- возможность получения ровной поверхности с относительно низкой жесткостью покрытия, что обеспечивает бесшумность и высокую скорость движения транспорта;
- гигиеническое качество асфальтобетонных покрытий, которые легко чистить и мыть;
- способность хорошо поглощать вибрации, так что асфальтовые покрытия разрушаются меньше, чем, например, бетон;
- ремонт асфальтобетонных покрытий, а также возможность повторного использования старого асфальтобетона.

Согласно [4], асфальтобетонные смеси классифицируются в следующем порядке:

- щебеночные;
- гравийные;
- песчаные.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Для повышения прочности и долговечности асфальтобетона, снижения его ползучести, особое значение имеет адгезия связующего к поверхности зерен заполнителя. В качестве крупного заполнителя используют в основном щебень из плотных каменных пород, гравий и металлургический шлак.

В свою очередь горячие асфальтобетонные смеси могут быть: высокоплотные I марки; плотные типов А (I марки), Б и Г (I,II,III марок), В и Д (II и III марки); пористые I и II марки; высокопористые щебеночные I марки; высокопористые песчаные II марки. Холодные асфальтобетонные смеси подразделяются на: высокопористые щебеночные I марки; типов Бх и Вх I и II марок, Гх I и II марок, Дх II марки.

Асфальтобетонные смеси в зависимости от вязкости используемого битума и температуры укладки делятся на:

- горячие, подготовленные с использованием вязкого и жидкого нефтяного дорожного битума и уложенные при температуре не менее 120 ° С;
- холодные, приготовленные с использованием жидкого битума и уложенные при температуре не менее 5 ° С.

Асфальтобетонные смеси и асфальтобетон в зависимости от наибольшего размера минеральных зерен, делятся на [4]:

- крупнозернистые с размером зерна до 40 мм;
- мелкозернистые - до 20 мм;
- песчаные - до 10 мм.

Асфальтобетон, в зависимости от величины остаточной пористости, подразделяется на виды [4]:

- с высокой плотностью (с остаточной пористостью от 1,0 до 2,5%)
- плотные (от 2,5% до 5,0%);
- пористые (5,0% до 10,0%);
- высокопористые (свыше 10,0%).

Асфальтобетон, в зависимости от содержания щебня (гравия) в них делятся на типы [4]: А - с содержанием гравия (гравия) более от 50% до 60%, Б - от 40% до 50%; В – от 30 до 40%.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Горячие асфальтовые смеси получают с использованием вязких нефтяных дорожных битумных марок БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 40/60, БН 90/130, БН 60/90 в соответствии с ГОСТ 22245-90 [6]. Температура горячих смесей во время укладки должна быть не ниже 100-120 ° С. Покрытие из таких смесей может эксплуатироваться, главным образом, после охлаждения уплотненного слоя асфальтобетона [7].

Холодные асфальтовые смеси готовят с использованием жидкого битума, густеющего со средней скоростью марки СГ 70/130 или медленногустеющего МГ 70/130 в соответствии с ГОСТ 11955-82 [8]. Холодные асфальтовые смеси до их укладки в покрытие могут храниться на складе до 4 - 8 месяцев (в зависимости от класса используемого жидкого битума). Холодные смеси укладывают при температуре окружающей среды не менее 5 ° С весной и не ниже 10 ° С осенью [7]. Структурообразование покрытия из таких смесей протекает медленно (20-40 дней) и зависит от класса жидкого битума, типа минерального порошка (активированного или неактивированного), погодных условий, интенсивности движения автомобилей и их грузоподъемности [1].

Твёрдые асфальтовые смеси готовят с использованием вязких нефтяных дорожных битумных марок БНД 200/300, БНД 130/200, БН 200/300 и БН 130/200 согласно ГОСТ 22245-90 [6], а также с применением жидких битумов марок БГ 70/130 и СГ 130/200 согласно ГОСТ 11955-82 [8]. Температура теплых смесей во время укладки не должна быть ниже 70-80 ° С. Структурообразование покрытия из таких смесей может варьироваться от нескольких часов до нескольких недель в зависимости от типа битума и минерального порошка, погодных условий, температуры смеси при укладке, а также состава и интенсивности транспортных средств, их несущей способности [1].

Известно [9], что формирование структуры теплого асфальтобетона происходит до 20 суток, также теплый асфальтобетон более пластичен при отрицательных температурах, а переход в хрупкое состояние происходит при температуре -40 -25 °С. Температурные напряжения при понижении температуры в теплом асфальтобетоне быстрее рассасываются, чем в горячем. Отсюда большая трещиностой-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

кость теплых асфальтобетонов. Однако главным сдерживающим началом широкого применения теплого асфальтобетона для автомобильных дорог является возможность образования наплывов и сдвигов при движении автомобилей в летнее время.

Существует несколько видов асфальтобетона:

- асфальтобетон на полимерно-битумном вяжущем. Рекомендуется вводить битум вместе с полимерами для повышения стойкости к трещинообразованию и сдвиговой устойчивости асфальтобетонных покрытий, а также к сопротивлению динамическим воздействиям на дорогах с высокой интенсивностью движения, мостах, аэродромах, в местах остановки транспортных средств, на пересечениях с трамвайными путями. Битум с добавлением полимера называется полимерно-битумным вяжущим (ПБВ) [10];

- асфальтобетон с дробленным каучуком. Использование дробленого каучука в горячих асфальтовых смесях повышает долговечность покрытий, улучшает их фрикционные свойства, что в некоторых случаях снижает расход высокопрочного крупнозернистого щебня. При использовании асфальтовых смесей с дробленным каучуком в верхних слоях дорожного покрытия динамические нагрузки на нижележащие слои уменьшаются, а вероятность появления трещин и других дефектов в перекрывающих слоях уменьшается [11];

- асфальтобетон с порошковыми отходами промышленности. Порошковые отходы промышленности (пыль от уноса цементных заводов, летучей золы от ТЭС, ферросплавов, шлама и т. д.) Разнообразны по зерновому и химическому составу тонкодисперсные отходы используются для замещения минерального порошка или части песка и минерального порошка в асфальтобетонных смесях III марки. Основными условиями использования порошкообразных отходов являются отсутствие глины и органических примесей, водорастворимых соединений и свободного оксида кальция в них. Мелкодисперсные порошкообразные отходы содержат частицы менее 0,071 мм в количестве 60-95% (ферропины, шламы, дымовая пыль цементных заводов, циклонная пыль и т. д.); крупнодисперсные порошки

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

- 30-60% (пыль от дробления слабых известняков и др.). Все типы отходов характеризуются повышенной пористостью и битумоемкостью [12];

- асфальтобетон на основе природных битумносодержащих пород. Использование природных битумносодержащих пород в асфальтобетоне позволяет полностью или частично отказаться от использования нефтяного битума и снизить расход песка и минерального порошка [13]. Одной из разновидностей природных битумных пород является кира, крупные месторождения которой расположены в районах Западного Казахстана и Азербайджана. Кирры - рыхлые породы, в основном мелкие и пылеватые пески, пропитанные природным битумом различной вязкости. Содержание битума в киррах даже одного месторождения варьирует в широких пределах. Для приготовления асфальтобетонных смесей рекомендуется использовать кирры с содержанием битума 10-20% по весу. Более высокая содержание битума затрудняет разработку и транспортировку материала, а при более низком содержании битума – необходимо дополнительное введение нефтяного битума или введение в асфальтобетонную смесь значительного (более 50%) количества породы, что является технологически очень сложным процессом и экономически нецелесообразным. Битум, содержащийся в кирре, в соответствии с консистенцией относится к жидкости или занимает промежуточное положение между вязкими и жидкими битумами;

- асфальтобетон с добавкой серы. Использование серы в качестве компонента асфальтобетонной смеси позволяет снизить расход битума, повысить производительность уплотняющих механизмов, снизить температуру нагрева битума и минеральных материалов, улучшить эксплуатационные свойства и повысить долговечность асфальтобетонных покрытий. Рекомендуется использовать техническую серу (кусковую, молотую или жидкую) [14];

- многощелебнистый асфальтобетон повышенной плотности [15]. Асфальтобетон повышенной плотности и шероховатости предназначен для устройства верхних слоев покрытий на автомобильных дорогах высоких категорий. Особенно полезна его эксплуатация в дорожных и климатических зонах I-II, где верхний слой покрытия должен быть особенно водоотталкивающим и морозостойким. Структу-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

ра и состав этих асфальтобетонов занимают промежуточное место между литым асфальтобетоном и традиционным асфальтобетоном. Покрытие имеет плотность, близкую к плотности покрытий из литого асфальтобетона, но при этом для его устройства не требуется специальное оборудование. Содержание щебня в асфальтобетонной смеси составляет 55-70%, что обеспечивает высокий коэффициент сцепления колес автомобиля с поверхностью покрытия;

- асфальтобетон со стеклянным боем. Стеклянный бой - это промышленные или бытовые отходы, зерна которых по прочности и составу близки к минеральным материалам, используемым в асфальтовых смесях, и могут их заменять. Использование стеклобоя позволяет не только восполнять дефицит каменных материалов, но и уменьшать расход битума, а также получать покрытия с высокими отражающими свойствами. В асфальтобетоне можно использовать любое стекло боя. Наибольший размер зерна не должен превышать 15 мм [16].

- литой асфальтобетон. Известно [17], что применение литого асфальтобетона практикуется во многих странах Западной Европы для ямочного ремонта асфальтобетонных покрытий мостов, мостовых переходов. Применение литых асфальтобетонных смесей для ямочного ремонта позволяет осуществлять производство работ круглый год. Используя литые асфальтобетонные смеси, возможно устранять разрушения на асфальтобетонных покрытиях на ранних стадиях их появления. Значительное содержание вязкого нефтяного дорожного битума и минерального порошка в составе обычной литой асфальтобетонной смеси обеспечивает ей повышенную удобоукладываемость при технологической температуре и позволяет осуществлять устройство и ремонт покрытий без уплотнения катками, что особенно эффективно при выполнении ремонтных работ на городских улицах и дорогах. Существенным преимуществом покрытий из литого асфальтобетона, по сравнению с покрытиями из традиционных плотных горячих асфальтобетонов, является их водонепроницаемость, высокая длительная водо- и морозостойкость.

- щебеночно-мастичный асфальтобетон содержит в себе от 30 % до 70 % щебня в зависимости от марки смеси. Использование щебеночно-мастичного асфальтобетона обеспечивает ряд эксплуатационных и функциональных преимуществ.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

ществ по сравнению с покрытиями из асфальтобетона типа А, содержащими до 65 % щебня: существенно более высокая устойчивость к разрушениям; повышение долговечности покрытия в 2-3 раза; снижение уровня шума; высокая сдвигоустойчивость; высокий коэффициент сцепления; снижение затрат на содержание и ремонт дорог в 2-4 раза; повышение долговечности покрытия в 2-3 раза [18].

1.3 Роль минеральных материалов в составе асфальтобетонных смесей

Важнейшая роль в обеспечении высокой эксплуатационной надежности асфальтобетона принадлежит свойствам исходного сырья: минерального (щебень, песок, минеральный порошок) и органического (битума).

Каменный материал образует в асфальтобетонной смеси скелет, который воспринимает нагрузку от проезжающих автомобилей и передает их нижележащему слою.

Щебень представляет собой неорганический сыпучий материал с зернами размером более 5 мм, полученный путем дробления горных пород, гравия и валунов, связанных с добычей попутно добываемых или вскрышных пород или является отходами предприятий горнодобывающей промышленности при переработки руд черных или цветных металлов в металлургической промышленности.

Согласно [19], в настоящее время доступность каменных материалов для строительства оценивается по следующим показателям: прочности, износо- и морозостойкости. Щебень используется из твердых и морозоустойчивых пород магматического, осадочного и метаморфического происхождения, а также из некоторых разновидностей шлаков. К изверженным породам относятся: граниты, габбро, диабазы, базальты, диориты; к осадочным - известняки, доломиты, мергели и песчаники; к метаморфическим - мрамор, кварциты. Прочность и морозостойкость осадочных пород ниже, чем изверженных пород. Из осадочных пород гравийные материалы в измельченном состоянии очень распространены в производстве асфальтобетонных смесей [20]. Независимо от происхождения породы щебень дол-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

жен выдерживать 50 циклов на морозостойкость для верхнего слоя покрытия и 25 - для нижнего слоя [20]. Щебень должен отвечать требованиям стандарта [6, 21] и использоваться в том или ином виде для асфальтобетона в зависимости от прочности породы [20]. Увеличение физико-механических характеристик асфальтобетонного покрытия может быть достигнуто за счет использования каменного материала улучшенной формы в результате его прохождения через дробильное оборудование, которое способно улучшить сцепляющие свойства материала [22].

Песок является важным компонентом практически любой асфальтобетонной смеси. Песок из отсева дробления представляет собой неорганический сыпучий материал с размером зерна до 5 мм, полученный при измельчении горных пород при производстве щебня [23]. Песок в составе асфальтовой смеси служит заполнителем пор между щебнем и способен переносить нагрузки на нижележащие слои. Его качество также оказывает существенное влияние на свойства асфальтобетона. Смеси для верхнего слоя покрытия готовят на природном (горном, речном или морском) и дробленном (полученном при просеивании горных пород) песках. Измельченные пески фракции 0-5 мм повышают стойкость к сдвигу и фрикционные характеристики покрытия, но при высоком содержании снижают подвижность и уплотняемость смеси, снижают водостойкость покрытия [20].

При использовании только природного песка лучше использовать крупнозернистый или среднезернистый, то есть с модулем крупности, соответственно, более 2,5 или в пределах 2,0-2,5 и содержанием зерна более 0,63 мм в пределах 35-50%. Чем крупнее песок, тем плотнее асфальтобетон и тем выше его деформационная стойкость. В смесях для нижних слоев допускается мелкий и очень мелкий песок с модулем крупности 1,7 и 1,1 соответственно [20]. Песок должен быть чистым. Содержание глинистых частиц в нем не должно превышать 0,5%, а пыли и ила не должны превышать 3% - в природном песке и 5% - в измельченных. Песок должен соответствовать требованиям стандарта [23].

Минеральный порошок - это материал, полученный измельчением горных пород или твердых отходов промышленного производства [24]. Носителями тонких ориентированных слоев битума являются частицы минерального порошка, у

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

которого самая развитая реакционная поверхность. На его долю приходится до 90-95% общей поверхности минеральных частиц, составляющих асфальтобетон. Основная роль минерального порошка заключается в преобразовании объемного битума в пленочное.

Влияние минерального порошка на свойства асфальтобетона может проявляться в нескольких направлениях [20]:

- упрочнение структурированной дисперсной системы;
- увеличение плотности и снижение водопроницаемости асфальтобетона;
- уменьшение старения асфальтобетона;
- увеличение водо- и морозостойкости асфальтобетона.

Таким образом, минеральный порошок является наиболее важным структурообразующим компонентом асфальтобетона. При определенном соотношении битума и минерального порошка в системе можно значительно увеличить прочность сцепления между частицами за счет структурирования битума. В то же время показатели прочности структурированного битума значительно превышают значения объемного битума [25]. При взаимодействии битума с поверхностью минеральных частиц образуются тонкие пленки вяжущего, покрывающие минеральные частицы адсорбционными слоями, в которых свойства битума значительно отличаются от свойств объемного (свободного) битума. Установлено [1], что диффузионно-структурированные оболочки битума образуются на поверхности минеральных частиц, плотность и вязкость которых имеют наибольшее значение непосредственно на границе раздела «битум-минеральный материал».

Носителями тонких ориентированных слоев битума являются частицы минерального порошка, у которого самая развитая удельная поверхность. На его долю приходится до 90-95% общей поверхности минеральных частиц, составляющих асфальтобетон. Влияние минерального порошка на свойства асфальтобетона может проявляться в нескольких направлениях: упрочнение структурированной дисперсной системы, увеличение плотности и снижение водопроницаемости асфальтобетона, сокращение старения асфальтобетона, увеличение водо- и морозостойкости асфальтобетона.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Минеральный порошок представляет собой измельченный известняк, доломит, основной доменный шлак с размером зерна менее 1,25 мм. При этом содержание частиц менее 0,071 мм должно составлять не менее 70%. Для некоторых видов асфальтобетонной смеси (для пористых или высокопористых асфальтобетонов, асфальтобетонов II и III классов) допускается использование грунтовых первичных металлургических шлаков, пыли уноса цементных заводов и золы тепловых станций [26]. Асфальтобетон без минерального порошка оказывается очень пористым, не морозостойчивым и, как правило, быстро разрушается. Минеральный порошок должен соответствовать требованиям стандарта [24]. Чем выше степень дисперсности минерального порошка, тем выше его энергетический потенциал и сцепление с битумом, тем прочнее зерна минеральной смеси склеиваются вместе в монолит. Однако порошок не должен быть чрезмерно тонкими. В противном случае он будет плохо смешиваться с другими минеральными материалами и битумом [27]. Одной из важных характеристик порошка является пористость, которая варьируется от 30 до 40% для разных сортов [24]. Для уменьшения пористости и гигроскопичности порошка при измельчении породы рекомендуется обрабатывать вновь образованные поверхности активирующей композицией, состоящей из поверхностно-активных веществ и битума в количестве 1,5-2,5% от массы порошка. Наличие поверхностно-активных веществ значительно улучшает смачивание поверхности частиц битумом и способствует образованию прочных связей [25].

1.4 Влияние органических вяжущих веществ на физико-механические характеристики асфальтобетона

Органическое вяжущее – один из самых главных компонентов асфальтобетонной смеси. Его основной задачей является обеспечение связи между минеральными компонентами смеси [28].

Прочность и долговечность дорожных одежд, устраиваемых с применением битума, значительной мере зависит от качества этого важнейшего материала,

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

предназначенного для связывания различных по крупности минеральных зёрен и образования вместе с ними после уплотнение прочного, износо- и погодоустойчивого монолита.

Под влиянием транспортных нагрузок и погодно-климатических факторов в дорожных покрытиях образуются различного рода деформации, вызванные напряжениями от сжатия, растяжение, сдвига. В тех случаях, когда напряжение превышает допустимые пределы, наблюдается необратимые деформации, вызывающие разрушение материала. Наличие в составе дорожного покрытия битума, изменяющего под воздействием температуры воздуха свое реологическое состояние (вязко-текучее, вязко-пластичное, упруго-хрупкое), способствует образованию необратимых деформаций, проявляющихся на покрытие в виде трещин, выбоин, выкрашивания, шелушения, сдвигов, наплывов, волн, колеяности [28].

Следовательно, битум как важнейший материал, образующий дорожное покрытие, должен прочно и устойчиво соединять в монолит минеральные материалы различной крупности и природы, то есть обладать высокими вяжущими свойствами:

- образовывать вместе с минеральными материалами вязко-пластичную систему, обладающую прочностью, водостойкостью, износоустойчивостью, деформативной способностью при изменении температуры;
- обладать способностью сохранять свой химический состав и свойства в течение длительного времени, то есть не стареть [29].

Опыт применения битумов и исследовательские работы по изучению их структуры и свойств показывают, что при разных температурах битумы могут находиться в трех различных реологических состояниях: упруго-хрупком, эластично-пластичном и вязко-текучем.

В упруго-хрупком состоянии битум ведет себя подобно твердому телу и его свойства оцениваются модулем упругости и прочностью.

Для эластично-пластичного состояния характерным является способность битума давать большие обратимые деформации, иногда сопровождающиеся необ-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

ратимым течением. Изучение свойств битума в эластично-пластичном состоянии может служить для характеристики строительных и эксплуатационных свойств дорожного покрытия.

В вязко-текучем состоянии битум ведет себя подобно жидкому телу, характеризующемуся величиной его истинной вязкости. Этот интервал состояния битума представляет интерес для изучения процессов технологии получения и применения битумо-минеральных материалов.

Для каждого реологического состояния является характерным наличие определенной молекулярной структуры битума, обуславливающей его основные дорожно-строительные свойства.

Битумы при достаточно низкой температуре представляют собой конденсационно-кристаллизационную структуру, а при повышенных температурах - коагуляционную структуру, подвижность (текучесть) которых при достаточно высокой температуре переходит в обычную ньютоновскую вязкость высоковязких жидкостей.

Следовательно, для интервала хрупкости является характерным конденсационно-кристаллизационная структура битума, для эластично-пластичного интервала - коагуляционная структура, для интервала текучести - молекулярная структура высоковязкой жидкости.

Границами отдельных реологических состояний битума являются температуры хрупкости, отделяющие состояние хрупкости от эластично-пластичного и температуры размягчения или текучести, отделяющие эластично-пластичное от текучести.

Значение показателей, характеризующих состояние битумов, определяются их химическим составом и структурой и имеют различные величины в зависимости от технологии получения битума и природы исходного сырья [30].

Исследования многочисленных образцов битумов показывают, что свойства их даже для одной и той же марки весьма разнообразны и зависят от природы сырья, способа переработки нефти и технологического режима производства битумов.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Для получения качественных битумов большое значение имеют нефти, из которой они вырабатываются. На нефтеперерабатывающих заводах России обычно применяется для переработки разнообразная смесь нефтей, а это приводит к тому, что для производства битумов часто используются непригодные нефти. Поэтому организация производства битумов с учетом свойств сырья /нефти является одной из важнейших задач, которая должна быть решена нефтеперерабатывающей промышленностью.

Не менее важное значение имеет принятый технологический процесс приготовления битумов.

Учитывая большое влияние, которое оказывает природа нефти на свойства битума, необходимо во всех случаях, когда это представляется возможным, применять нефти, обеспечивающие при выбранном технологическом процессе получение битумов с высокими дорожно-строительными свойствами.

Следовательно, чаще всего на нефтеперерабатывающий завод поступает смесь нефтей, химический состав которых изменяется в довольно больших пределах, и в этих условиях практически невозможно получить стабильную по своим свойствам нефть желаемого химического состава.

В этих условиях наиболее правильным решением проблемы должно быть применение рациональных модификаторов, с помощью которых можно получить битумы с хорошими дорожно-строительными свойствами.

Причем во всех случаях, когда при помощи рациональной технологии производства не удастся получить битумы с заданными свойствами, следует подключить другие средства воздействия, как пример, введение в битум полимерных материалов, поверхностно активных веществ, которые могут изменять упруго-вязкие, термомеханические и адгезионные свойства битумов [30].

Проведенные работы показали необходимость рассмотрения различных свойств битума с учетом температурных условий, определения его различного реологического состояния: упруго-хрупкого, эластичного и вязко-текучего. Каждое из этих состояний характеризуется определенной молекулярной структурой битума.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Следует отметить, что принятая в настоящее время оценка свойств битума, как например, кривые зависимости вязкости от температуры, взятые в широком интервале температур, или сравнение вязкости различных битумов при одной температуре, не учитывает реологического состояния материала и поэтому не дает реального представления о его свойствах.

Поэтому для правильной оценки свойств битума в процессе приготовления битумоминеральных материалов в дальнейшей работе в составе дорожного покрытия необходимо учитывать реологическое состояние битума в интересующих нас интервалах температур. Так, например, для оценки поведения битума при приготовлении и применении битумоминеральных смесей следует учитывать его интервал вязко-текучего состояния, а для оценки поведения битума в дорожном покрытии, характеризующем его долговечное эксплуатационное качество, следует рассматривать свойства как в интервале хрупкого, так и эластично-пластичного состояния. Только такое рассмотрение битума может дать более правильную характеристику его как для сравнения с другими образцами, для заключения о его свойствах как дорожно-строительного материала.

Долговечность дорожных покрытий определяется в первую очередь наличием прочного устойчивого сцепления битума с поверхностью минерального материала [31].

Образование связи битума с каменным материалом определяется процессами смачивания и адсорбции, происходящими на минеральной поверхности. Наличие в битуме крупных высокомолекулярных соединений способствует протеканию процессов физической адсорбции, оказывающих влияние на физическое сцепление битума с поверхностью минерального материала. Прочное сцепление достигается лишь при хемоадсорбционном взаимодействии с образованием поверхностных соединений, катион (или анион), которые входят в кристаллическую решетку минерального материала и анион (катион), которые находятся в составе битума. Поэтому в создание прочной связи битума с поверхностью материала оказывают поверхностно-активные вещества, имеющиеся, как в составе битума, так и специально введенных добавок. Для изучения процессов взаимодействия с поверхностью ка-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

менных материалов большой интерес представляют собой исследование как непосредственной прочности адгезионной связи битума с поверхностью различных по природе каменных материалов, так и изучение воздействия поверхности материала на тонкий слой битума, выражающиеся в изменении свойств битума с понижением толщины его слоя [32].

Эффективным методом улучшения качества автодорожных покрытий является использование в их составе полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) - битумных композиций, содержащих добавки синтетических полимеров. ПБВ в отличие от обычных дорожных битумов обладают эластичностью, имеют широкий температурный интервал работоспособности, а получаемые на их основе асфальтобетонные смеси характеризуются высокими физико-механическими показателями, что в результате обеспечивает высокое качество автомобильного покрытия и длительные сроки его эксплуатации [33].

1.5 Обеспечение сдвигоустойчивости и трещиностойкости современных асфальтобетонных покрытий

Кроме необходимой прочности, асфальтобетон должен обладать деформационной устойчивостью. К сожалению, в стандарте отсутствуют какие-либо нормативы на показатели допустимого деформирования этого материала.

Не все деформации являются опасными и нежелательными.

Обратимые деформации в основном не опасны, желательно равномерно развивать способность асфальтобетона к упругим и кратковременным эластическим деформациям.

Свойства длительной эластичности не опасны только при неинтенсивном движении транспорта, так как при интенсивном движении тяжелого транспорта она может перейти в необратимую деформацию. Весьма важно, чтобы асфальтобетон обладал достаточной упругостью или эластичностью при низких или отрицательных температурах. Это связано с тем, что битум при этих температурах само-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

произвольно структурируется, твердеет, но должен выдерживать значительные деформации, связанные с высокой термической усадкой / большой коэффициент расширения. При отсутствии достаточной эластичности битума асфальтобетон растрескивается тем сильнее, чем меньше минерального порошка в вяжущем веществе / выше отношение битума к минеральному порошку. Впрочем, чрезмерно сухая смесь / с низким отношением битума к минеральному порошку смесь также растрескивается в покрытии, хотя трещины получаются более тонкие и, следовательно, легче самозакрываются летом при движении транспорта [34].

В стандарте на битумы следует более четко определить упруго-эластичную часть деформирования битумов при отрицательных температурах и тем более внести соответствующие показатели в стандарт на асфальтобетоны. Однако при окончательном установлении нормативных показателей должна учитываться деформационная устойчивость не только при отрицательных, но и при положительных температурах.

Для работы асфальтобетона при положительных температурах более характерными являются необратимые деформации. Очевидно, что необратимые, пластические деформации должны строго ограничиваться допустимыми пределами, причем они могут быть в основном только за счет ползучести. Полностью исключить пластические деформации, по-видимому, не представляется возможным, поскольку при высоких температурах асфальтобетон обладает коагуляционной структурой с присущей ей ползучестью. Ползучесть асфальтобетонам выражена очень резко, например, на несколько десятичных порядков она больше, чем у цементного бетона. В результате постепенно образуются незаметные деформации, со временем перерастающие в прогибы, сдвиги и даже трещины на дорожных покрытиях. Понятно, что их образование ускоряется движением транспорта и деформированием основания [35].

Таким образом, первая задача состоит в развитии упруго-эластичных деформаций асфальтобетона при отрицательных температурах работы покрытия и во всемерном торможении и сокращении размеров деформаций ползучести при положительных температурах. Эта задача остается практически нерешенной, хотя и мо-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

жет быть предложен ряд мероприятий, способствующих ее положительному решению. Среди этих мероприятий необходимо отметить следующие [34]:

а) применение битумов со сравнительно однородной смолистой частью, вследствие чего понижается эффект селективного выкристаллизовывания глубоко полимеризованных компонентов при пониженных и отрицательных температурах. Поэтому для дорожных целей следует применять остаточные битумы из беспарафинистых нефтей асфальто-смолистого основания или окисленные битумы из гудрона прямой гонки с глубоким отбором фракций. Чем более резкоконтинентальный климат в районе строительства дорожных покрытий, тем тщательнее должен производиться выбор применяемого битума по однородности /гомогенности/ его смолистой части;

б) введение в битум лиофильных наполнителей с соответственным снижением асфальтенов, то есть с переходом на битумы пониженной вязкости. В частности заслуживают более внимательного отношения работы по добавлению каучуко-резиновых, полимерных в других аналогичных веществ;

в) по возможности полный перевод битума в асфальтобетоне в состояние диффузно-структурированных пленок, используя при проектировании состава вышеуказанные закономерности изменения прочностных свойств. Тенденции в произвольном снижении или повышении количества минерального порошка или битума в асфальтобетоне не способствуют научно обоснованному назначению составов асфальтобетона и переводу битума в диффузно-структурированное состояние;

г) при выборе горных пород для изготовления щебеночного материала следует производить проверку ползучести асфальтобетона;

д) увеличение плотности минеральной зернистой смеси или уменьшение вяжущего вещества;

е) тщательная подготовка основания под асфальтобетонное покрытие, так как первичные микродеформации ползучести в летнее время возникают над неровностями и швами в основании.

Однако имеется и другая задача по повышению деформационной надежности асфальтобетона в дорожном покрытии. Она состоит в полном предотвращении

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

пластических деформаций асфальтобетона в покрытии, которые вызываются напряжениями, большими предела упругости или меньшими, но при большой интенсивности движения тяжелого транспорта [36].

Исследования при решении этой задачи показали, что деформационная устойчивость асфальтобетона зависит от тех же факторов, от которых зависит прочность. Согласно так называемому "правилу створа" максимальная деформационная устойчивость асфальтобетона всегда соответствует наибольшей прочности. Но высокой прочности, то есть по величине выше заданной, не всегда соответствует максимум деформационной устойчивости. Поэтому асфальтобетон, удовлетворяющий по прочности стандарт, не обязательно будет устойчивым против образования деформаций. Подбор состава асфальтобетона по прочности должен всегда координироваться с проверкой пластичности, а также должен завершаться проверкой деформационной устойчивости на модели с более точным, по возможности, воспроизведением натуральных условий движения транспорта по выбранной расчетной схеме.

На асфальтобетонных покрытиях автомобильных дорог наблюдаются пластические деформации, проявляющиеся в виде образования колеи, «волн», наплывов. Основными причинами этих деформаций являются [37]:

- высокий нагрев температуры асфальтобетонных покрытий;
- скорость движения транспорта;
- увеличение интенсивности движения;
- увеличение осевых нагрузок автомобилей;
- частота торможения;
- недостаточная сдвигоустойчивость асфальтобетонных покрытий при

нагреве от солнечных лучей.

Современной тенденцией является разработка обоснованных методов оценки и требований к сдвигоустойчивости асфальтобетона, которые должны соответствовать как особенностям асфальтобетона, так и действительным условиям работы материала в покрытии. Эти условия находятся в зависимости от климатических

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

особенностей того или иного района и характера воздействия нагрузки на той или иной дороге. Из этого следует, что требования к сдвигоустойчивости асфальтобетона, во-первых, должны быть дифференцированы в зависимости от этих условий и, во-вторых, их рационально устанавливать не в виде эмпирического нормативного материала, который затруднительно дифференцировать в достаточной степени для различных условий, а путем создания определенной методики расчета сдвигоустойчивости, основанной на принципах, отражающих условия работы и свойства асфальтобетона.

При обосновании требований к сдвигоустойчивости асфальтобетона в настоящее время применяются различные принципы расчета сдвигоустойчивости, однако еще нет общепризнанной теории.

Сопротивление асфальтобетона сдвигу определяется внутренним трением, зависящим в первую очередь от характера молекулярной шероховатости пленок, разделяющих минеральные зерна, от вязкости этих пленок (трение в пленках), от степени грубой шероховатости, выражающейся в волновой поверхности скольжения и увеличивающей силу, необходимую для сдвига этих поверхностей, сопротивлением асфальтобетона на разрыв, характеризующимся адгезионно-когезионными свойствами вяжущего.

Понятие прочности, как и понятие усталости в случае сдвигоустойчивости являются условными ввиду способности битуминозного вяжущего восстанавливать структуру и свойства.

Уменьшение долговечности асфальтобетонных покрытий является следствием таких основных дефектов, как трещины и выкрашивания, которые составляют на загородных магистральных дорогах 83-87% от всего объема дефектов, а в городах – 65-70% [38].

В осенне-зимне-весенний период, когда происходит существенное изменение как температуры, так и физико-механических свойств асфальтобетона, асфальтобетонное покрытие находится в сложных условиях воздействия различных факторов. На работу асфальтобетонных покрытий при отрицательных температурах

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

существенно влияют как воздействие движения, так и весь комплекс природных условий местности.

Под воздействием транспортной нагрузки асфальтобетонное покрытие работает на изгиб. Максимальные растягивающие напряжения возникают в нижней зоне. Величина растягивающих напряжений зависит от толщины покрытия, соотношения модулей упругости покрытия и основания [39]. Ввиду того что прочность грунта земляного полотна наименьшая в северных районах России и в средней полосе в весенний период, то и максимальные деформации растяжения для покрытия данной конструкции дорожной одежды будут в весеннее время, которое поэтому и принимается в качестве расчетного периода.

Воздействие природных условий - режима изменения температуры и влажности, грунтовых и гидрологических условий - вызывает: 1) изгиб (коробление) покрытий вследствие неравномерного поднятия при промерзании и пучении грунта земляного полотна; 2) растяжение от несвободного сжатия при охлаждении; 3) изгиб (коробление) вследствие невозможности искривления монолитного покрытия при разности температур сверху и внизу покрытия; 4) деформации от изменения влажности асфальтобетона [39] при частом переходе температуры через 0 °С, когда происходит вымораживание влаги и асфальтобетонное покрытие дает осадку.

До недавнего времени считалось, что асфальтобетон при низкой температуре является упругим материалом. Поэтому в большинстве работ исследовались прочностные свойства асфальтобетона и упругие характеристики деформационных свойств, такие, как модуль деформации (упругости), относительная деформация и др. Успехи реологии асфальтобетона при высоких температурах позволили и при низких температурах начать исследования таких реологических свойств битума и асфальтобетона, как его вязкость, эластичность, релаксация напряжений.

Прочность асфальтобетона на растяжение с понижением температуры увеличивается, а относительное удлинение уменьшается. Однако, при некоторой температуре, прочность на растяжение с дальнейшим охлаждением падает. Аналогичный характер имеет и изменение прочности при изгибе [38-39]. Температура, при

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

которой наблюдается максимальная прочность, связана с вязкостью асфальтобетона и режимом испытания. При меньшей вязкости она понижается, так как переход из упруго-вязкого состояния в упруго-хрупкое произойдет при более низкой температуре.

Абсолютная величина предела прочности при прочих равных условиях зависит от скорости деформирования или времени действия нагрузки [39].

Исследованиями [40] было установлено, что зависимость между напряжением растяжения и относительным удлинением у асфальтобетона нелинейна. Причиной этого является наличие у асфальтобетона эластических и вязких свойств.

Известно [41], что трещиностойкость асфальтобетонного покрытия существенно зависит от способности асфальтобетона служить в области обратимых деформаций, от его жесткости, которая характеризуется значениями модуля упругости и прочностью асфальтобетона на растяжение при расколе. Поэтому для увеличения транспортно-эксплуатационных характеристик покрытия в холодный период в состав асфальтобетонной смеси вводят добавки на основе полимеров и поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Для повышения трещиностойкости асфальтобетона все большее применение находят геосетки (Армдор, Tenzar и др.). При этом геосетку рекомендуют укладывать на полотно дороги при его ремонте под новый слой асфальтобетона. Безусловно, такое расположение уменьшит образование отраженных трещин, так как будет препятствовать прорастанию старых трещин в верхние слои нового покрытия. Однако при резком уменьшении температуры и верхний слой покрытия будет подвергаться напряжению, что может также привести к образованию трещин. Поэтому рационально будет использование геосетки и в верхнем слое асфальтобетонного покрытия [42].

Согласно [43], повышения устойчивости дорожных покрытий против образования пластических деформаций можно достичь, в частности, за счет применения технологии строительства покрытий с применением асфальтобетона каркасной структуры на основе битумно-полимерных вяжущих, который характеризуется повышенными значениями сцепления и угла внутреннего трения. Применение моди-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

фикаторов незначительно влияет на физические показатели асфальтобетона (среднюю плотность, водонасыщение), но очень значительно - на механические и деформативно-прочностные показатели материала как каркасной структуры. Рассматривая прочность асфальтобетона в области повышенных температур (при 50 °С) отмечено значительное улучшение показателя в 1,05 - 1,5 раза. Наиболее эффективно для повышения указанного показателя применение каучуков типов СКС 30 АРКМ 15 и СКД при содержании модификатора в количестве 2,5-3 % по массе. Применение указанных модификаторов практически в 1,5 раза повысило предел прочности при сдвиге каркасного асфальтобетона (определенного по методу Никольского) в сравнении с контрольным составом. Применение в качестве модификатора термоэластопласта ДСТ 30-01 не менее эффективно в сравнении с каучуками позволяет увеличить показатель прочности при 50 °С и предел прочности при сдвиге.

1.6 Снижение пластических напряжений в асфальтобетонных покрытиях за счет введения различных добавок в состав органического вяжущего

По причине сложности структуры асфальтобетон резко меняет свои свойства в зависимости от температуры [44]. При положительных температурах асфальтобетон обладает свойствами вязко-пластичного материала, а при отрицательных - упругого. Изменение температуры существенно влияет на деформационные свойства асфальтобетона, которыми в основном и определяется его работоспособность в дорожном покрытии. Сдвиги и волны образуются из-за недостаточной температуростойчивости асфальтобетона и плохого сцепления его с основанием. Асфальтобетон под действием солнечных лучей за счет солнечной радиации размягчается, теряет устойчивость и прочность. При действии на покрытие касательных нагрузок, возникающих при торможении самолетов, происходит сдвиг асфальтобетона с образованием бугров и волн. Сдвиги и волны могут возникать в результате плохо подобранного состава смеси. Если асфальтобетон укладывается на

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

загрязненное основание, сцепление покрытия с основанием ухудшается, что при приложении к покрытию горизонтальных усилий приводит к образованию сдвигов слоя асфальтобетона с разрывами на нем.

Действие на покрытие автомобильной дороги комплекса транспортных нагрузок, которые вызывают нормальные и касательные напряжения от подвижного транспорта, а также ударные нагрузки в зонах контакта колеса автомобиля с покрытием в сочетании с многократным действием солнечной радиации (излучение), приводит к большому количеству разных дефектов покрытия пластичного характера, в том числе и колейности [45].

Асфальтобетон в конструкции в зависимости от температуры и условий деформирования может находиться в следующих структурных состояниях:

- упругохрупком – минеральный остов строго фиксирован застеклованными прослойками битума;
- упругопластичном – зерна минерального остова прочно соединены прослойками битума, которые проявляют при напряжениях, не превышающих предел текучести, упругие и эластичные свойства, а при больших напряжениях упруго-вязкие свойства;
- вязкопластичном – зерна минерального остова соединены полужидкими прослойками битума, и небольшое напряжение приводит к деформированию материала.

Под механической нагрузкой асфальтобетон проявляет комплекс свойств: упругость, пластичность, ползучесть, релаксация напряжений, изменение прочности в зависимости от скорости деформирования, накопление деформаций при многократных приложениях нагрузки и т.д.

К температурным деформациям относятся следующие:

- сдвигоустойчивость – характеризуется прочностью асфальтобетона при сдвиге в условиях повышенных температур;
- ползучесть – разновидность пластических деформаций, постепенно нарастающих под действием незначительных силовых факторов по величине значительно меньше тех, которые способны вызывать остаточную деформацию за обычные

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

периоды наблюдений (например, собственный вес). Повышенное содержание битума в составе асфальтобетона, а также высокие температуры способствуют повышению ползучести. Щебень и песок в составе асфальтобетона снижают ползучесть.

– текучесть – медленно нарастающая деформация без увеличения напряжений в материале. Текучесть, величина обратная вязкости;

– релаксация – процесс снижения внутренних напряжений в материале при постоянной деформации. Период релаксации – время, за которое напряжение понижается в 2,72 раза. Напряжение в асфальтобетоне при постоянной деформации делят на релаксирующие и нерелаксирующие. Релаксирующая часть напряжений взаимосвязана с типом структуры асфальтовой системы, реологическим состоянием, начальным напряжением и скоростью нагружения.

Интенсивность процесса накопления остаточных деформаций в случае работы асфальтобетона в упруго-вязкой стадии мала по сравнению с вязко-пластической, так как вязкость. В связи с этим одной из основных характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетона следует принять пластическую вязкость $t|_{пл}$. Переход асфальтобетона из упруго-вязкого в вязко-пластическое состояние определяется условным пределом пластичности и действующим напряжением. Поэтому второй реологической характеристикой сдвигоустойчивости асфальтобетона, связанной с пластической вязкостью асфальтобетона, будет предел пластичности.

Условия работы асфальтобетонного покрытия в летнее время таковы, что деформации покрытия вызываются действующими нагрузками, прикладываемыми к покрытию за промежуток времени, т. е. деформирование идет по схеме ползучести. Поэтому применять для оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона релаксационные характеристики (например, время релаксации) нецелесообразно.

Помимо общих эксплуатационных требований по прочности, ровности и шероховатости, покрытие должно противостоять пластическим деформациям при высоких положительных температурах и быть трещиностойким при низких отрицательных температурах [46]. Обеспечение сдвигоустойчивости асфальтобетона (одного из основных видов покрытий) относится к важнейшим

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

задачам, которые необходимо решать незамедлительно, поскольку они напрямую связаны с безопасностью движения автомобильного транспорта. В образовании термостойких асфальтобетонов, помимо создания в них жесткого каркаса из щебня износостойких прочных пород камня, большого его содержания (до 80 %) и максимального количества дробленых зерен в минеральной части (до 100 %), обеспечивающих требуемый показатель коэффициента внутреннего трения $\text{tg}\phi$, должны играть битумные композиции с широким диапазоном пластичности, обеспечивающим как трещиностойкость асфальтобетона (нижняя граница), так и показатель сцепления асфальтобетона при сдвиге при температуре $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (верхняя граница) [47].

Способность асфальтобетонных покрытий сопротивляться как деформациям [48], возникающим под силовым воздействием колес автомобилей (касательные напряжения, количество циклов, частота и продолжительность нагружения), так и последующему разрушению, обусловлена прежде всего структурой асфальтобетона, и во многом зависит от реологических свойств упруго-вязкопластичной среды, которой является сам асфальтобетон. Именно упругость, вязкость и пластичность связаны с усталостной прочностью и долговечностью асфальтобетона, они являются важнейшими показателями, определяющими его сдвигоустойчивость (способность сопротивляться необратимому пластическому деформированию при многократном приложении нагрузки от колес автомобильного транспорта). При этом основным критерием сдвигоустойчивости асфальтобетона является предельно допустимая необратимая деформация, определяемая из условий долговечности и безопасности движения автомобильного транспорта, которую принято считать глубиной колеи.

Улучшение битумов используемых в производстве асфальтобетонов, заключается в основном, в разжижении, повышении их адгезионной способности, теплостойкости, упруго-эластичных свойств при высоких и пониженных температурах. Разжижающие добавки вводят для снижения вязкости битума. Наибольшее распространение в качестве разжижающих добавок получили: керосин и легроин, а также углеводороды ароматического ряда: бензол и ксилол. Чем ближе состав раз-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

жизнителя к составу вяжущего материала, тем гомогеннее и стабильнее будут растворы [49].

Повышения устойчивости дорожных покрытий против образования пластических деформаций можно достичь, в частности, за счет применения технологии строительства покрытий с применением асфальтобетона каркасной структуры на основе битумно-полимерных вяжущих, который характеризуется повышенными значениями сцепления и угла внутреннего трения [50].

Применение полимерно-битумных вяжущих ПБВ относится к одной из наиболее активно внедряющихся технологий строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог. В России для модификации битумов применяют блоксополимеры бутадиена и стирола типа СБС, «Каудест-Д», растворы синтетических каучуков типа СКС [51].

Целью введения полимеров в битумы является повышение их деформативности при низкой температуре, теплоустойчивости и эластичности. Улучшение эксплуатационных свойств битумов может быть достигнуто в том случае, если полимер растворяется или набухает в дисперсионной среде битума, образуя пространственную структурную сетку. Полимерно-битумные вяжущие представляют собой композиционные материалы, структура и свойства которых зависят от вида и концентрации полимера, марки и структурного типа битума, технологии смешения компонентов. Варьируя видом и концентрацией полимера, можно получать ПБВ с заданным комплексом физико-механических свойств [52].

Согласно [53] установлено, что добавка ДСТ 30-01 одновременно повышает температуру размягчения T_p , понижает температуру хрупкости T_{xp} , увеличивая интервал работоспособности ИР, повышает пластичность битума при низких температурах P_0 . Полимерно-битумное вяжущее отличается от битума высокой пластичностью и эластичностью, что обуславливает более широкий диапазон температур, в которых ПБВ сохраняет работоспособность.

Также установлено [54], что асфальтобетоны на ПБВ с добавками ДСТ-30-01, АПП и комплексной обладают в сравнении с асфальтобетоном на битуме более высокими показателями прочности при 20 и 50 °С, пониженной температурной

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

чувствительностью (коэффициенты теплоустойчивости). Применение модифицирующих добавок заметно снижает прочности на сжатие и на растяжение, определенные при 0 °С, повышает сцепление при сдвиге. При близких значениях средней плотности и остаточной пористости водонасыщение асфальтобетона на битуме выше, чем асфальтобетонов на ПБВ. Следовательно, поровая структура асфальтобетонов на ПБВ имеет большее количество закрытых пор, что способствует более высокой морозостойкости асфальтобетонов.

Исследование влияния добавки, основанной на пластифицированных ДСТ-30-1, резиновой крошки и полиэтилена высокого давления [55], на физико-механические показатели асфальтобетона типа Б показало закономерное улучшение свойств асфальтобетона соответственно показателям вяжущего. Установлено, что значительно повышается высокотемпературная устойчивость асфальтобетона, определяемая коэффициентом теплоустойчивости, который падает на 34 %, и пределом прочности при 50 °С, который увеличивается на 60 %. Судя по уменьшению предела прочности при 0 °С на 10 % и предела прочности на растяжение при расколе на 20 %, улучшаются низкотемпературные свойства. Помимо того, улучшается водонасыщение и водостойкость асфальтобетона.

Также установлено [56], что введение 6 % каучуко-полиолефинового модификатора от массы битума в смесь, как показали проведенные исследования на трех типах асфальтобетона А, Б и В, позволяет существенно снизить такие показатели, как водонасыщение и остаточная пористость, увеличить показатель водостойкости, характеризующий коррозионную устойчивость асфальтобетонных смесей. Такое влияние обусловлено высокой адгезией модифицированного вяжущего, созданием им прочных пленок, тяжело отслаиваемых водой. Введение добавки ощутимо сказывается также на всех показателях связанных с вязкостью вяжущего и его когезионной прочностью: на 40...50 % увеличивается прочность на сжатие при 50 °С и сцепление при сдвиге при одновременном уменьшении на 5...10 % прочности на сжатие при 0 °С, что говорит о его более высокой термостабильности.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

2 Объекты и методы исследований

2.1 Характеристика исходных материалов

В качестве основного объекта научного исследования является битум БНД 60/90 «Московского НПЗ». Этот компонент является основополагающим вяжущим используемым при приготовлении асфальтобетонной смеси.

В таблице 2.1 представлены физико-механические характеристики используемого битума, а также требования ГОСТ 22245-90 [6] для данного битума.

Таблица 2.1 – Физико-механические характеристики исходного битума БНД 60/90 и требования ГОСТ 22245-90 [6] к нему

Наименование показателей	Требования ГОСТ 22245-90 к БНД 60/90	Фактические значения
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при: 25 °С	61-90	61
0 °С, не менее	20	28
Температура размягчения по «КиШ», °С, не менее	47	49
Растяжимость, см, при: 25 °С, не менее	55	65
0 °С, не менее	3,5	3,8
Температура хрупкости, °С, не выше	-15	-11

Из представленных в таблице 2.1 данных видно, что показатели пенетрации исходного битума находятся на нижнем пределе которые нормирует [6], также у данного вяжущего низкая растяжимость и высокая температура хрупкости, это все говорит о том, что битум является довольно вязким. А так как введение в битум полимера приведет к дополнительному снижению вязкости, то следует применить для повышения данного свойства путем введения дополнительного пластифицирующего вещества.

Применяемые в ходе исследования модификаторы можно разделить на две группы: первая – пластификаторы – стеариновая кислота Т-18, промышленное масло И-20, масло Т; вторая – полимеры – полимер термоэластопласт типа ДСТ-30-01 и эпоксидная смола ЭД-20. Физико-механические характеристики данных материалов представлены в таблицах 2.2 – 2.5.

Таблица 2.2 – Физико-механические характеристики промышленного масла И-20 согласно ГОСТ 20799-88 [57]

Наименование показателей	Требования ГОСТ 20799-88 к И-20	И-20
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	890	863
Вязкость кинематическая, при 40 °С, мм ² /с	29-35 (25-35)	33
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,03	0,02
Температура, °С: вспышки в открытом тигле, не ниже	200 (180)	256
застывания, не выше	-15	-18
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0 (3,0)	1,0
Стабильность против окисления: приращение кислотного числа, мг КОН/г, не более	0,3	0,23
приращение смол, %, не более	2,0 (3,0)	1,3

Таблица 2.3 – Физико-механические характеристики стеариновой кислоты Т-18 согласно ГОСТ 6484-96 [58]

Наименование показателей	Требования ГОСТ 6484-96 к Т-18	Т-18
1	2	3
Цвет	Белый	Белый
Прозрачность при температуре 70	Прозрачная	Прозрачная
Йодное число, J2/100г, не более	18,0	17,0

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3
Массовая доля номыляемых веществ, %, не более	0,5	0,3
Температура застывания, °С, не ниже	58,0	61,0
Кислотное число, мг КОН/г	192-210	203
Число омыления, мг КОН/г	194-213	208

Таблица 2.4 – Физико-механические характеристики масла Т

Качественные показатели	Масло Т
Внешний вид	Маслянистая жидкость, прозрачная при 80 градусах °С
Цвет по йодной шкале, не более	80
Кислотное число, мг КОН на 1 г продукта, не менее	170
Число омыления, мг КОН на 1 г продукта, не менее	175
Массовая доля смоляных кислот, %, не более	30
Массовая доля неомыляемых веществ, %, не более	6
Массовая доля воды, %, не более	Следы

Таблица 2.5 – Физико-механические характеристики ДСТ-30-01

Наименование показателя	ДСТ-30-01
Условная прочность при растяжении, МПа (кгс/см ²), %, не менее	19,6 (200)
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	650
Относительная остаточная деформация после разрыва, %, не более	25
Эластичность по отскоку, %, не менее	50
Массовая доля золы, %, не более	2,0
Потери массы при сушке, %, не более	0,5
Массовая доля антиоксиданта, %, не более: - Агидола-1	0,43
Твердость по Шору «А», усл. единицы, не менее	-
Характеристическая вязкость раствора каучука, дл/г	1,0 - 1,4
Кажущаяся вязкость по Брукфильду 25%-ного раствора в толуоле при (25±0,1)°С, Па*с	-
Массовая доля незаполимеризованного стирола, %, не более	0,02

Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата
-----	------	------	--------	---------	------

ВКР-16.08.03.01(09).887

Лист

Таблица 2.6 – Физико-механические характеристики эпоксидной смолы ЭД-20 согласно ГОСТ 10587-84 [59]

Наименование показателя	Требования ГОСТ 10587-84 к ЭД-20	ЭД-20
Внешний вид	Вязкая прозрачная, без видимых механических включений и следов воды, жидкость	Вязкая прозрачная, без видимых механических включений и следов воды, жидкость
Цвет по железокобальтовой шкале, не более	3	2
Массовая доля эпоксидных групп, %	20,0-22,5	21
Массовая доля хлорид-иона (Cl-), %, не более	0,001	0,001
Массовая доля омыляемого хлора, %, не более	0,8	0,6
Массовая доля гидроксильных групп, %, не более	1,7	1,5
Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,2	0,16
Динамическая вязкость, Паг с, при: (25 ± 0.1) оС (50 ± 0.1) оС	13-20 -	18 -
Время желатинизации, ч, не менее	8,0	9,0

На основе вышеуказанных модификаторов будет разрабатываться комплексное композиционное вяжущее, которое будет направлено на повышение физико-механических характеристик асфальтобетонной смеси. Из этого следует то, что в приготовлении асфальтобетонных смесей также участвуют три основополагающих компонента – щебень гранитный, отсев дробления гранитного щебня, минеральный порошок.

Для проведения данных исследований использовались следующие материалы:

- отсев дробления гранита Павловского карьера;
- минеральный порошок для асфальтобетонных и органико - минеральных смесей ООО «Доломит»;
- щебень гранитный фракции 5 - 10 мм ЗАО “Кировоградгранит”;
- щебень гранитный фракции 10 - 15 мм ЗАО “Кировоградгранит” .

Граниты представляют собой полнокристаллические полевошпатные глубинные (интрузивные) породы равномерно зернистые, иногда порфировидные. В наиболее кислых разновидностях встречаются гранулитовая и пегматитовая структуры. Текстура обычно однородная (массивная). Микроскопический облик гранитов определяется вполне отчетливой кристалличностью, изменяющейся от мелко - до крупнозернистой. По характеру окраски изменяются от светло-серых до серовато-белых или красных различных оттенков. Граниты обладают высокими физико-механическими характеристиками: малым водонасыщением, большой прочностью и устойчивостью против выветривания.

В работе в качестве песчаной составляющей для приготовления щебеночно-мастичного асфальтобетона типа ЦМА-15 использовали отсев дробления гранита Павловского карьера, физико-механические характеристики которого приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Физико-механические характеристики песка из отсева дробления гранита

Наименование показателей	Фактические значения
Модуль крупности	2,9
Группа песка из отсева дробления	Крупный
Насыпная плотность, кг/м ³	1340
Средняя плотность, кг/м ³	2600
Содержание глины в комках, %	0,2
Марка по дробимости	1400
Содержание пылевидных и глинистых частиц, определяемое методом набухания, % по массе	0,48

В качестве традиционного минерального порошка использовался минеральный порошок для асфальтобетонных и органико - минеральных смесей ООО «Доломит» удовлетворяющий требованиям ГОСТ Р 52129-2003 [24].

Результаты лабораторных испытаний минерального порошка приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Физико-механические характеристики применяемого известнякового минерального порошка

Показатели	Требования ГОСТ 16557-2005	Фактические значения
Вид порошка	Не активированный МП-1	
Зерновой состав, % по массе: мельче 1,25 мм » 0,315 » » 0,071 »	не менее 100 не менее 90 от 70 до 80	100 96,4 72,8
Пористость, %, не более	35	32
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, %, не более	2,5	2,4
Влажность, % по массе, не более	1,0	0,38

Гранит, как горная порода, обладает весьма совершенной геологической структурой, определяющей его высокую прочность относительно других горных пород. Используемый в работе гранит полностью удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267-93 [60]. Анализ результатов физико-механических испытаний Гранитного щебня приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Физико-механические свойства щебня из гранита фр. 5-10 мм. ЗАО “Кировоградгранит”

Свойства	Показатели ГОСТ 8267-93	Фактические показатели
1	2	3
Полные остатки на сите по массе, % d 0,5(d+D) D 1,25D	90-100 30-80 До 10 До 0,5	99,25 63,8 7,95 0

Продолжение таблицы 2.9

1	2	3
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	До 1,0	0,8
Содержание зерен лещадной формы, %	До 35	29
Содержание зерен слабых пород, %	До 5,0	0
Объемный насыпной вес, кг/м ³	Не нормируется	1,3
Марка по дробимости	1000-1400	1200
Морозостойкость	F100-F300	300

2.2 Методы исследований

2.2.1 Определение характеристик сырьевых материалов

Отсев дробления гранита испытывали согласно ГОСТ 31424–2010 [60] минеральные порошки по ГОСТ Р 52129-2003 [24].

Битум испытывали в соответствии с требованиями ГОСТ 22245–90 [6] и ГОСТ 52056-2003 [62].

В соответствии с [6, 62] были приготовлены и испытаны битумные композиции по следующим показателям:

- глубина проникания иглы при +25 и 0 °С. Сущность метода заключается в том, на сколько единиц (0,1 мм) опустится игла с грузом в органическое вяжущее находящееся в бюксе, выдержанном час в воде с необходимой температурой;

- температура размягчения °С. Сущность испытания заключается в определении температуры, при которой битум переходит из твердого вязко-пластичное состояние;

- растяжимость при +25 и 0 °С, см. Сущность метода в растягивании форм-восьмерок с органическим вяжущим до момента разрыва нити битума. Величина при которой нить битума порвалась и является показателем растяжимости.

- температура хрупкости °С. Сущность метода в следующем: образец - пластинку с равномерно нанесенным на нее 0,4 г вяжущего подвергают кратковременным нагрузкам при понижении окружающей температуры. Температура при

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

которой слой битума на пластинке треснул и является показателем температуры хрупкости;

- эластичность при +25 и 0 °С, %. Характерный показатель для полимерно-битумных вяжущих. Эластичностью является процентное значение восстановления «хвостов» от форм-восьмерок оставшихся в результате испытания органического вяжущего на растяжимость.

Исследование эластичности проводилось также согласно методике, изложенной в ОДМ 218.2.002-2007 [61] разработанным ОАО «Союздорнии» по заказу Росавтодора. Этот ОДМ можно применять как при контроле полимерасфальтобетонных смесей, так и при подборе полимерно-битумных вяжущих. Данная методика предполагает определять эластичность асфальтовяжущего в увеличенном содержанием битума в смеси.

Метод заключается в следующем:

- минеральный порошок фракции менее 0,071 мм разогревается до 150 °С;
- приготавливается смесь ПБВ и перемешивается с минеральным порошком, с содержанием вяжущего установленного в рецепте на приготовление асфальтобетонной смеси, но с увеличенной его долей в 5 раз;
- приготовленную смесь минерального порошка и вяжущего заливают в стандартную металлическую цилиндрическую форму внутренним диаметром 25 мм и высотой 70 мм со вставленным в нее цилиндрическим вкладышем высотой 35 мм;
- смесь остывает в течение 30 мин, срезаются излишки и извлекается образец высотой 35 мм;
- полученные образцы выдерживают на воздухе 1 ч, затем 1 ч в воде при температуре +25 °С, затем измеряют его высоту;
- после образец сжимается на 10 мм, измеряется его высота, и помещается в емкость с водой, где он восстанавливается в течение 2 ч при температуре +50 °С. При этом высоту образца замеряют через каждые 15 мин в течение первого часа, а затем через каждые 30 мин в течение второго часа термостатирования. Образец восстанавливается в воде в горизонтальном положении.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Показатель эластичности Э определяют по следующей формуле:

$$\text{Э} = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_2} * 100\% \quad (2.1)$$

где h_1 - первоначальная высота образца, см;

h_2 - высота образца после сжатия, см;

h_3 - высота образца после восстановления через определенное время, см.

2.2.2 Определение физико-механических характеристик асфальтобетона

Методика лабораторных исследований предусматривает проведение ряда испытаний в соответствии с ГОСТ 12801-98 [63] с последующим сопоставлением полученных результатов с нормативными требованиями.

В соответствии с [63] были проведены испытания образцов асфальтобетона по следующим показателям:

- определение средней плотности уплотненного материала;
- определение пористости минеральной части;
- определение водонасыщения;
- определение набухания;
- определение пределов прочности при сжатии при различных температурах;
- определение водостойкости;
- определение водостойкости при длительном водонасыщении;
- определение предела прочности на растяжение при расколе при 0 °С;
- определение характеристик сдвигоустойчивости.

Также асфальтобетонные смеси были испытаны на образование колеи на испытательном оборудовании фирмы InfraTest. Для этого приготовленную смесь массой 8 кг загружают в квадратную форму компактора, после чего смесь уплотняется до 4 см толщины, в итоге размеры образца составляют 260х320х40. После образцы, выдержанные сутки после формовки, помещают в испытательную маши-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

ну, где они термостатируются 4 часа при температуре 60 °С. Испытательное оборудование фиксирует начальное положение опорного колеса, движущееся по поверхности асфальтобетонного образца имитируя движение колеса автомобиля по асфальтобетонному покрытию дороги, и высчитывает образование колеи за определенное количество проходов колеса. Конечными данными является зависимость увеличения колеи на образце относительно числа проходов.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

3 Исследование влияния модификаторов на свойства битума

В последнее время ситуация на дорогах претерпела существенные изменения. Резко увеличился транспортный поток, возросли осевые и скоростные нагрузки на дорожное полотно. Дороги, спроектированные и построенные задолго до начала этих изменений, под действием новых эксплуатационных факторов стали разрушаться заметно быстрее. Ускорились трещинообразование и снизилась сдвигоустойчивость покрытий, появилась «волна» в зонах торможения и разгона, а также на подъемах и спусках, вошло в обиход и новое понятие «колееобразование», применимое ранее разве только для дорог, характерных для сельской местности – без асфальтобетонных покрытий [64].

Традиционный битум в составе асфальтобетонной смеси не справляется с возросшими нагрузками на асфальтобетонное покрытие, поэтому появилась необходимость повышать его качества различными модифицирующими добавками.

В западных странах, несмотря на высокую стоимость полимеров, уже давно считается экономически оправданным их применение в дорожном строительстве. Многочисленные рецептуры улучшения свойств битумов полимерами могут служить основой для вывода – качество битума с полимерной добавкой всегда выше [32].

Традиционно в качестве данного вида модификаторов используются каучук (как природный, так и все виды синтетических каучуков, резиновая крошка), полиолефины (полиэтилен, полипропилен, их сополимеры и стереоизомеры), полиароматические полимеры (полистиролы, поливинилацетаты, поливинилхлориды). Так, за рубежом для модифицирования дорожных битумов используют аморфные полиолефины типа VESTOPLAST (Германия). Достаточно широко применяют те типы полимеров, которые не являются дефицитными, и для которых еще недавно было уместно название – «отходы производства» [33]. Поэтому наиболее широкое распространение в качестве полимера получили дивинилстирол и различные побочные продукты полимерных производств, окисленные варианты полиенов.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

На основании вышеизложенного, проведенные нами исследования были направлены на изучение физико-механических свойств битума, модифицированного различными полимерами и пластификаторами.

3.1 Влияние различных пластификаторов на свойства битума

Битум в составе асфальтобетонной смеси является вяжущим веществом. В ходе взаимодействия битума с поверхностью минеральных частиц образуются тонкие пленки связующего, покрывающие минеральные частицы адсорбционными слоями [1].

Физико-механические характеристики, используемого в ходе научного исследования, битума марки БНД 60/90 «Московского НПЗ» представлены в таблице 2.1 раздела 2.1, из которых видно, что показатели пенетрации при +25 и 0 °С исходного битума находятся на нижнем пределе, которые нормирует ГОСТ 22245-90 [6]. Более того, исходный битум характеризуется высокой вязкостью, температурой хрупкости и будет способствовать трещинообразованию асфальтобетонного покрытия на его основе.

Традиционно, для повышения деформативных характеристик битума, приготавливают на его основе полимер-битумное вяжущее, в состав которого входят полимер и пластификатор. Введение пластифицирующих веществ в исходный битум объясняется необходимостью снизить вязкость исходного битума, а введение в битум полимеризирующих веществ, приведет к увеличению интервала пластичности органического вяжущего.

При проведении исследования в качестве пластификаторов использовали индустриальное масло И-20, стеариновую кислоту Т-18, и масло Т, физико-механические характеристики которых представлены в таблицах 2.2 – 2.4 раздела 2.1.

Составы композиций комплексных вяжущих представлены в таблице 3.1. В связи с тем, что разрабатываемые составы комплексного полимер-битумного вя-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

жущего будут проходить государственную регистрацию, как объект интеллектуальной собственности, то содержание и название некоторых компонентов не разглашается.

Изменение физико-механических характеристик исходного битума БНД 60/90 с использованием пластификаторов представлено в таблице 3.2 и на рисунках 3.1-3.5.

Таблица 3.1 - Составы композиционных вяжущих

№ композиционного вяжущего	Состав компонентов
1	1. Битум БНД 60/90 = 92% 2. Индустриального масла И-20 = 8%
2	1. Битум БНД 60/90 = 92% 2. Масло Т = 8%
3	1. Битум БНД 60/90 = 97% 2. Индустриального масла И-20 = 3%
4	1. Битум БНД 60/90 = 97% 2. Масло Т = 3%
5	1. Битум БНД 60/90 = 97 % 2. Стеариновая кислота Т-18 = 3 %

Таблица 3.2 – Результаты испытаний композиционных вяжущих различных составов

Наименование показателя	Значение для состава					
	БНД 60/90	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при: 25 °С	61	205	178	77	84	112
0 °С	28	79	68	33	44	30
Температура размягчения по «КиШ», °С	49	40	40	46	46	45

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7
Растяжимость, см, при: 25 °С	65	78	80	100	86	70
0 °С	3,8	5	5	5	14,7	9,6
Температура хрупкости, °С	-11	-23	-20	-16	-17	-16

При испытании композиционных вяжущих № 1 – 5 было выявлено, что такой показатель как эластичность отсутствует.

Из представленных данных в таблице 3.2 и на рисунках 3.1-3.5 видно, что введение пластификатора в битум существенно отражается на его вязкости. Так при введении 8 % индустриального масла И-20 пенетрация композиции №1 по сравнению с исходным битумом БНД 60/90 при +25 °С увеличилась в 3,5 раза данное значение составило 205 единиц, при 0 °С – в 3 раза – 79 единиц. Температура размягчения уменьшилась на 18 %. Также наблюдается рост растяжимости как при +25 °С – на 20 %, так и при 0 °С – на 32 %. В 2 раза снизилась и температура хрупкости – до -23 °С.

В композиции № 2 в качестве пластификатора использовалось масло Т. Его введение в количестве 8 % в исходный битум также существенно снизило вязкость вяжущего. Так согласно результатам испытаний, пенетрация композиции №2 по сравнению с исходным битумом БНД 60/90, при +25 °С увеличилась в 3 раза, при 0 °С – в 2,5 значения которых составили 178 и 68 единиц соответственно. Температура размягчения уменьшилась на 18 %. Также наблюдается рост растяжимости как при +25 °С – на 23 %, так и при 0 °С – на 32 %. Температура хрупкости снизилась на 82 %.

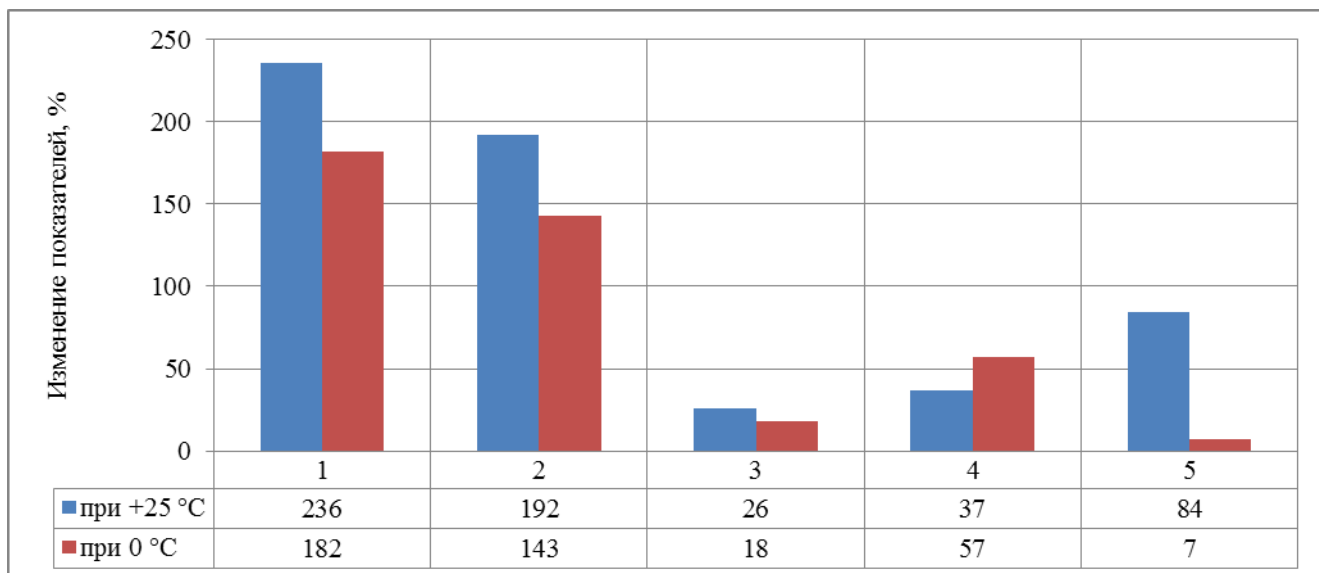


Рисунок 3.1 – Изменение глубины проникания иглы композиционных вяжущих различных составов

При исследовании композиции с меньшим содержанием пластификатора, было выявлено, что при введении 3% индустриального масла (композиция № 3) также снижает вязкость битума. Из полученных данных видно, что глубина проникания иглы, по сравнению с исходным битумом БНД 60/90, при +25 °С возросла на 26 %, а при 0 °С – на 18 %. Температура размягчения снизилась на 6 %, а прирост растяжимости при +25 °С составил 54 %, а при 0 °С – 32 % . Температура хрупкости у композиции №3 уменьшилась на 45 % до -16 °С.

Испытания композиции № 4 с содержанием масла Т в количестве 3 % показали, что по сравнению с исходным битумом, вязкость данной композиции при +25 °С увеличилась на 37 %, а при 0 °С – на 57 %. Наблюдается снижение температуры размягчения данной композиции на 6 %. Растяжимость выросла при +25 и 0 °С на 32% и в 3,9 раза соответственно (данные показатели составили 86 и 14,7 см). Температура хрупкости снизилась на 55 % до -17 °С.

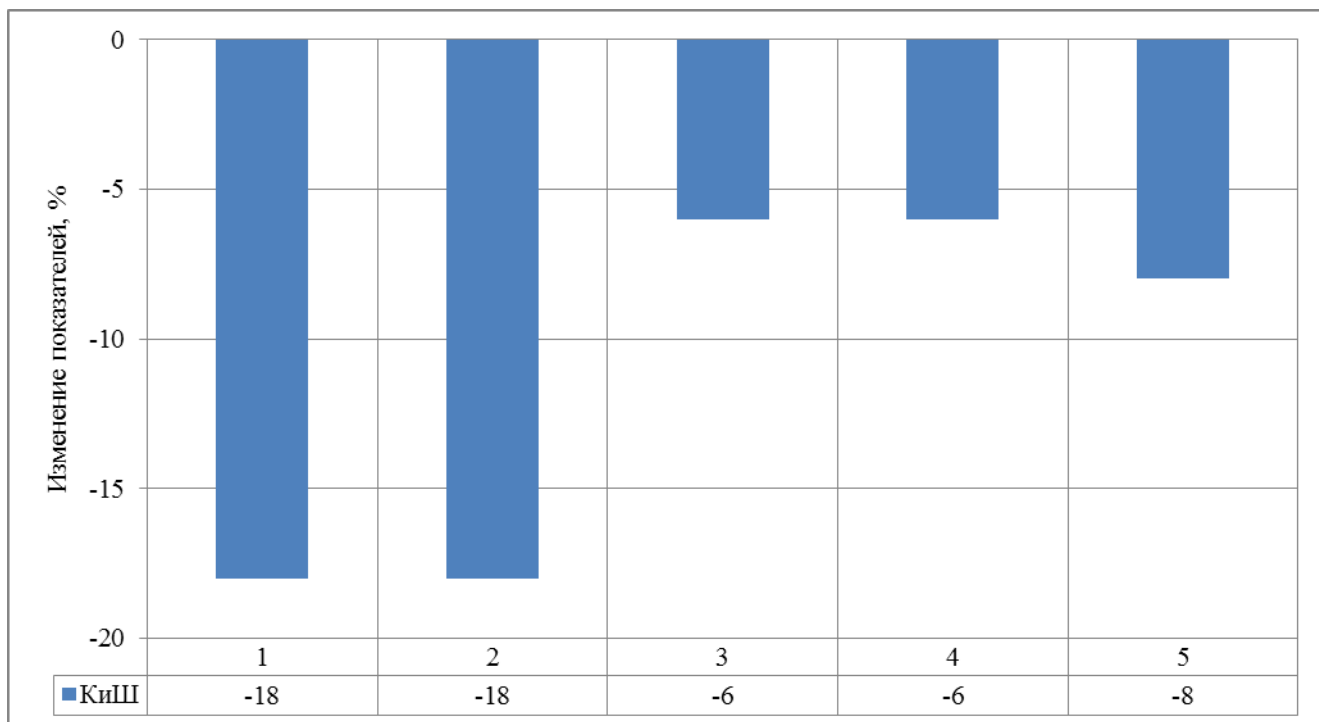


Рисунок 3.2 – Изменение температуры размягчения по «КиШ» композиционных вяжущих различных составов

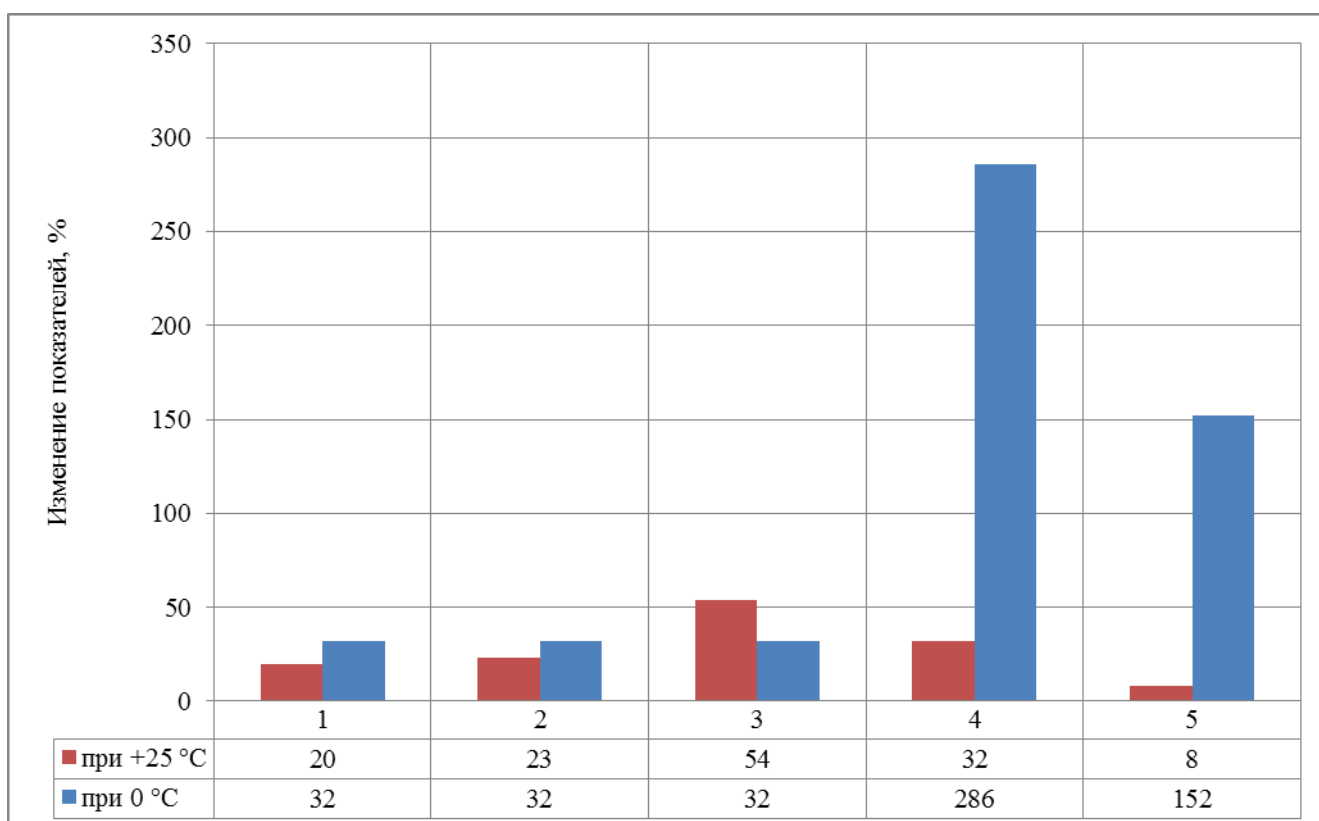


Рисунок 3.3 – Изменение растяжимости композиционных вяжущих различных составов

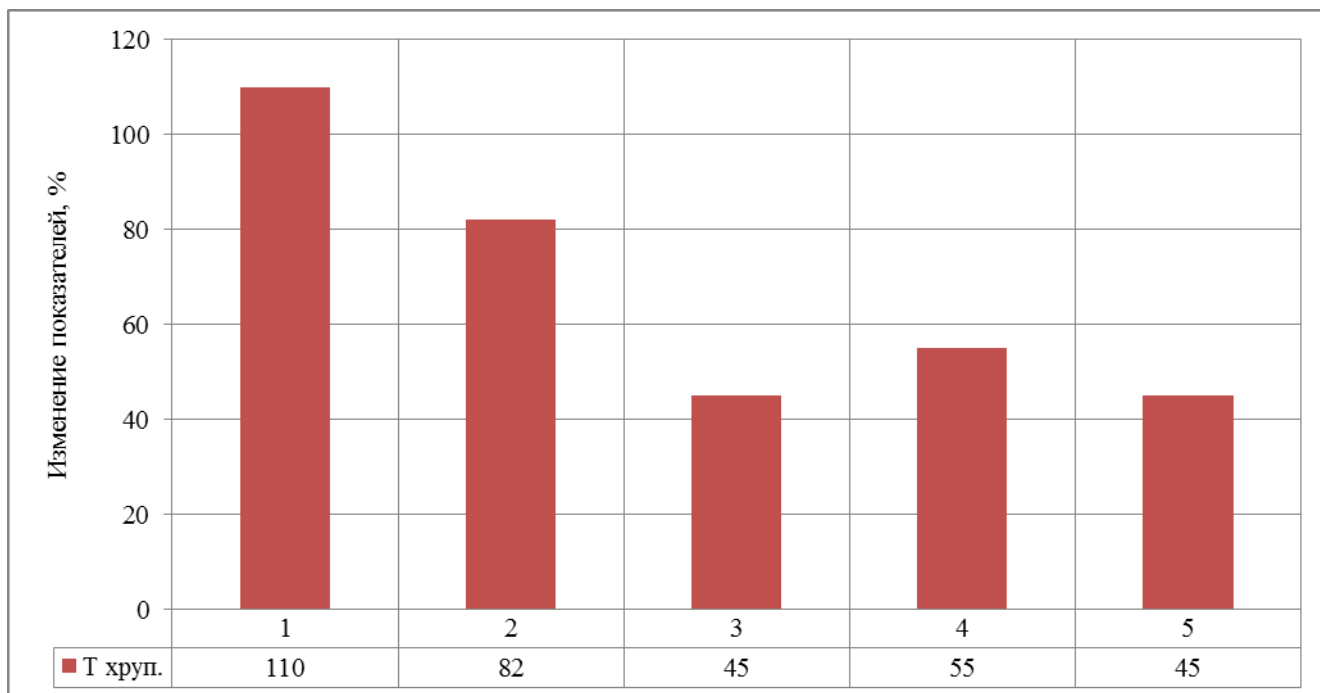


Рисунок 3.4 – Изменение температуры хрупкости композиционных вяжущих различных составов

При приготовлении композиции № 5 в качестве пластификатора использовалась стеариновая кислота Т-18. Так из результатов испытаний видно, что данный пластификатор также как и предыдущие снижает вязкость битума. Пенетрация, по сравнению с исходным битумом, при +25 °С выросла на 84 %, а при 0 °С практически не изменилась. Температура размягчения упала, а растяжимость при +25 °С увеличилась на 8 %, а при 0 °С – в 2,5 раза. Температура хрупкости снизилась на 45 %. Исходя из этого видно, что стеариновая кислота придает битуму пластичность при положительных температурах, а при отрицательных – наоборот, увеличивает его хрупкость.

Таким образом, при введении используемых пластификаторов в состав исходного битума можно сделать следующие выводы:

- введение пластификатора в битум не придает вяжущему эластичности;
- при увеличении глубины проникания иглы, т.е. снижения вязкости органического вяжущего, происходит одновременное снижение показателей растяжимости и температуры хрупкости;

- наибольшей разжижающей способностью обладает индустриальное масло;
- минимальная температура хрупкости наблюдалась при использовании в качестве пластификатора индустриального масла в количестве 8%, а максимальная температура размягчения и интервал пластичности при введении 3 % масла Т в исходный битум;
- применение стеариновой кислоты в качестве пластификатора является менее целесообразным, т.к. ее введение привело к получению органического вяжущего обладающего минимальной температурой размягчения, растяжимости при +25 °С и максимальной температурой хрупкости.

3.2 Влияние различных полимеров на свойства битума

Для изучения влияния полимера на свойства битума были приготовлены полимер-битумные композиции с использованием в качестве полимера термоэластопласт ДСТ-30-01, а также эпоксидной смолы ЭД-20, физико-механические свойства которых представлены в таблице 2.5 – 2.6 раздела 2.1.

Составы полимер-битумных композиций представлены в таблице 3.3. Результаты испытаний данных композиций представлены в таблице 3.4 и на рисунках 3.6 - 3.10.

Таблица 3.3 - Составы полимер-битумных вяжущих

№ композиционного вяжущего	Состав компонентов
6	1. Битум БНД 60/90 = 96 % 2. ДСТ-30-01 = 4 %
7	1. Битум БНД 60/90 = 98 % 2. ДСТ-30-01 = 2 %
8	1. Битум БНД 60/90 = 96 % 2. Эпоксидная смола ЭД-20 = 4 %
9	1. Битум БНД 60/90 = 98 % 2. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 %

Таблица 3.4 – Результаты испытаний композиционных вяжущих различных составов.

Наименование показателя	Значение для состава				
	БНД 60/90	6	7	8	9
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при: 25 °С	61	40	48	50	71
0 °С	28	20	23	24	27
Температура размягчения по «КиШ», °С	49	62	59	50	45
Растяжимость, см, при: 25 °С	65	16	60	90	96
0 °С	3,8	3,3	3,5	3,9	4,2
Температура хрупкости. °С	-11	-13	-17	-18	-20
Эластичность, %, при: 25 °С	-	28	21	-	-
0 °С	-	-	-	-	-

В состав композиции № 6 входил исходный битум в количестве 96 % полимер ДСТ-30-01. Его количество составило 4 %. Из представленных данных видно, что по сравнению с БНД 60/90, глубина проникания иглы при +25 °С и при °С снизилась на 34 и 29 % соответственно, растяжимость при +25 °С – на 75 % до 16 см, а при 0 °С – на 13 %, температура хрупкости - на 28 % . Температура размягчения выросла на 27 %, а показатель эластичности при +25 °С составил 28 %.

При снижении концентрации ДСТ-30-01 до 2 % (композиция № 7) видно, что по сравнению с исходным битумом, пенетрация при +25 °С и при 0 °С уменьшилась на 21 и 18 % соответственно, растяжимость при +25 и 0 °С –на 8 %, температура хрупкости – на 55 % до -17 °С. Температура размягчения выросла на 20 %. Показатель эластичности при +25 °С составил 21 %.

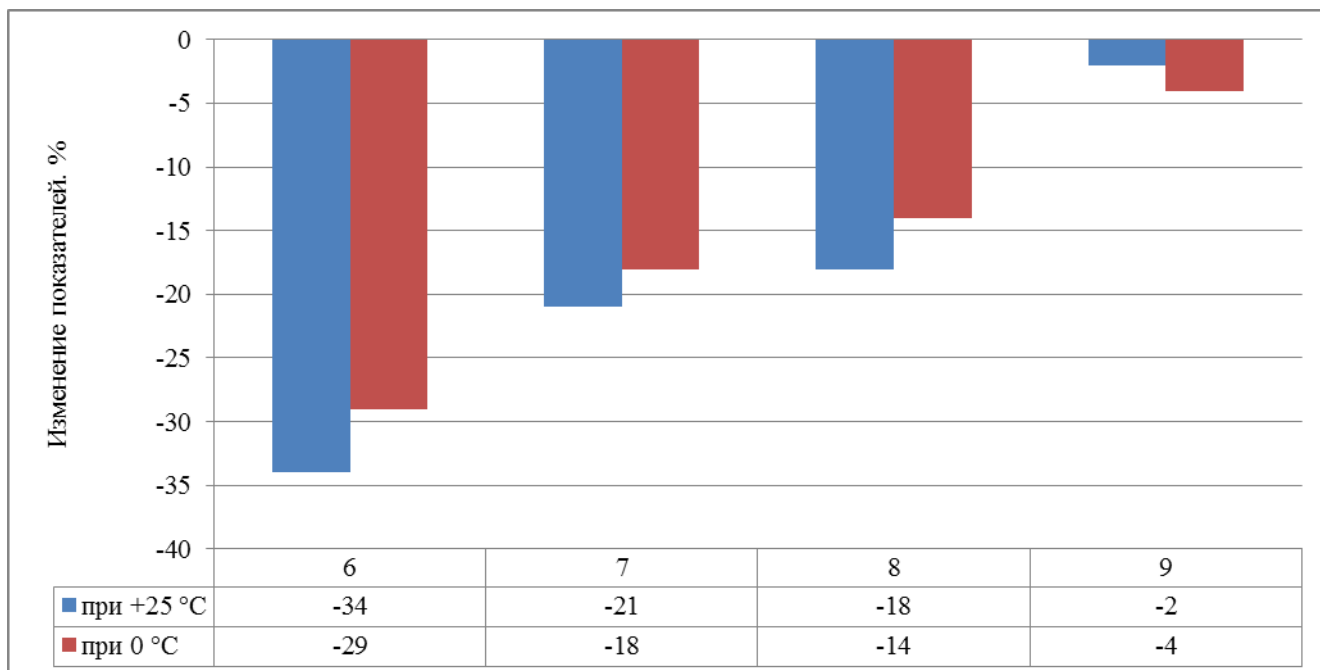


Рисунок 3.5 – Изменение глубины проникания иглы полимер-битумных вяжущих различных составов

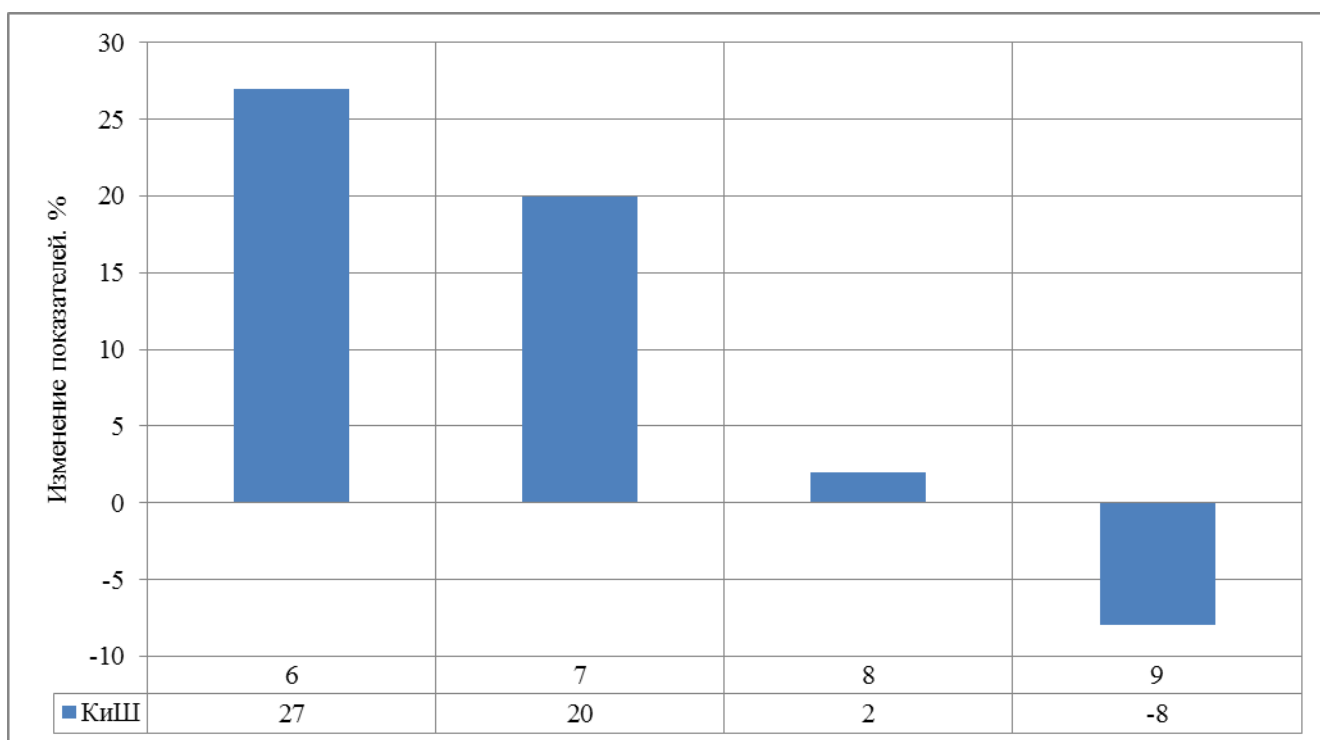


Рисунок 3.6 – Изменение температуры размягчения по «КиШ» полимер-битумных вяжущих различных составов

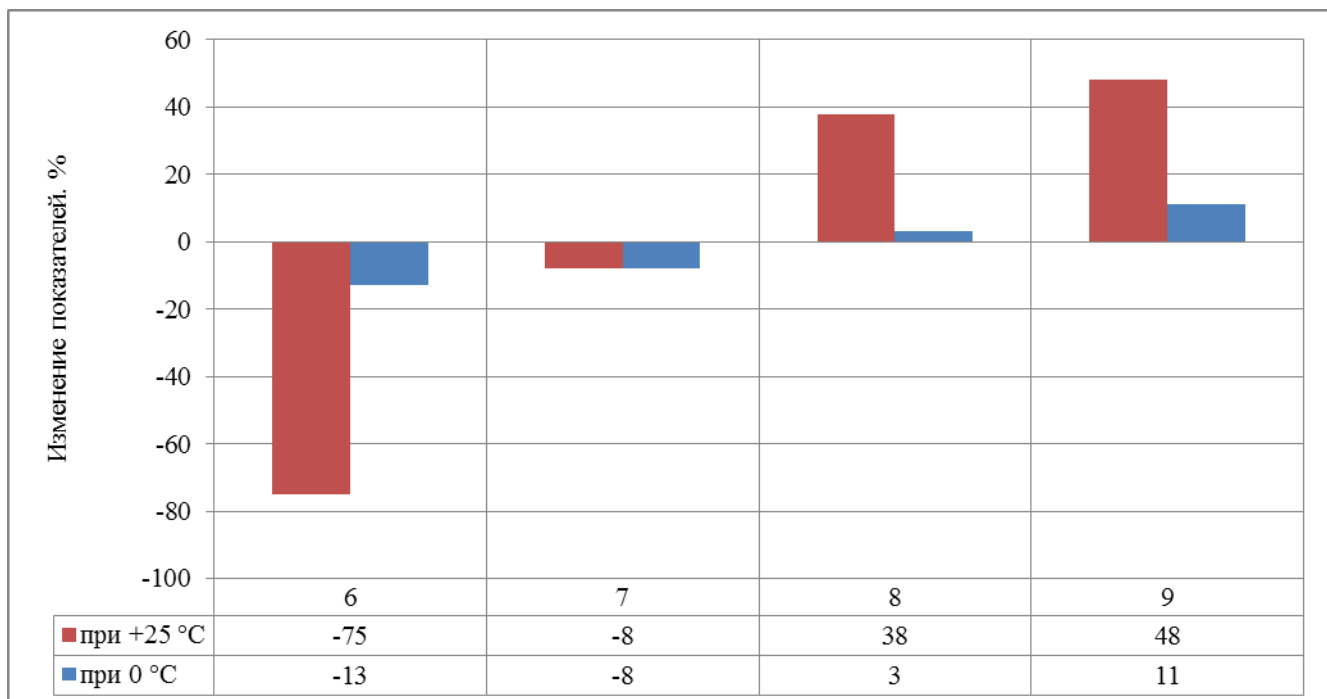


Рисунок 3.7 – Изменение растяжимости полимер-битумных вяжущих различных составов

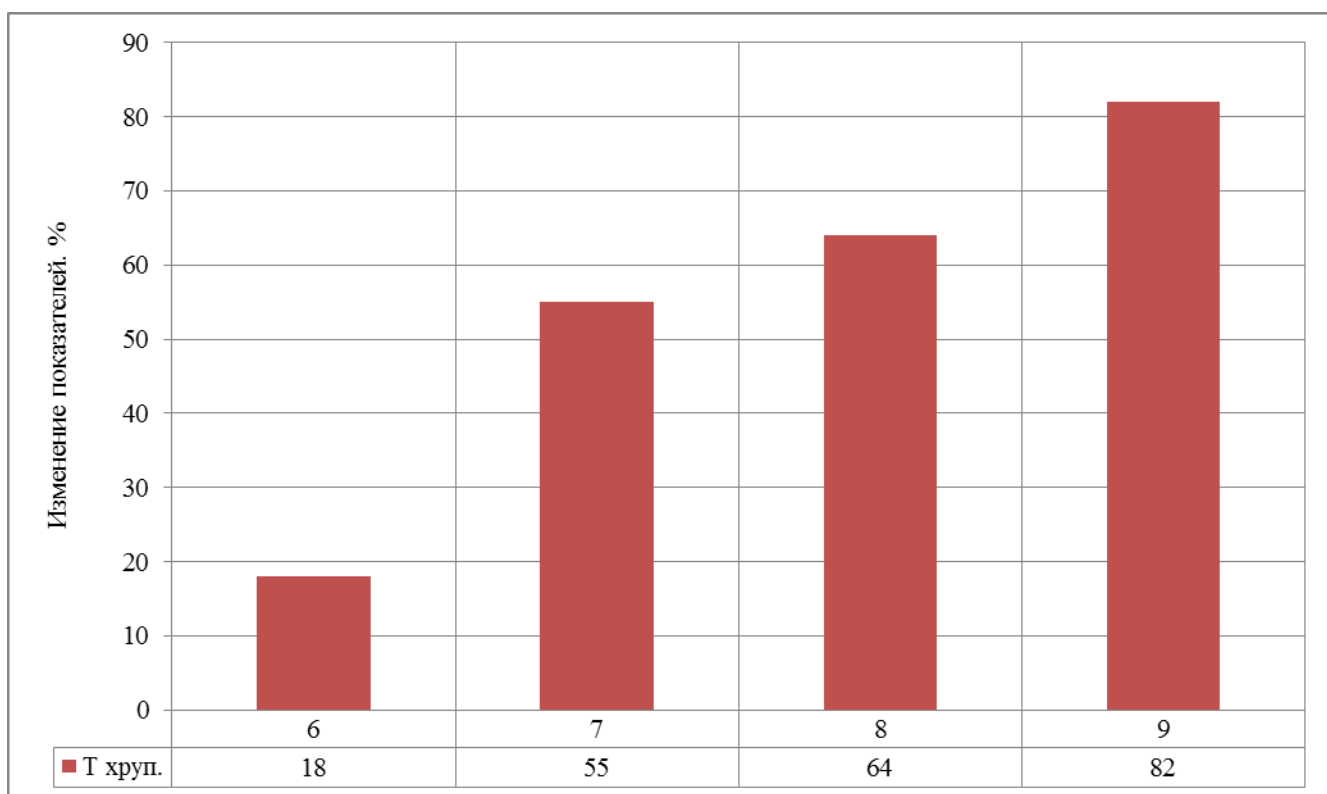


Рисунок 3.8 – Изменение температуры хрупкости полимер-битумных вяжущих различных составов

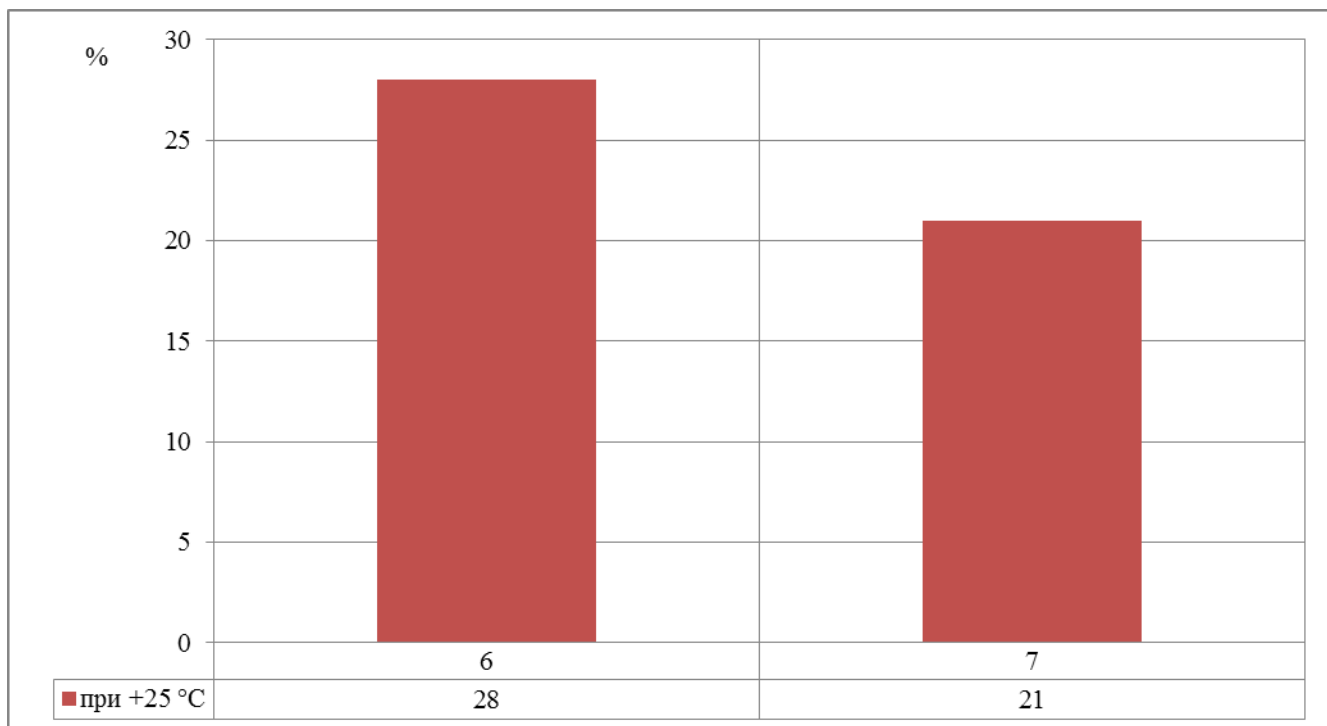


Рисунок 3.9 – Эластичность полимер-битумных вяжущих различных составов

Таким образом, можно сделать выводы о том, что при введении ДСТ в битум повышается его вязкость и эластичность, причем, с увеличением концентрации полимера снижается не только пенетрация, но и температура хрупкости, растяжимость вяжущего и увеличивается температура размягчения.

Также в представленной работе исследовали влияние полимера на основе эпоксидной смолы ЭД-20 на свойства битума. Так, при ее введении в количестве 4 % были получены следующие результаты, в сравнении с исходным битумом:

- глубина проникания иглы при +25 и 0 °С уменьшилась на 18 и 14 % соответственно;
- снизилась температура размягчения на 2 %;
- растяжимость при +25 и 0 °С увеличилась на 38 и 3 % соответственно;
- температура хрупкости данной композиции ниже на 64 %, эластичность у модифицированного вяжущего отсутствовала.

При снижении концентрации эпоксидной смолы до 2 % в составе битума видно, что эпоксидная смола более активно полимеризует исходный битум. Так

при полученных в ходе испытаний композиции № 9 данных видно, что относительно исходного битума БНД 60/90, глубина проникания иглы при +25 и при 0 °С не изменилась. Снизилась температура размягчения на 8 %, температура хрупкости на 82%. Растяжимость при +25 °С выросла на 48 %, при 0 °С – на 11 %. Эластичность отсутствует.

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

- введение различных полимеров в состав исходного битума снижает его вязкость, растяжимость и температуру хрупкости;
- наибольшей разжижающей способностью, а также минимальной температурой хрупкости обладает органическое вяжущее, в состав которого вводили эпоксидную смолу в количестве 2 %;
- максимальной температурой размягчения и интервалом пластичности, а также эластичностью обладает битум, модифицированный ДСТ в количестве 4 %.

3.3 Исследование комплексного влияния полимера и пластификатора на физико-механические свойства органического вяжущего

Для исследования комплексного влияния полимеров и пластификаторов на свойства битума было приготовлено 10 композиций, составы которых представлены в таблице 3.5. Результаты испытаний данных композиций представлены в таблице 3.6 и на рисунках 3.11 – 3.15.

Таблица 3.5 – Составы композиционных вяжущих

№ композиционного вяжущего	Состав компонентов
1	2
10	1. Битум БНД 60/90 = 88 % 2. ДСТ-30-01 = 3,5 % 3. Масло промышленное И-20 = 8,5 %
11	1. Битум БНД 60/90 = 90,3 % 2. ДСТ-30-01 = 3,5 % 3. Масло промышленное И-20 = 6,2 %

Продолжение таблицы 3.5

1	2
12	1. Битум БНД 60/90 = 89,8 % 2. ДСТ-30-01 = 4 % 3. Масло промышленное И-20 = 6,2 %
13	1. Битум БНД 60/90 = 91 % 2. ДСТ-30-01 = 4 % 3. Масло промышленное И-20 = 5 %
14	1. Битум БНД 60/90 = 88 % 2. ДСТ-30-01 = 3,5 % 3. Масло Т = 8,5 %
15	1. Битум БНД 60/90 = 88 % 2. ДСТ-30-01 = 3,5 % 3. Масло промышленное И-20 = 8,5 %
16	1. Битум БНД 60/90 = 88 % 2. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 3. Масло промышленное И-20 = 3 %
17	1. Битум БНД 60/90 = 95 % 2. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 3. Масло Т = 3 %
18	1. Битум БНД 60/90 = 90 % 2. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 3. Масло Т = 8 %
19	1. Битум БНД 60/90 = 93 % 2. ДСТ-30-01 = 4 % 3. Стеариновая кислота Т-18 = 3 %
20	1. Битум БНД 60/90 = 95 % 2. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 3. Стеариновая кислота Т-18 = 3 %

Таблица 3.6 – Результаты испытаний композиционных вяжущих различных составов.

Наименование показателя	Значение для состава											
	БНД 60/90	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при: 25 °С	61	82	70	72	63	116	95	81	78	148	8	82

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0 °С	28	45	35	35	33	59	51	33	36	71	5	45
Температура размягчения по «КиШ», °С	49	48	49	52	56	46	49	51	47	37	88	48
Растяжимость, см, при: 25 °С	65	84	70	71	91	68	84	35	107	69	3	84
0 °С	3,8	11	21,3	6,8	10,8	18	18,1	4,4	5,8	16,8	-	11
Температура хрупкости. °С	-11	-18	-18	-18	-19	-20	-16	-20	-20	-22	-13	-18
Эластичность, %, при: 25 °С	-	31	69	29	69	52	38	33	16	17	-	31
0 °С	-	24	47	18	61	49	32	39	32	33	-	24

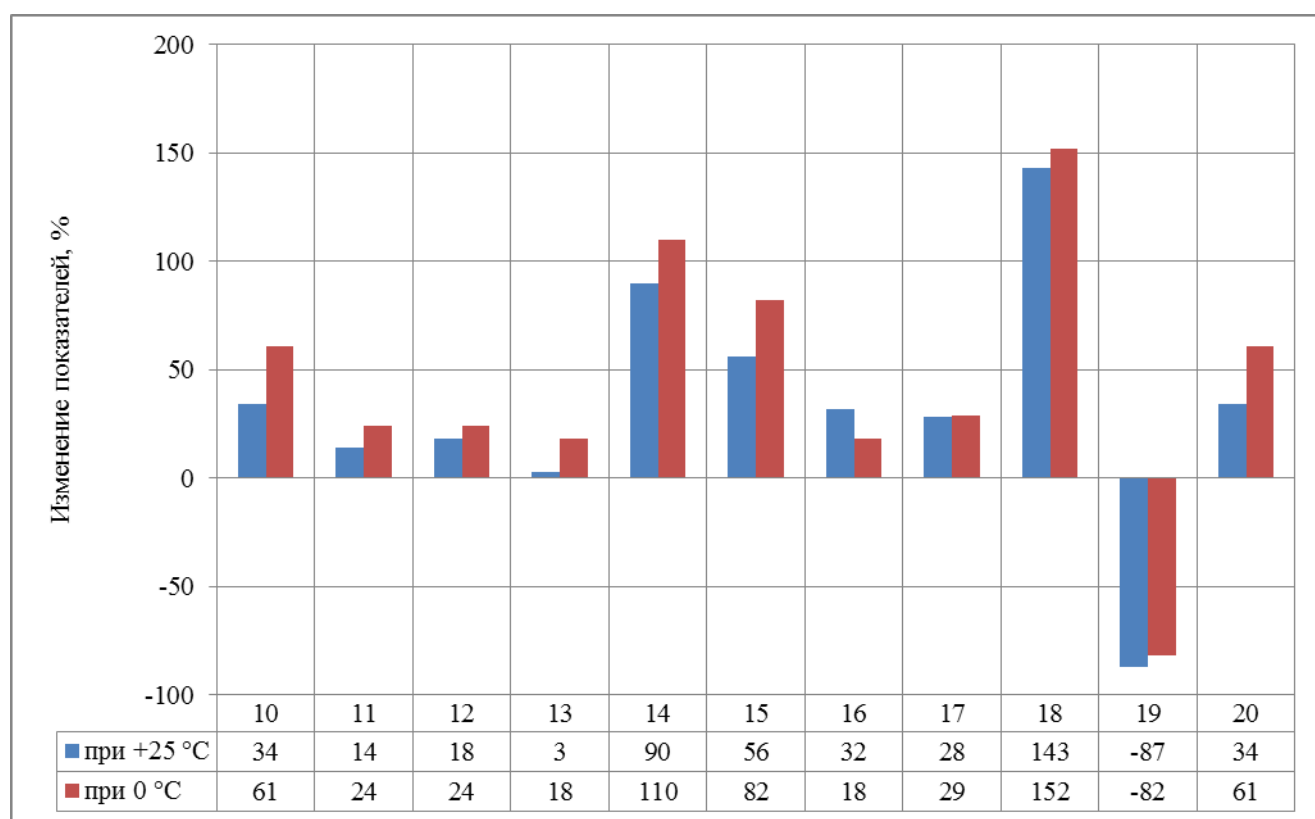


Рисунок 3.10 – Изменение глубины проникания иглы полимер-битумных вяжущих различных составов

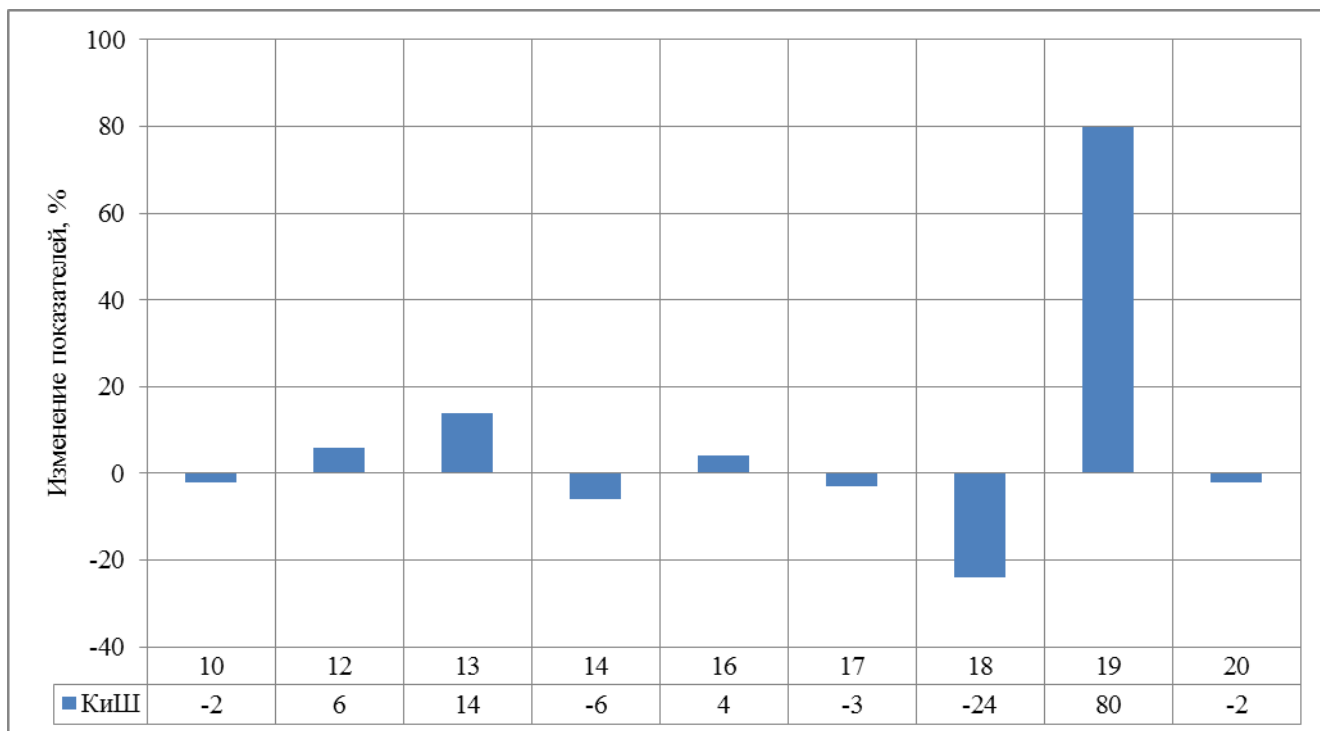


Рисунок 3.11 – Изменение температуры размягчения по «КиШ» полимер-битумных вяжущих различных составов

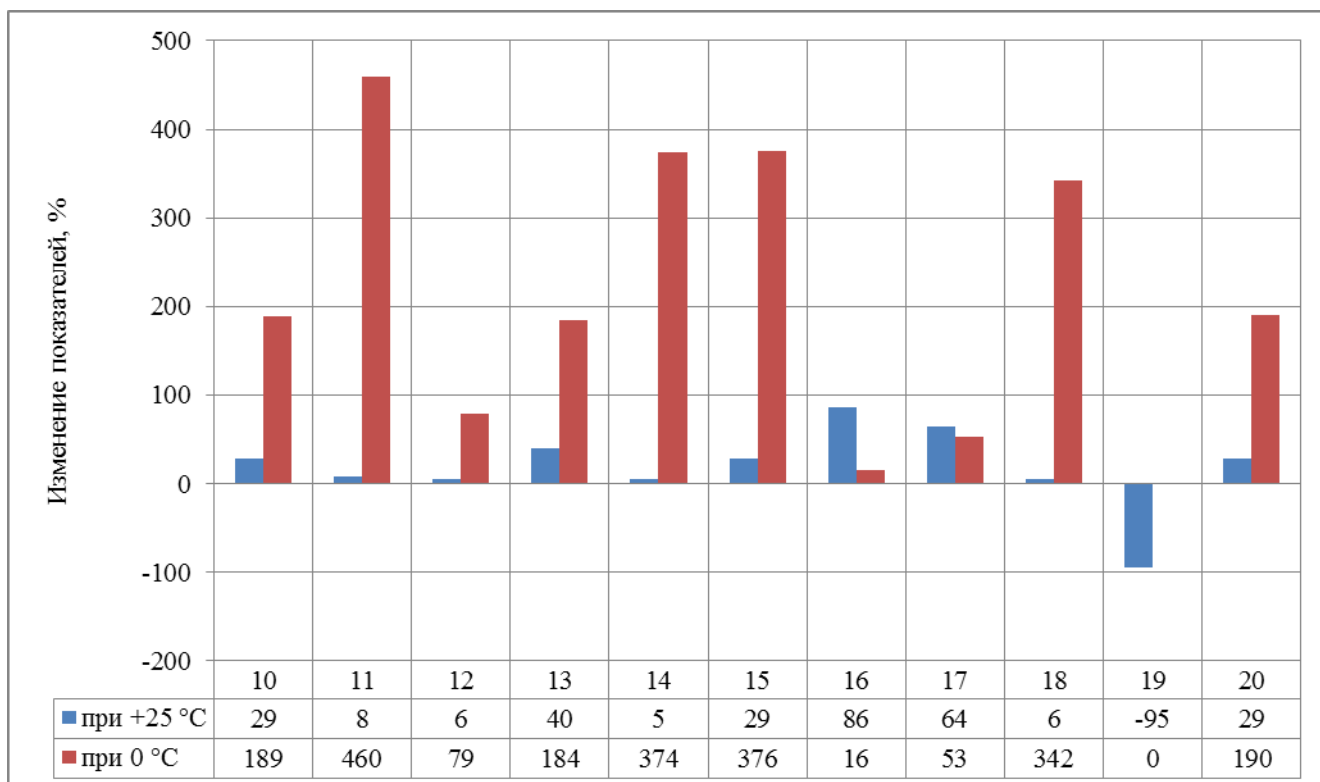


Рисунок 3.12 – Изменение растяжимости полимер-битумных вяжущих различных составов

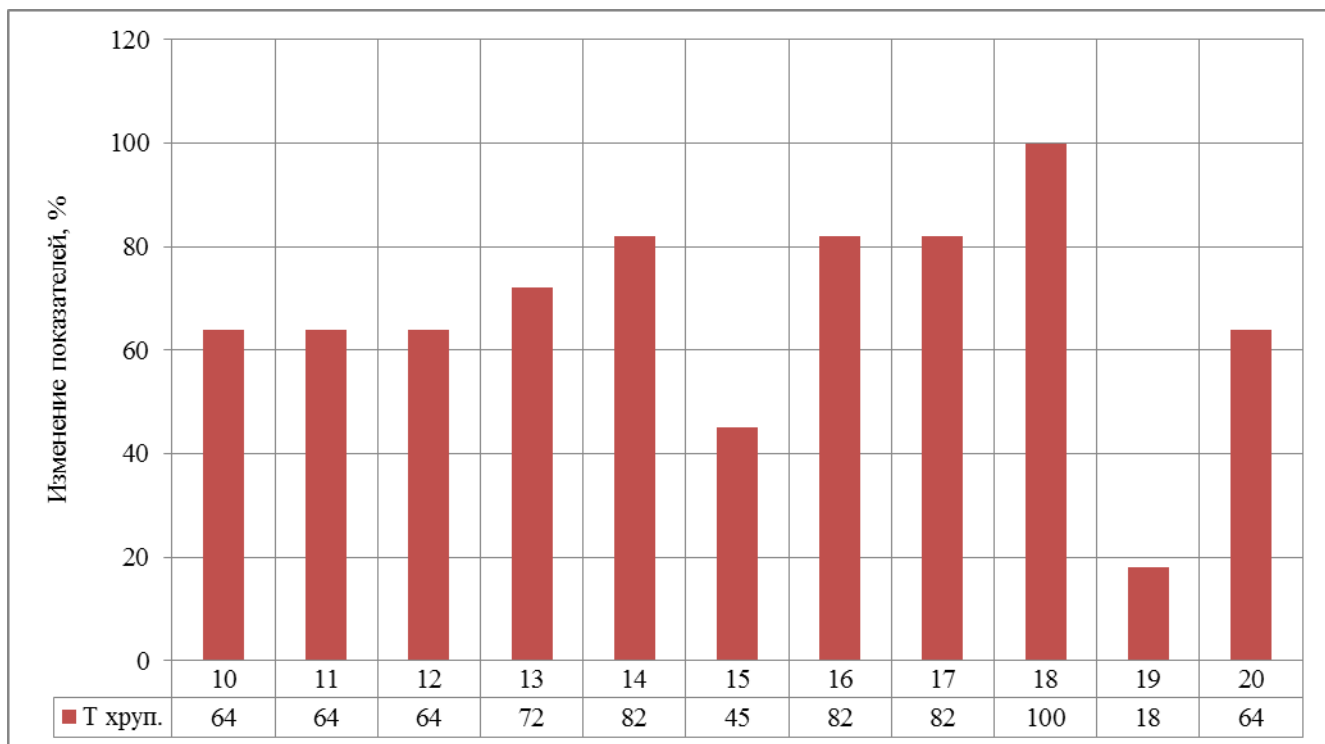


Рисунок 3.13 – Изменение температуры хрупкости полимер-битумных вяжущих различных составов

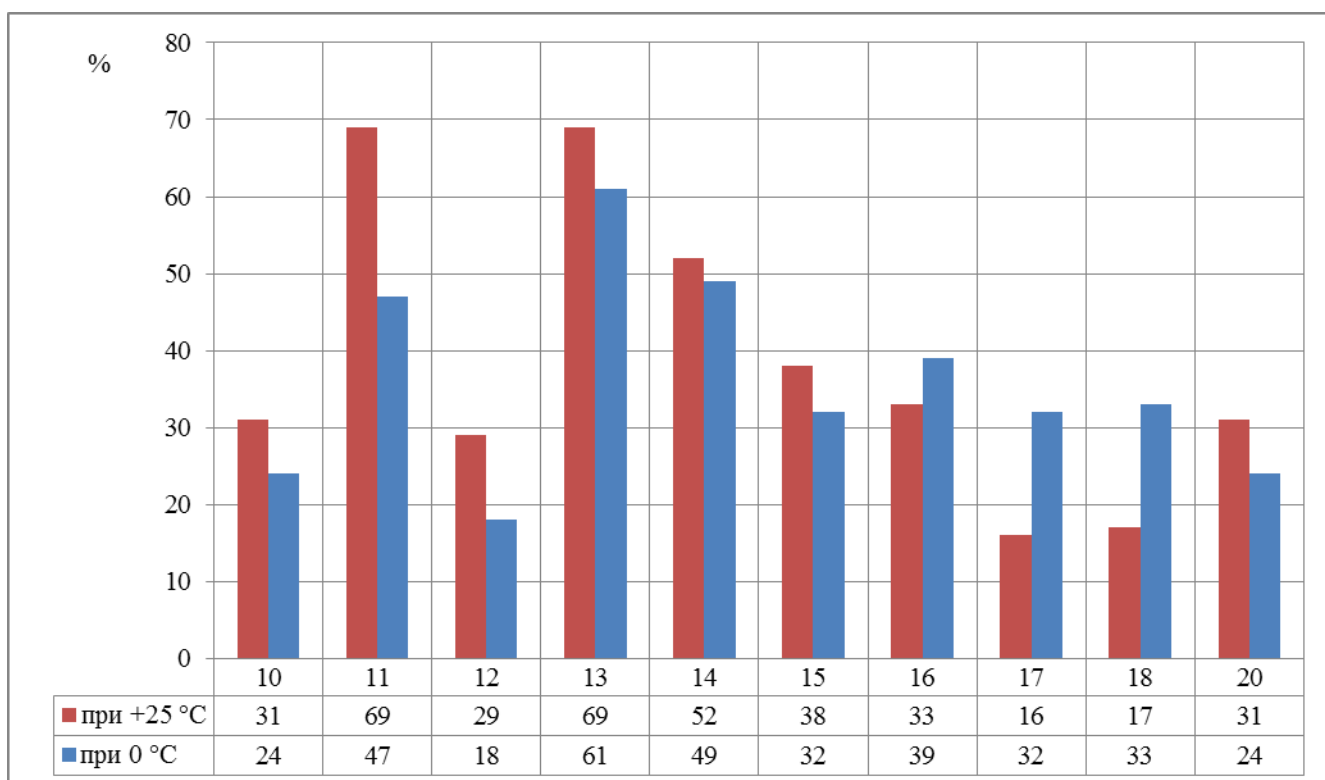


Рисунок 3.14 – Эластичность полимер-битумных вяжущих различных составов

Из представленных при испытании композиции № 10, имеющей в своем составе 8,5 % масла и 3,5 % полимера, данных видно, что по сравнению с исходным битумом БНД 60/90, глубина проникания иглы при +25 °С и при 0 °С увеличилась на 34 и 61 % соответственно. Температура размягчения снизилась на 2 %, также возросла растяжимость при +25 °С и при 0 °С на 29 % и в 3 раза соответственно (данный показатель составил 84 и 11 см). Температура хрупкости понизилась на 64 % - до -11 °С, а показатель эластичности составил при +25 °С и 0 °С 31 и 24 % соответственно.

При приготовлении композиции № 11 было снижено содержание масла до 6,2 % и увеличено содержание битума до 90,3 %. Снижение концентрации масла в меньшей степени повлияло на физико-механические характеристики вяжущего на фоне композиции № 10. Так, по сравнению с исходным битумом, пенетрация при +25 °С и при 0 °С выше на 14 и 24 % соответственно. Температура размягчения осталась прежней – 49 °С. Возросла растяжимость при +25 °С и при 0 °С на 8 % и в 5,5 раз до 70 и 21,3 см соответственно. Температура хрупкости снизилась на 64 %, а показатель эластичности составил при +25 °С и 0 °С 69 и 47 % соответственно.

Таким образом, установлено, что при уменьшении концентрации индустриального масла в составе ПБВ снижается его вязкость, растяжимость при +25 °С и эластичность органического вяжущего.

Далее при приготовлении композиции № 12 было увеличено содержание полимера до 4 %, а индустриального масла в данной композиции содержалось 6,2 %. Из полученных результатов испытаний видно, что по сравнению с битумом БНД 60/90, выросла пенетрация при +25 °С и при 0 °С на 18 и 24 % соответственно, температура размягчения – на 6 %, растяжимость при +25 и 0 °С – на 6 и 79 % соответственно. Температура хрупкости снизилась на 72 %. Показатель эластичности составил при +25 °С и 0 °С 29 и 18 % соответственно.

В композиции № 13 концентрация масла была снижена до 5 %. Глубина проникания иглы, по сравнению с исходным битумом, при +25 и 0 °С увеличилась на 3 и 18 % соответственно, температура размягчения – на 14 %, растяжимость при

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

+25 и 0 °С – на 40 % и 3 раза соответственно. Температура хрупкости снизилась на 72 %, а показатель эластичности составил при +25 °С 69 %, а при 0 °С 49 %.

Из выше сказанного следует, что введение большего количества полимера в вяжущее существенно повысило вязкость битума, также снижение концентрации масла при одинаковом количестве полимера увеличивает температуру размягчения смеси и дополнительно повышает его вязкость.

В композиции № 14 в качестве пластификатора использовалось масло Т. Так, из полученных результатов испытаний видно, что по сравнению с исходным битумом пенетрация при +25 °С и при 0 °С возросла на 90 и 110 % соответственно, растяжимость при +25 и 0 °С – на 5 % и в 5 раз, что составило 68 и 18 см. Температура размягчения и температура хрупкости снизились на 6 и 82 % соответственно, а показатель эластичности данной композиции составил при +25 и 0 °С 52 и 61 % соответственно.

Композиция № 15, имеющая в одинаковое соотношение компонентов что и в предыдущей композиции за одним исключением – в качестве пластификатора применялось индустриальное масло И-20. Из полученных данных видно, что по сравнению с исходным битумом, глубина проникания иглы при +25 °С и при 0 °С возросла на 56 и 82 % соответственно, растяжимость при +25 °С – на 29 %, а при 0 °С – до 18,1 см, т.е. в 5 раз. Температура размягчения не изменилась, температура хрупкости снизилась на 45 %, а показатель эластичности данной композиции составил при +25 и 0 °С 32 и 38 % соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при одинаковых концентрациях полимера, большей разжижающей способностью обладает масло Т.

Испытания приготовленной композиции № 16, содержащей в качестве полимера эпоксидную смолу ЭД-20 показали, что по отношению к исходному битуму, прнетрация при +25 и при 0 °С увеличилась на 32 и 18 %, температура размягчения – на 4 %, растяжимость при +25 и при 0 °С – на 86 и 16 % соответственно. Температура хрупкости снизилась на 82 % - до -20 °С, а показатель эластичности при +25 и при 0 °С составил соответственно 33 и 39 %.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Композиция № 17 имела идентичное соотношение компонентов что и № 16, однако в качестве пластификатора выступает масло Т. Так из полученных результатов видно, что по отношению к исходному битуму БНД 60/90, прнетрация при +25 и при 0 °С выше на 28 и 29 % соответственно, растяжимость при + 25 °С – на 64 % - до 23 см, а при 0 °С – на 53 % - до 5,8 см. Температура размягчения уменьшилась на 3 %, температура хрупкости также – на 82 %. Показатель эластичности при + 25 и 0 °С составил соответственно 16 и 32 %.

Композиция № 18 имела повышенное содержание масла Т (8 %). Исходя из полученных данных видно, что в сравнении с исходным битумом пенетрация при +25 °С и при 0 °С выше в 2,5 раза, растяжимость при + 25 °С – на 6 %, а при 0 °С – в 4,5 раза. Температура размягчения на 24 % ниже, температура хрупкости – в 2 раза. Показатель эластичности при +25 и при 0 °С составил соответственно 17 и 33 %.

Основываясь на выше сказанном можно сделать вывод о том, что эпоксидная смола проявляет себя как полимер, однако не достаточно воздействует на органическое вяжущее. В частности, показатели эластичности данных композиций достаточно малы по сравнению с аналогичными композициями, приготовленных с использованием ДСТ-30-01. Также касательно масла Т можно наблюдать то, что оно обладает большей разжижающей способностью по отношению к индустриальному маслу И-20.

Композиция № 19 содержала в своем составе в качестве пластификатора стеариновую кислоту Т-18. Исходя из полученных данных видно, что использование 3 % стеариновой кислоты Т-18 привело к снижению пенетрация при +25 °С и при 0 °С на 87 и 82 % соответственно, что составило 8 и 5 единиц. Температура размягчения возросла на 80 % - до 88 °С, растяжимость при +25 °С снизилась до 3 см – на 95 %, температура хрупкости – на 18 %, а эластичность у данной композиции отсутствует.

Испытания композиции № 20, аналогичной предыдущему, но содержащая в своем составе в качестве полимера эпоксидную смолу ЭД-20, показали, что в сравнении с исходным битумом, пенетрация при +25 °С и при 0 °С выросла на 34 и 61

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

% соответственно, растяжимость при +25 и 0 °С – на 29 % и в 3 раза, что составило 84 и 11 см. Температура размягчения снизилась на 2 %, температура хрупкости – на 64 %, а показатель эластичности при +25 и 0 °С составил соответственно 34 и 24 %.

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что стеариновая кислота, используемая в качестве пластификатора, усилила действие полимера на столько, что полученная композиция стала излишне вязкой. Однако, сочетание эпоксидной смолы и стеариновой кислоты в составе композиции, привело достаточно сильному разжижению битума, а также придало ей эластичности.

Таким образом, на основании всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

– минимальной вязкостью обладает композиция с использованием масла Т и эпоксидной смолы в количестве 8 и 2 % соответственно, а также масла Т и ДСТ при их введении – 8,5 и 3,5 % соответственно;

– максимальной температурой размягчения обладает композиция № 19, включающая в качестве полимера ДСТ (6 %) и стеариновой кислоты (3 %), при использовании индустриального масла в количестве от 5 до 6 % и ДСТ – 4 %, а также при содержании индустриального масла и эпоксидной смолы в исходном битуме в количестве 3 и 2 % соответственно;

– наибольшая температура хрупкости наблюдается при введении в качестве полимера эпоксидной смолы;

– максимальной эластичностью обладает вяжущее при использовании И-20 в количестве 5 – 6 % и ДСТ – от 3,5 до 4 %;

– максимальный интервал пластичности наблюдается у композиций, содержащих в своем составе 4 % ДСТ, от 3 до 6,2 % индустриального масла, 2 и 3 % эпоксидной смолы и стеариновой кислоты соответственно.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

3.4 Исследование изменения свойств битума при совместном введении различных полимеров и пластификаторов

Для изучения комплексного влияния модификаторов на свойства битума было приготовлено 11 композиций, составы которых представлены в табл. 3.7. Результаты испытаний данных композиций представлены в табл. 3.8 и на рис. 3.16 – 3.20.

Таблица 3.7 – Составы комплексных композиционных вяжущих

№ композиционного вяжущего	Состав компонентов
1	2
21	1. Битум БНД 60/90 = 79,8 % 2. ДСТ-30-01 = 4 % 3. Масло промышленное И-20 = 6,2 % 4. Эпоксидная смола ЭД-20 = 10 %
22	1. Битум БНД 60/90 = 87,8 % 2. ДСТ-30-01 = 4 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло промышленное И-20 = 6,2 %
23	1. Битум БНД 60/90 = 84,8 % 2. ДСТ-30-01 = 4 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло промышленное И-20 = 6,2 % 5. Стеариновая кислота Т-18 = 3 %
24	1. Битум БНД 60/90 = 86,8 % 2. ДСТ-30-01 = 4 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло промышленное И-20 = 6,2 % 5. Стеариновая кислота Т-18 = 1 %
25	1. Битум БНД 60/90 = 82,8 % 2. ДСТ-30-01 = 8 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло промышленное И-20 = 6,2 % 5. Стеариновая кислота Т-18 = 1 %
26	1. Битум БНД 60/90 = 80,8 % 2. ДСТ-30-01 = 8 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло промышленное И-20 = 6,2 % 5. Стеариновая кислота Т-18 = 3 %

Продолжение таблицы 3.7

1	2
27	1. Битум БНД 60/90 = 82,8 % 2. ДСТ-30-01 = 8 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло индустриальное И-20 = 6,2 % 5. Стеариновая кислота Т-18 = 1 %
28	1. Битум БНД 60/90 = 95% 2. ДСТ-30-01 = 2 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Стеариновая кислота Т-18 = 1 %
29	1. Битум БНД 60/90 = 82,8 % 2. ДСТ-30-01 = 6 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло индустриальное И-20 = 8,2 % 5. Стеариновая кислота Т-18 = 1 %

Таблица 3.8 – Результаты испытаний комплексных композиционных вяжущих

Наименование показателя	Значение для состава									
	БНД 60/90	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при: 25 °С	61	12	26	46	39	57	50	49	18	52
0 °С	28	14	18	27	23	21	27	24	15	31
Температура размягчения по «КиШ», °С	49	97	65	59	74	64	54	62	83	59
Растяжимость, см, при: 25 °С	65	3	24	19	4	15	25	10	6	13
0 °С	3,8	1,3	3,0	2,5	2,8	5,6	2,8	4,0	1,8	3,2
Температура хрупкости. °С	-11	-13	-19	-25	-13	-21	-28	-29	-15	-22
Эластичность, %, при: 25 °С	-	-	-	-	58	49	61	34	30	22
0 °С	-	-	-	-	50	41	54	40	-	38

Для исследования комплексного влияния на физико-механические характеристики битума было приготовлено 11 комплексных композиционных вяжущих.

Технология приготовления вяжущего следующая. ДСТ-30-01 смешивается с индустриальным маслом И-20 и набухает в течение 25 минут. В разогретый до 150 °С битум БНД 60/90 вводится стеариновая кислота Т-18, перемешивается в течение 5 минут, затем в битум вводится смесь полимера и масла и перемешивается до полного растворения полимера в битуме. Далее в смесь вводится отвердитель и эпоксидная смола и перемешивается в течение 3 минут.

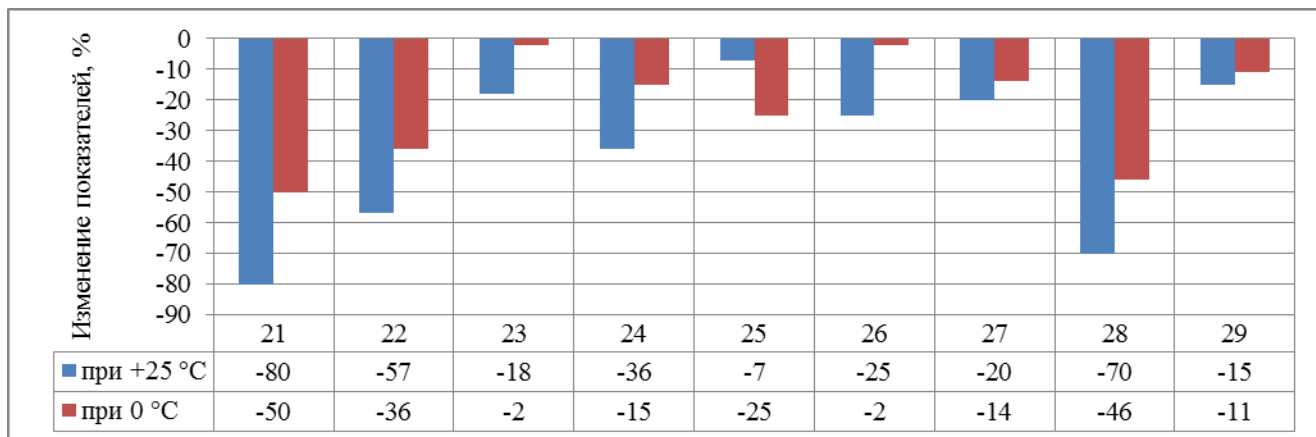


Рисунок 3.15 – Изменение глубины проникания иглы комплексных композиционных вяжущих различных составов

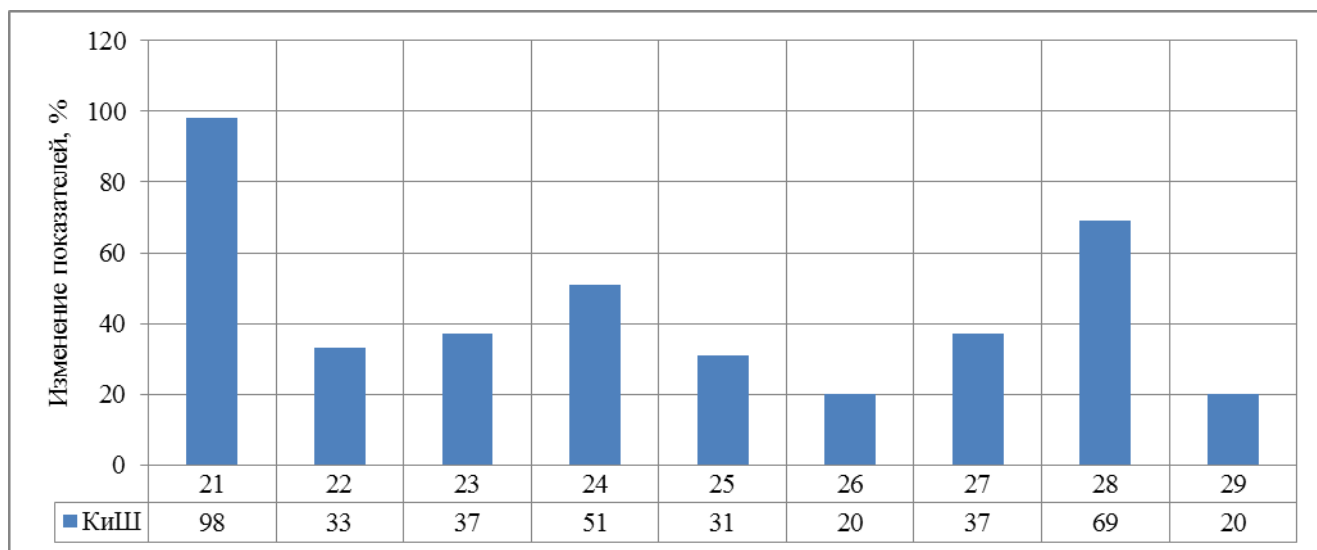


Рисунок 3.16 – Изменение температуры размягчения по «КиШ» комплексных композиционных вяжущих различных составов

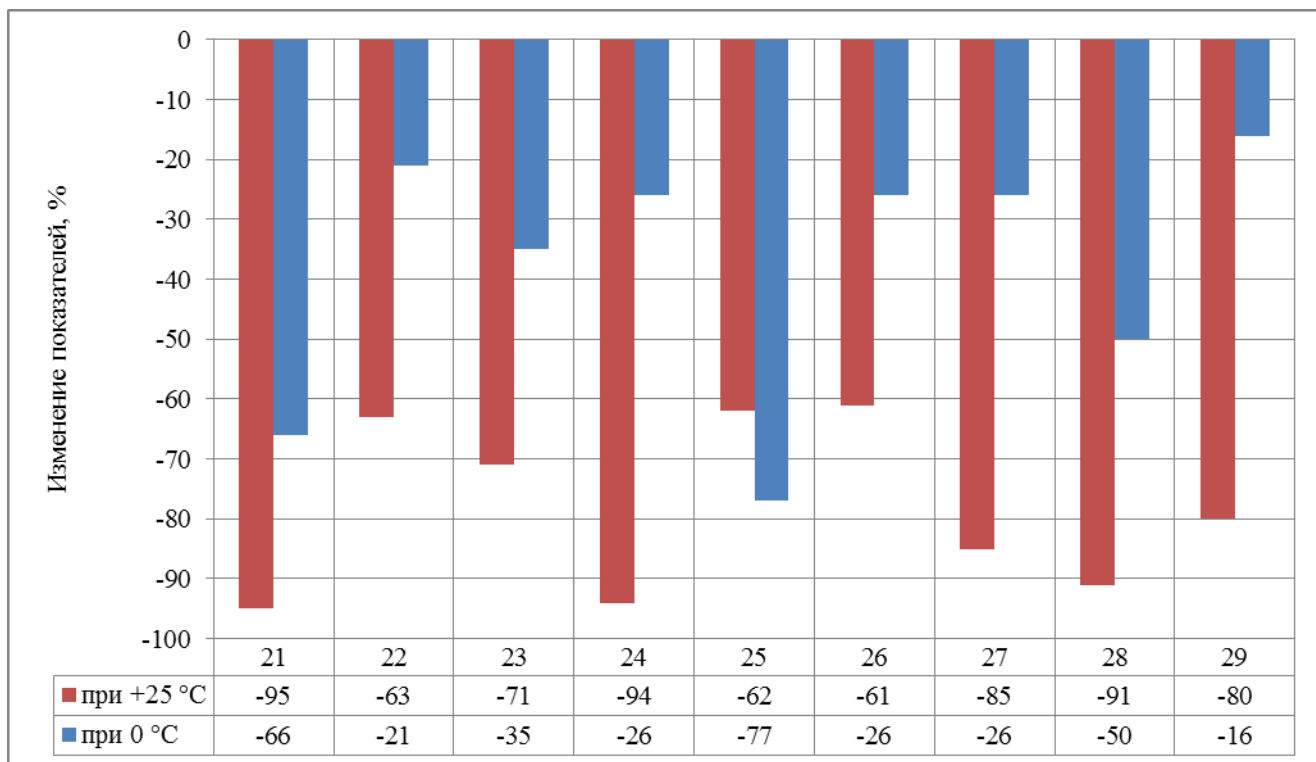


Рисунок 3.17 – Изменение растяжимости комплексных композиционных вяжущих различных составов

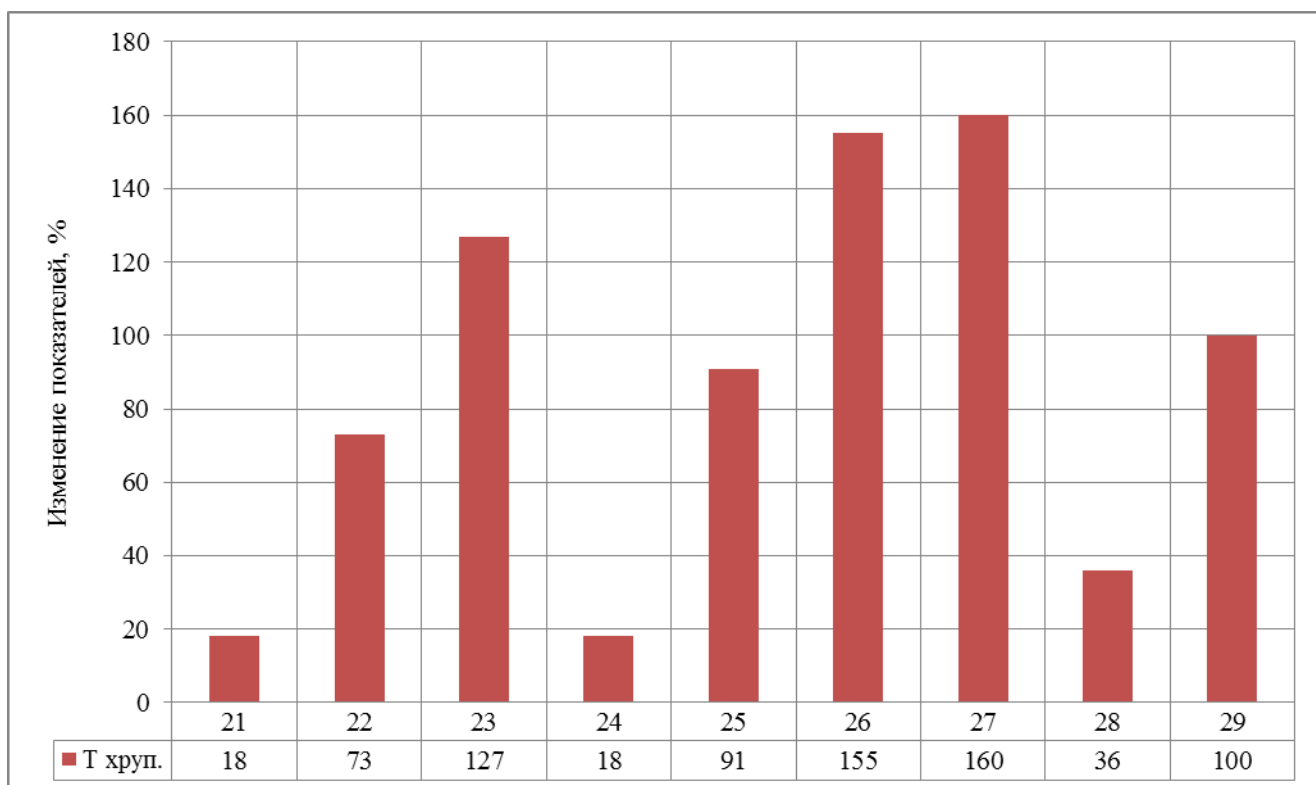


Рисунок 3.18 – Изменение температуры хрупкости комплексных композиционных вяжущих различных составов

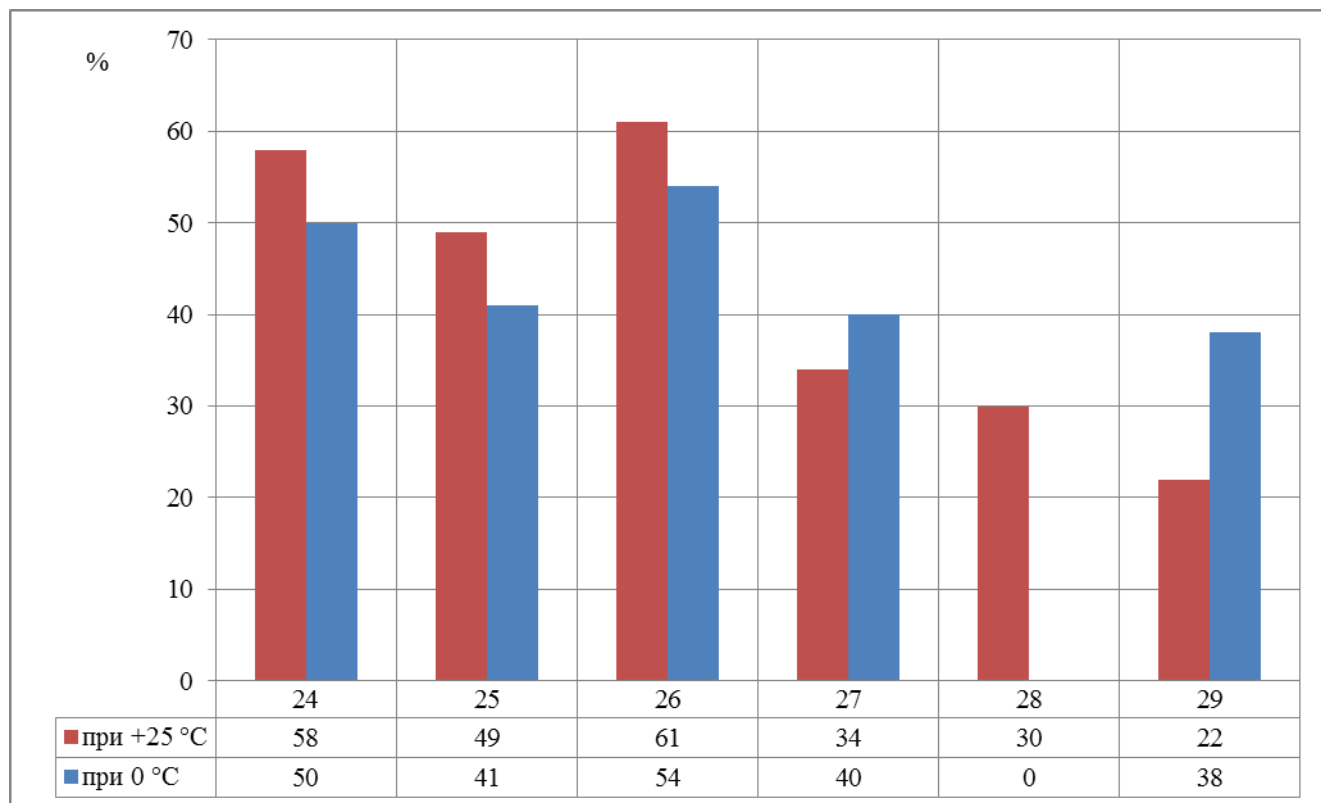


Рисунок 3.19 – Эластичность комплексных композиционных вяжущих различных составов

Композиция № 21 содержала в своем составе 2 полимера, это ДСТ-30-01 и эпоксидная смола ЭД-20, однако пластификатором в данной композиции служило только индустриальное масло И-20. Из полученных данных видно, что по сравнению с исходным битумом, глубина проникания иглы при +25 и при 0 °С снизилась на 80 и 50 % соответственно, растяжимость при +25 и при 0 °С – на 95 и 66 % до 3 и 1,3 см, температура хрупкости – на 18 %. Температура размягчения выросла на 98 % - до 97 °С, а эластичность у данной композиции отсутствует.

Композиция № 22 имела такой же состав, но концентрация эпоксидной смолы была снижена до 2 %. По сравнению с исходным битумом, глубина проникания иглы при +25 и 0 °С ниже на 57 и 36 %, растяжимость при +25 и при 0 °С – на 63 и 21 % соответственно, температура хрупкости – на 73 % до -19 °С. Температура размягчения выросла на 33 %. Эластичность у данной композиции также отсутствует.

Из вышесказанного следует, что при содержании большого количества полимера необходимо повышение концентрации пластификатора, однако при малом содержании эпоксидной смолы, физико-механические показатели вяжущего изменяются не значительно.

Композиция № 23 имела аналогичный состав, как и № 22, но с дополнительным введением 3 % стеариновой кислоты Т-18. Из результатов испытаний видно, что по сравнению с исходным битумом, пенетрация при +25 и 0 °С ниже на 18 и 2 % соответственно, растяжимость при +25 и 0 °С – на 71 и 35 % до 19 и 2,5 см, температура хрупкости снизилась до -25 °С – в 2,3 раза. Температура размягчения выросла на 10 %, а эластичность у данной композиции отсутствует.

В композиции № 24 концентрация стеариновой кислоты снижена до 1 %, из представленных данных видно, что в сравнении с исходным битумом, пенетрация при +2 °С снизилась на 36 %, а при 0 °С – на 15 %, растяжимость при +25 °С – до 4 см – на 94 %, а при 0 °С – на 26 %, температура хрупкости – на 18 %. Температура размягчения выросла на 69 % - до 83 °С. Показатель эластичности при +25 и 0 °С составил 58 и 50 % соответственно.

Таким образом, введение дополнительного пластификатора позволяет урегулировать физико-механические свойства вяжущего, однако меньшая концентрация стеариновой кислоты способствует приданию эластичности композиции.

Композиция № 25 отличается от предыдущей большим содержанием полимера ДСТ-30-01 (8 %). Исходя из полученных данных видно, что по сравнению с исходным битумом, пенетрация при +25 и 0 °С снизилась на 7 и 25 % соответственно, растяжимость при +25 и 0 °С – на 62 и 77%, а температура хрупкости – до -21 °С – на 91 %. Температура размягчения выросла на 31 %. Эластичность данной композиции при +25 и 0 °С составила соответственно 49 и 41 %.

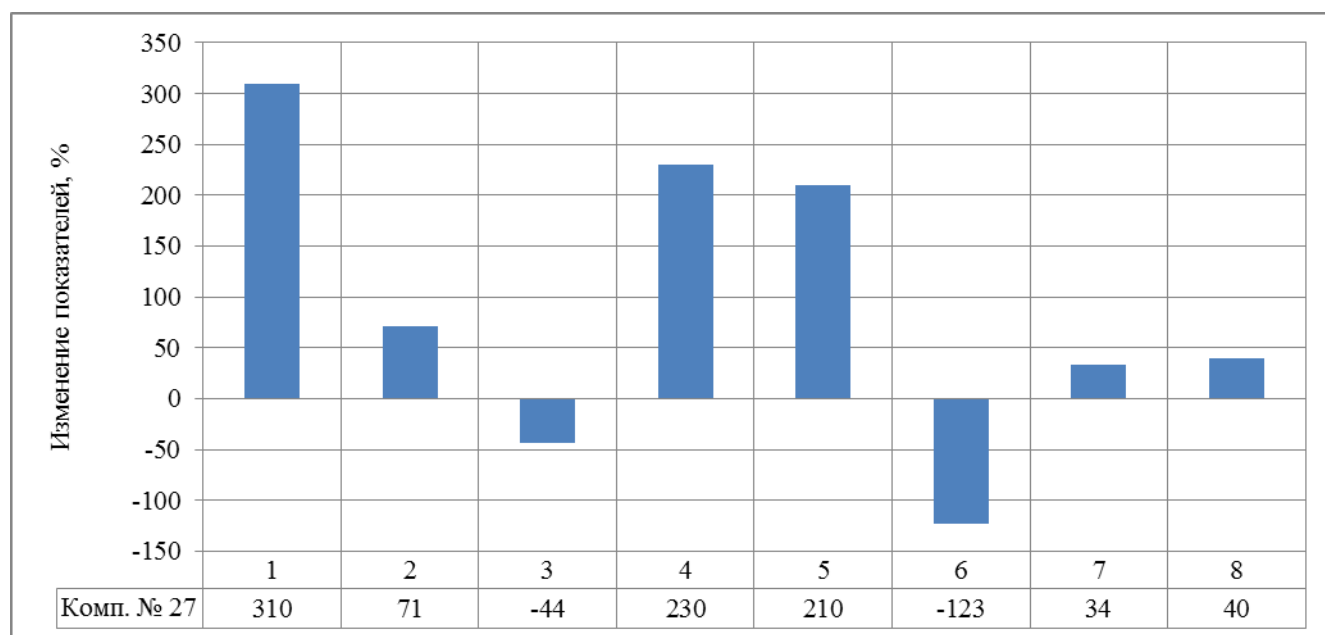
Композиция № 26 отличается от предыдущей большим содержанием стеариновой кислоты (3 %). По сравнению с исходным битумом, прнетрация при +25 и при 0 °С уменьшилась на 25 и 2 % соответственно, растяжимость при +25 и 0 °С – на 61 и 26%, температура хрупкости – на 91 % - до -21 °С. Температура размягче-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

ния выросла на 20 %, а показатель эластичности при +25 и 0 °С составил 61 и 54 % соответственно.

Из вышесказанного видно, что при большей концентрации ДСТ-30-01 возрастает эластичность композиции. При большей концентрации полимера, большее содержание стеариновой кислоты способствует увеличению вязкости битумной композиции.

В связи с тем, что композиция № 21 получилась слишком вязкой, а предыдущие исследования говорят о том, что данная смесь должна удовлетворять показателю пластичности сопоставимому с исходным битумом, возник вопрос о правильности технологии приготовления вяжущего. Данную технологию решено было поменять и приготовить композицию № 27 с таким же соотношением компонентов, как и в предыдущем составе. Изменение технологии заключалось во введении в смесь стеариновой кислоты в последнюю очередь.



1 - Пенетрация при + 25 °С; 2 – Пенетрация при 0 °С; 3 – Температура размягчения, °С; 4 - Растяжимость при +25 °С; 5 – Растяжимость при 0 °С; 6 – Температура хрупкости, °С; 7 – Эластичность при +25 °С; 8 – Эластичность при 0 °С.

Рисунок 3.20 – Изменение физико-механических характеристик комплексного композиционного вяжущего № 27 относительно композиции № 21.

Данное изменение значительно повлияло на свойства битумного вяжущего. Из представленных данных на рисунке 3.20 видно, что по сравнению с композицией № 21, произошло увеличение всех показателей кроме температуры размягчения и температуры хрупкости, они снизились на 44 % и в 2,2 раза соответственно. Пенетрация при +25 и 0 °С увеличились в 4 раза и на 71 %, растяжимость при +25 и 0 °С – в 3 раза. Эластичность при +25 и 0 °С составила 34 и 40 % соответственно.

Из этого следует, что введение стеариновой кислоты в битумную композицию в последнюю очередь существенно влияет на вязкость битума и придает композиции эластичность.

В композиции № 28 в качестве полимера выступали ДСТ и эпоксидная смола, а качестве пластификатора – стеариновая кислота. Исходя из полученных данных видно, что в сравнении с исходным битумом, пенетрация при +25 и 0 °С снизилась на 70 и 46 % соответственно, растяжимость при +25 и 0 °С – на 91 и 50 %, температура хрупкости – на 36 %. Температура размягчения выросла на 69 %, а эластичность при + 25 °С составила 30 %.

Композиция № 29 также приготовлена по измененной технологии. Из полученных данных видно, что в сравнении с исходным битумом БНД 60/90, глубина проникания иглы при +25 °С снизилась на 15 %, растяжимость при +25 и 0 °С – на 80 и 16 %, температура хрупкости – в 2 раза. Пенетрация при 0 °С выросла 11 %, температура размягчения – на 20 %, а показатель эластичности при + 25 и 0 °С составил 22 и 38 % соответственно.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

– введение стеариновой кислоты оказывает значительное влияние на вязкость и температуру хрупкости органического вяжущего, существенно снижая оба показателя;

– на температуру размягчения композиционного вяжущего наибольшее влияние оказывает количество ДСТ в составе исходного битума;

– на показатель эластичности органического вяжущего положительное влияние оказывает ДСТ в количестве до 4 %, дальнейшее увеличение которого способствует снижению данного показателя. Однако негативное влияние увеличения

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

его количества можно компенсировать за счет дополнительного введения стеариновой кислоты;

– максимальный интервал пластичности показывают композиции, содержащие в своем составе от 2 до 8 % ДСТ, 6,2 % индустриального масла, 2 и 10 % эпоксидной смолы и 1 % стеариновой кислоты.

Из всех выше представленных данных можно сделать вывод о том, что лучшие результаты среди классических полимерно-битумных композиций имеет №13, а среди комплексных вяжущих № 26. В таблице 3.9 представлено сравнение данных композиций с требованиями ГОСТ 52056-2003 [31] для ПБВ 60.

Таблица 3.9 – Сравнение физико-механических композиционных вяжущих и требований ГОСТ 52056-2003 [31] к ПБВ 60.

Наименование Показателя	Значение для состава		
	ГОСТ 52056-2003 для ПБВ 60	Композиция № 13	Композиция № 26
1	2	3	4
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при: 25 °С	Не менее 60	63	50
0 °С, не менее	32	33	27
Температура размягчения по «КиШ», °С, не менее	54	56	54
Растяжимость, см, при: 25 °С, не менее	25	91	25
0 °С, не менее	11	10,8	2,8
Температура хрупкости, °С, не выше	-20	-19	-28
Эластичность, %, при: 25 °С, не менее	80	69	61
0 °С, не менее	70	61	54

Из представленных данных в таблице 3.9 видно, что композиция № 13 не входит в пределы ГОСТ 52056-2003 [31] по требованиям к ПБВ 60 по 4 показателям: растяжимость при 0 °С, температура хрупкости и эластичность при +25 и 0 °С. У композиции № 26 также выявлено несоответствие требованиям [31] по 4 показателям.

телям: глубина проникания иглы при +25 и 0 °С, растяжимость при 0 °С и эластичность при +25 и 0 °С.

Дальнейшие исследования по влиянию модификаторов на свойства асфальтобетонной смеси было решено проводить с вышеуказанными композициями, т.к. они показали наилучшие результаты.

3.5 Исследование эластичности асфальтовязующего на основе разработанных составов модифицированного битума

Известно [65], что эластичность является важнейшим показателем при использовании полимерно-битумных композиций. Поэтому, определение эластичности разработанных составов модифицированного битума дополнительно проводилось по нестандартной методике, предложенной ОДМ 218.2.002-2007 [66]. В качестве объектов исследования выступали композиции № 11, 13, 14, 15, 25, 26, обладающие большей эластичностью согласно ГОСТ 52056-2003 [62]. Их составы представлены в таблице 3.10, результаты испытаний – в таблице 3.11 и на рисунках 3.22 - 3.24.

Таблица 3.10 – Составы исследуемых композиций

№ композиционного вяжущего	Состав компонентов
1	2
11	1. Битум БНД 60/90 = 90,3 % 2. ДСТ-30-01 = 3,5 % 3. Масло индустриальное И-20 = 6,2 %
13	1. Битум БНД 60/90 = 91 % 2. ДСТ-30-01 = 4 % 3. Масло индустриальное И-20 = 5 %
14	1. Битум БНД 60/90 = 88 % 2. ДСТ-30-01 = 3,5 % 3. Масло Т = 8,5 %
15	1. Битум БНД 60/90 = 88 % 2. ДСТ-30-01 = 3,5 % 3. Масло индустриальное И-20 = 8,5 %

Продолжение таблицы 3.10

1	2
25	1. Битум БНД 60/90 = 82,8 % 2. ДСТ-30-01 = 8 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло индустриальное И-20 = 6,2 % 5. Стеариновая кислота Т-18 = 1 %
26	1. Битум БНД 60/90 = 80,8 % 2. ДСТ-30-01 = 8 % 3. Эпоксидная смола ЭД-20 = 2 % 4. Масло индустриальное И-20 = 6,2 % 5. Стеариновая кислота Т-18 = 3 %

Таблица 3.11 – Эластичность образцов асфальтовяжущего на основе разработанных составов модифицированного битума

№ композиционного вяжущего	Требования эластичности для ПБВ 40 по ГОСТ 52056-2003, не менее, %		Требования эластичности для ПБВ 60 по ГОСТ 52056-2003, не менее, %		Показатель эластичности по ГОСТ 52056-2003, %		Показатель эластичности по ОДМ 218.2.002-2007, %
	+ 25 °С	0 °С	+ 25 °С	0 °С	+ 25 °С	0 °С	
1	2	3	4	5	6	7	8
БНД 60/90	-	-	-	-	-	-	12
11	80	60	80	70	69	47	58
13					69	61	67
14					52	49	56
15					38	32	38
25					49	41	50
26					61	54	63

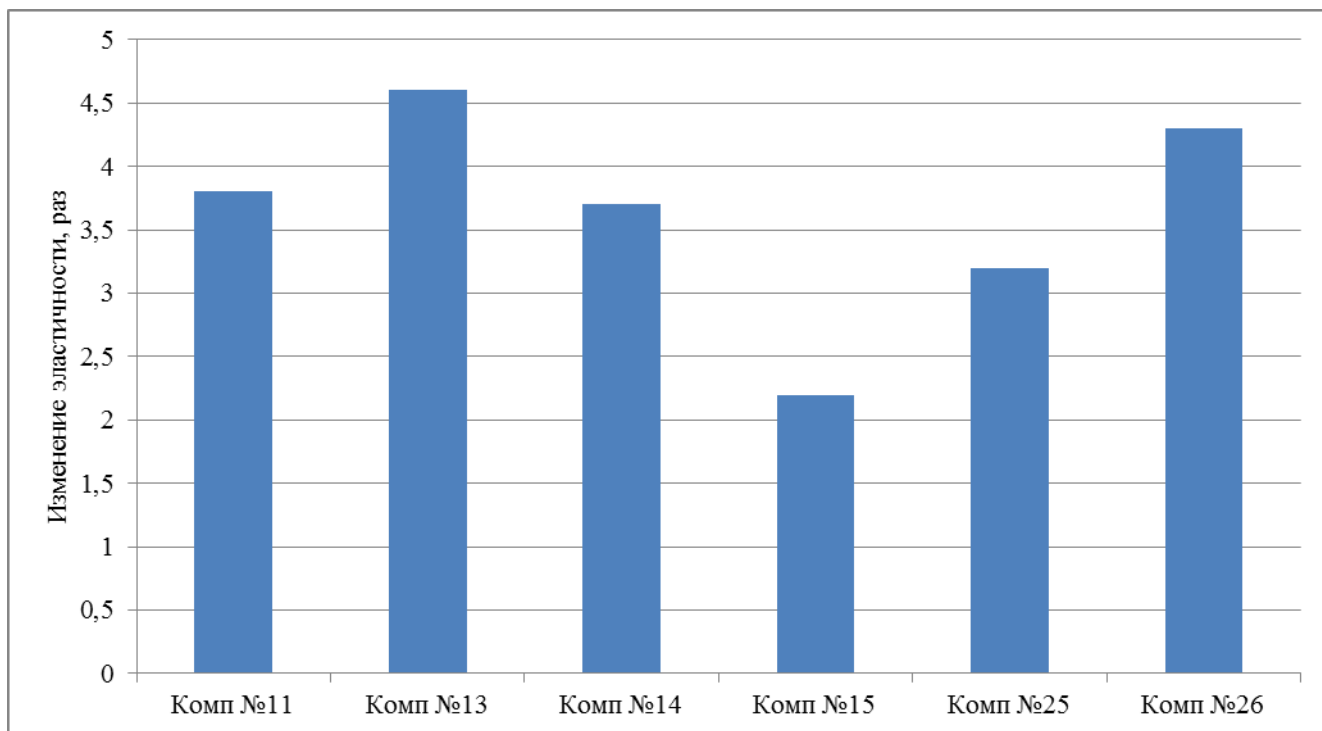


Рисунок 3.21 – Изменение показателей эластичности образцов асфальто вяжущего на основе разработанных составов модифицированного битума относительно образца с применением битума БНД 60/90

Как видно из данного рисунка, наибольшей эластичностью обладает асфальто вяжущее, в состав которого входил модифицированный битум составов № 11, 13, 14 и 26, ее значения составили 58, 67, 56 и 63 % соответственно.

На рисунке 3.23 представлена зависимость изменения размеров испытуемого образца во время термостатирования, из которого видно, что у композиции № 14 резкий скачок увеличения размера происходит в отрезок времени термостатирования от 30 до 90 мин. Композит на основе вяжущих № 11 и 15 резко увеличивается в размере в течение первых 45 минут, а на модифицированном битуме № 15 – 25 мин, дальнейший рост образцов замедляется.

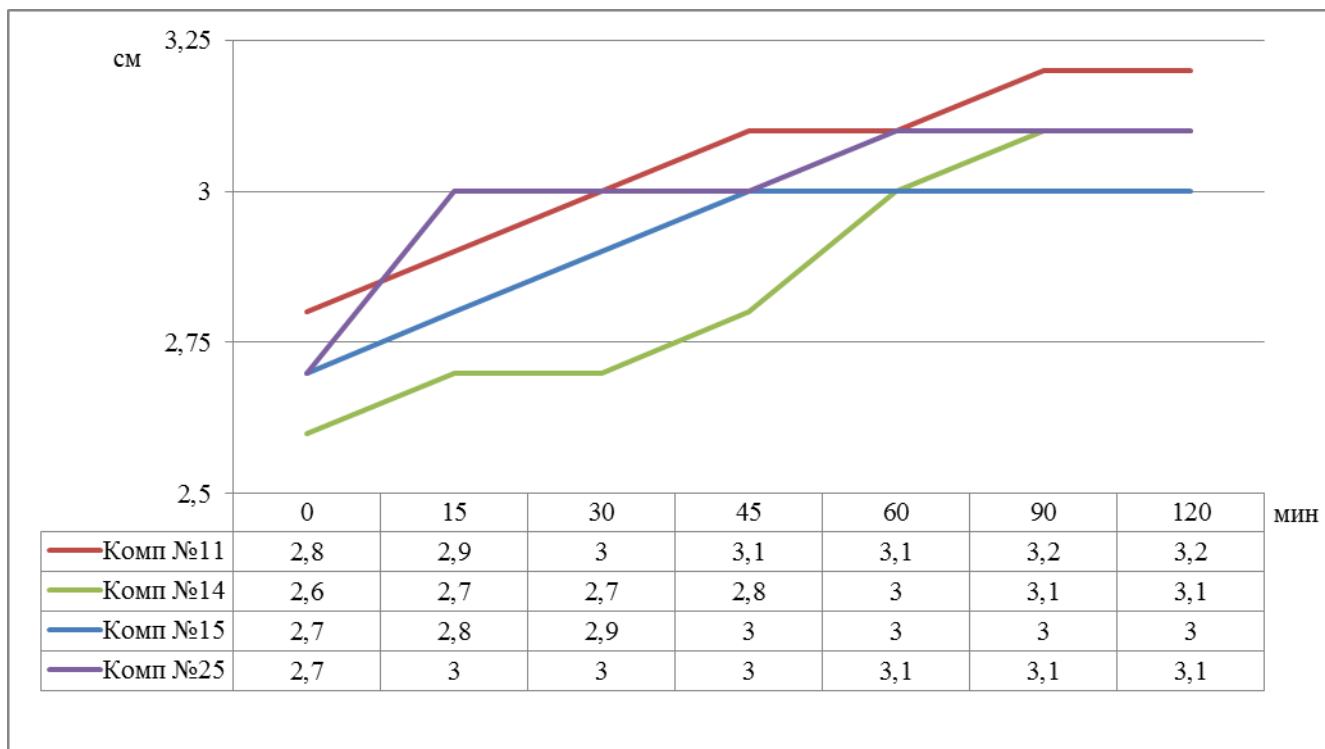


Рисунок 3.22 – Изменение размеров испытуемого образца композиций

Зная, что состав № 14 и 15 отличается видом используемого пластификатора, можно заключить, что масло Т в сочетании с ДСТ обладает большей температурной устойчивостью и эластичностью, по сравнению с индустриальным маслом.

Увеличение размеров образцов № 13 и 26 происходит практически параллельно, а значения эластичности составило 67 и 63 % соответственно.

Сопоставление результатов показателей эластичности по методу ГОСТ 52056-2003 [62] и ОДМ 218.2.002-2007 [66] является нецелесообразным из-за различия в методике и температурных режимов проведения испытаний. Тем не менее, анализируя полученные данные, можно сказать о том, что значения эластичности, определенные традиционным способом [62], соответствуют результатам, полученным согласно [66] для образца асфальтовяжущего изготовленного с применением исследуемых композиционных составов.

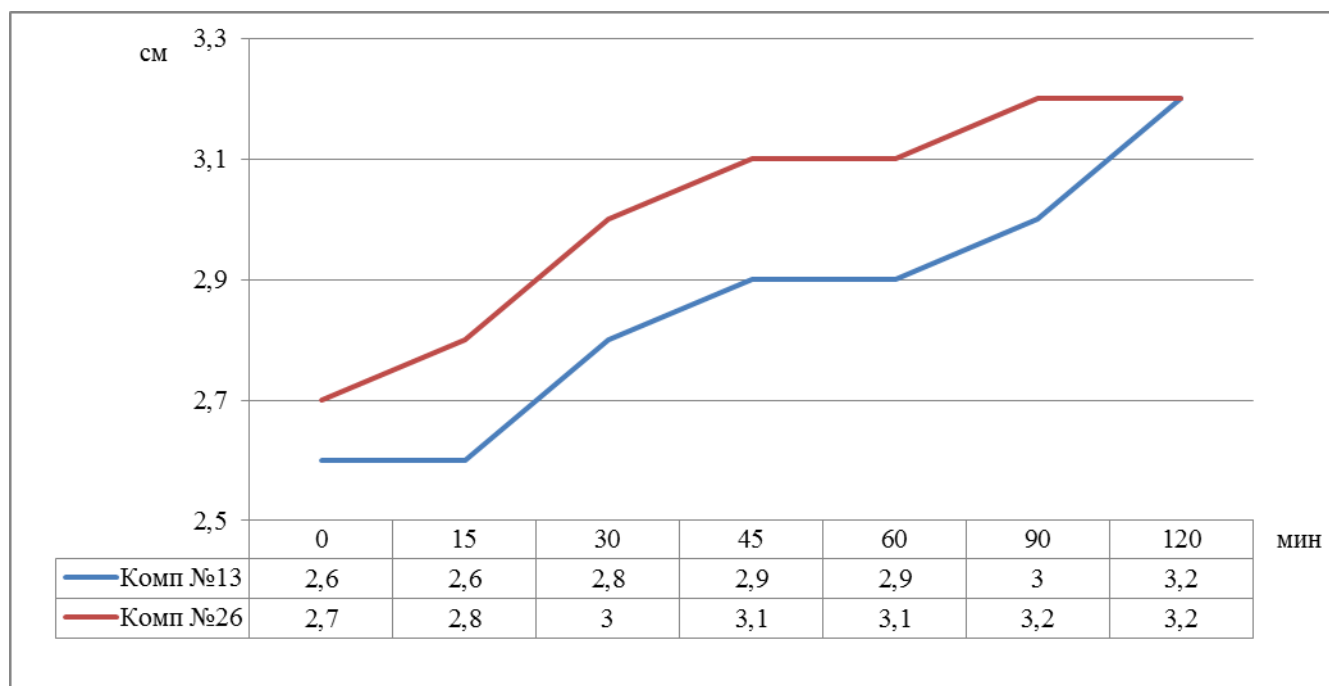


Рисунок 3.23 – Изменение размеров испытуемого образца композиций № 13 и 26 в течение времени.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

– максимальное значение эластичности показали композиции № 13 и 26 – 67 и 63 % соответственно, минимальное – состав № 15 (38 %);

– увеличение количества индустриального масла в комплексе с полимером ДСТ способствует росту эластичности образцов асфальтовяжущего;

– использование масла Т придает композиту «минеральный порошок – ПБВ» более высокую температурную устойчивость и эластичность;

– значительное увеличение количества полимера ДСТ до 8 % в сочетании с эпоксидной смолой в составе исходного битума не способствует росту эластичности. Однако дополнительное введение стеариновой кислоты придает модифицированному битуму в комплексе с минеральным порошком высокую эластичность, значение которой достигают 63 %.

4 Проектирование состава и исследование физико-механических свойств асфальтобетона на модифицированном битуме

4.1 Проектирование состава асфальтобетонной смеси

Проектирование состава асфальтобетонной смеси ЩМА-15 производилось в программе GRANLAB 2009 v6.2. Исходными данными для проектирования состава служил рассев минеральных компонентов используемых в асфальтобетонной смеси. Критерием подбора состава служат пределы содержания минеральных частиц определенного размера, установленные в ГОСТ 31015-2002 [67], которые представлены в таблице 4.1. Зерновой состав применяемых материалов представлен в таблицах 4.1-4.2.

Таблица 4.1 - Зерновой состав минеральной части смеси по ГОСТ [67]

Вид смеси	Содержание зерен, %, мельче данного размера, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
ЩМА-15 по ГОСТ 31015-2002	-	90-100	40-60	25-35	18-28	15-25	12-22	10-20	9-16	9-14

Таблица 4.2 – Зерновой состав минеральной части

Наименование материалов	Истинная плотность г/см ³	Зерновой состав (остатки на сите с отверстием, мм) в % от массы										
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	менее 0,071
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Щебень гранитный фр. 10-15	2,65	0,0	7,1	85,5	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1
Щебень гранитный фр. 5-10	2,65	0,0	0,0	2,8	69,5	25,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2
Песок из отсевов дробления, фр. 0-5 мм, Павловский карьер	2,63	0,0	0,0	0,0	7,1	16,5	13,5	20,0	15,8	15,0	10,4	1,7

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Минеральный порошок, МП1, ООО «Доломит»	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1,1	8,7	16,0	74,0

Основываясь на требованиях ГОСТ 31015-2002 [67] и расसेве минеральной части, корректируя процентное содержание материалов, необходимо вписать график зернового состава в установленные пределы [67]. Зерновой состав подобранной асфальтобетонной смеси ЩМА-15 в таблице 4.3, график гранулометрического состава на рисунке 4.1.

Таблица 4.3 – Зерновой состав асфальтобетонной смеси ЩМА-15

Наименование материалов	Содержание, %	Содержание зерен мельче данного размера, (мм), в % по массе										
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	
Щебень гранитный фр. 10-15	57	57,0	53,0	4,2	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Щебень гранитный фр. 5-10	18	18,0	18,0	17,5	5,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Отсев мелкий	14	14,0	14,0	14,0	13,0	10,7	8,8	6,0	3,8	1,7	0,2	
Минеральный порошок, МП1, ООО «Доломит»	11	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	10,9	9,9	8,1	
Зерновой состав факт.	100	100,0	96,0	46,7	29,6	22,7	20,8	18,0	15,7	12,6	9,4	
Требование ГОСТ 31015-2002	min	100	90	40	25	18	15	12	10	9	9	
	max	100	100	60	35	28	25	22	20	16	14	

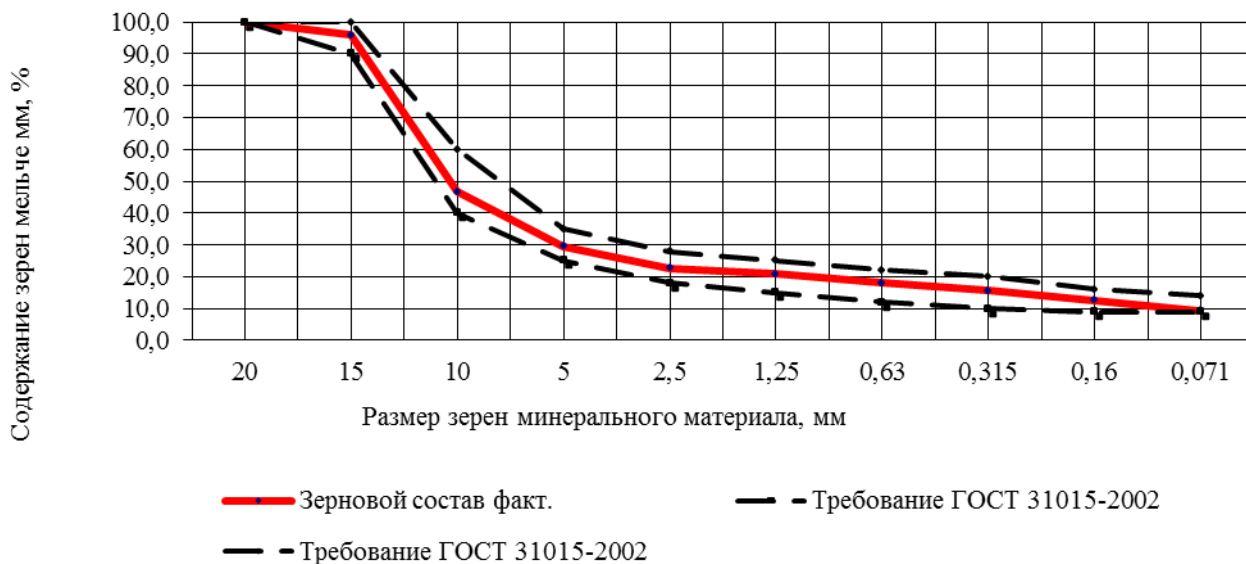


Рисунок 4.1 – График зернового состава асфальтобетонной смеси ЩМА-15

Однако, это не заключительный этап проектирования щебеночно-мастичного асфальтобетона. Для выбора дозировки битума необходимо определить устойчивость смеси к расслаиванию по показателю стекания вяжущего, методика определения указана в ГОСТ 31015-2002 [67]. Для определения данного показателя было приготовлено 3 смеси, содержащие 6 % вяжущего:

- 1 смесь: вяжущее – битум БНД 60/90; стабилизирующая добавка Viatorp-66 (0,43 %);
- 2 смесь: вяжущее – композиция № 13; стабилизирующая добавка отсутствует;
- 3 смесь: вяжущее – композиция № 26; стабилизирующая добавка отсутствует.

Использование при приготовлении образцов асфальтобетонной смеси в качестве вяжущего композиций № 13 и 26 обосновано их высокими физико-механическими характеристиками. Устойчивость смеси к расслаиванию представлена на рисунке 4.4.

Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

ВКР-16.08.03.01(09).887

Лист

Таблица 4.4 – Устойчивость смеси к расслаиванию по показателю стекания

Наименование показателя	Требования ГОСТ 31015-202	БНД 60/90	Композиция № 13	Композиция № 26
Показатель стекания, %	не более 0,20	0,15	0,22	0,13

Из данной таблицы видно, что по показателю стекания, асфальтобетонной смеси с применением в качестве органического вяжущего битума БНД 60/90 в комплексе со стабилизирующей добавкой Viator-66, а также композиции № 26 удовлетворяют требованиям [67]. Важно отметить, что показатель стекания смеси на основе композиции № 26 ниже, чем в случае использования традиционного состава ЦМА. Применение композиции № 13 при приготовлении асфальтобетона привело к получению смеси, не удовлетворяющей требованиям [67] по данному показателю.

После проектирования состава, была приготовлена асфальтобетонная смесь и заформованы стандартные асфальтобетонные образцы, которые испытываются в соответствии с требованиями [67].

4.2 Исследование влияния различных модификаторов в составе органического вяжущего на основные физико-механические характеристики асфальтобетона

Влияние модифицирующих добавок на основные физико-механические свойства асфальтобетонной смеси ЦМА-15 представлены в таблице 4.5 и на рисунках 4.2 – 4.5.

Из представленных диаграмм видно, что применение в качестве органического вяжущего композиций № 13 и 26 привело к существенному изменению физико-механических показателей относительно смеси с применением в качестве вя-

жущего битума БНД 60/90. Так, использование композиции № 13 способствовало увеличению водонасыщения на 35 %, а композиции № 26 – снижению на 14 %, до значений 3,9 и 2,5 % соответственно. Возможно, это связано с тем, что показатель стекания при использовании органического вяжущего № 13 имеет неудовлетворительное значение. При этом набухание всех трех смесей имеет аналогичные результаты.

Таблица 4.5 - Физико-механические характеристики асфальтобетона ЩМА-15 на битуме марки БНД 60/90, композиционном вяжущем № 13 и № 26.

Характеристики	Требования по ГОСТ	Применяемое вяжущее		
		БНД 60/90	Композиция № 13	Композиция № 26
Средняя плотность	-	2,26	2,26	2,28
Пористость минерального остова, % по объему	15-19	15	15	14
Водонасыщение, %	1,0 - 4,0	2,9	3,9	2,5
Набухание, %	0,60	0,16	0,15	0,14
Прочность при сжатии, МПа: - при +50 °С, не менее; - при + 20 °С, не менее; - водонасыщенного образца	0,65 2,2 -	1,17 3,10 3,0	1,70 3,20 3,0	1,60 4,30 4,10
Сдвигоучтойчивость: - коэф. внутр. трен., не менее - сцепление при сдвиге при +50 °С, МПа, не менее	0,93 0,18	0,88 0,53	0,90 0,59	0,95 0,60
Трещиностойкость	2,5 - 6,0	3,0	3,3	4,3
Водостойкость при длительном водонасыщении, не менее	0,85	0,97	0,94	0,95

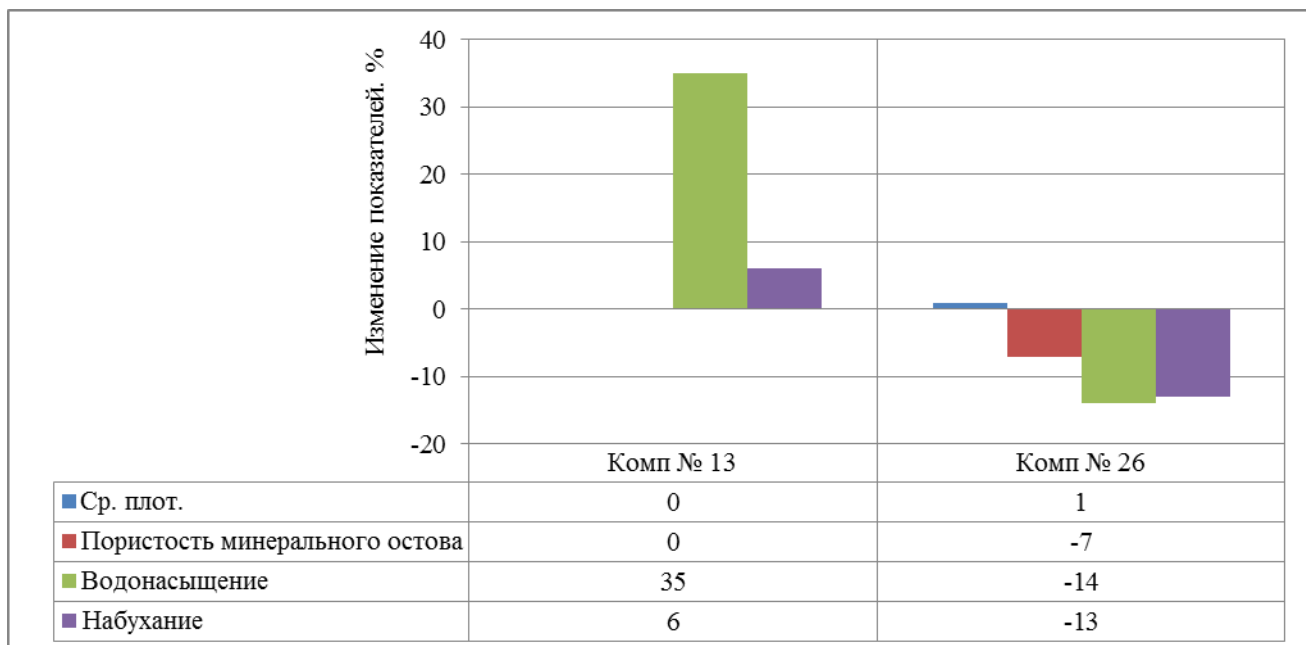


Рисунок 4.2 – Изменение средней плотности, пористости минерального остова, водонасыщения и набухания асфальтобетонных смесей ЦМА-15 с применением модифицированного вяжущего относительно асфальтобетонной смеси с применением БНД 60/ 90

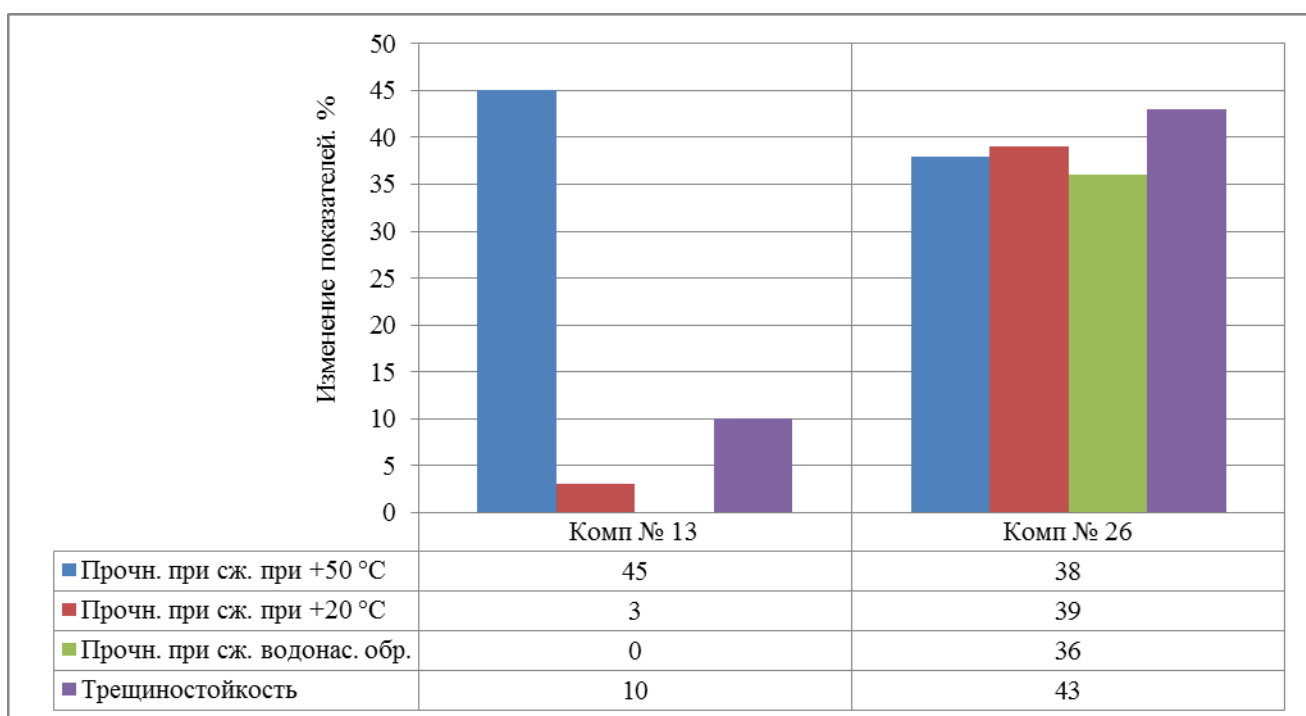


Рисунок 4.3 – Изменение прочности при сжатии и трещиностойкости асфальтобетонных смесей ЦМА-15 с применением модифицированного вяжущего относительно асфальтобетонной смеси с применением БНД 60/ 90

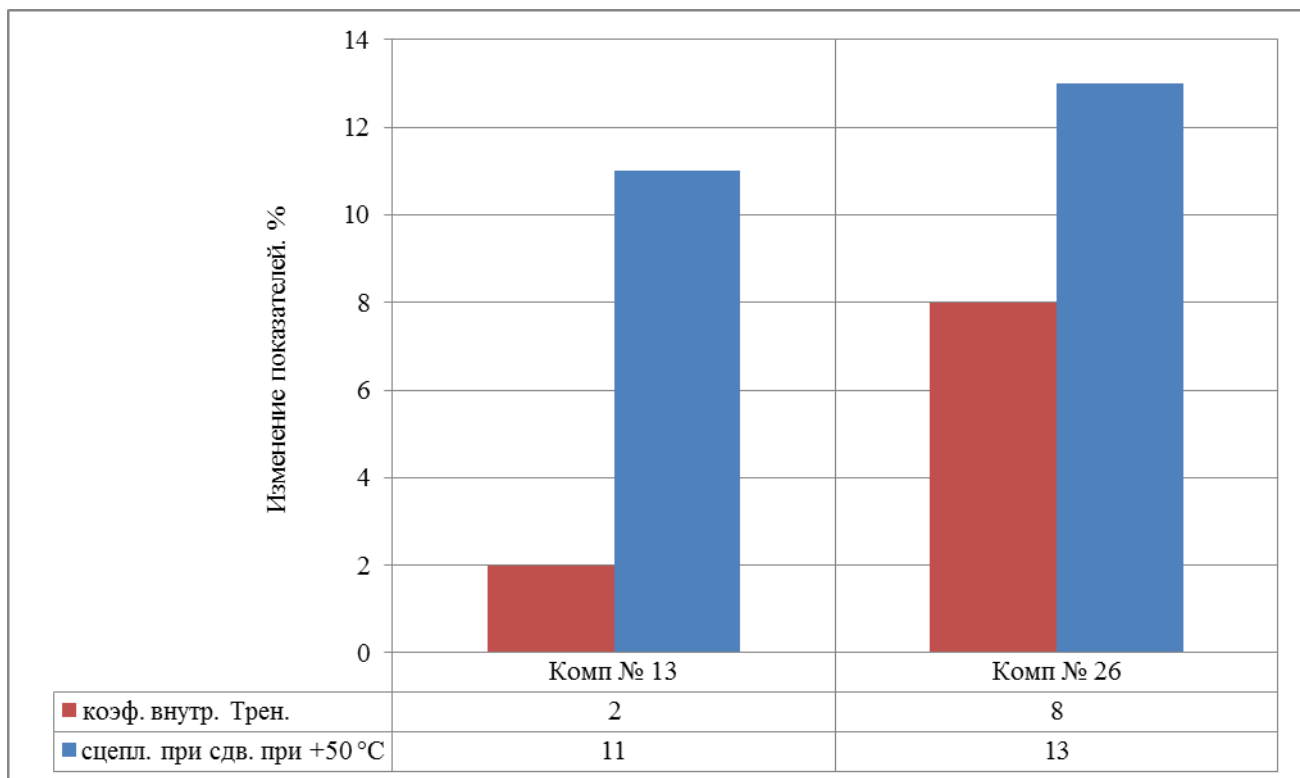


Рисунок 4.4 – Изменение сдвигоустойчивости асфальтобетонных смесей ЦМА-15 с применением модифицированного вяжущего относительно асфальтобетонной смеси с применением БНД 60/ 90

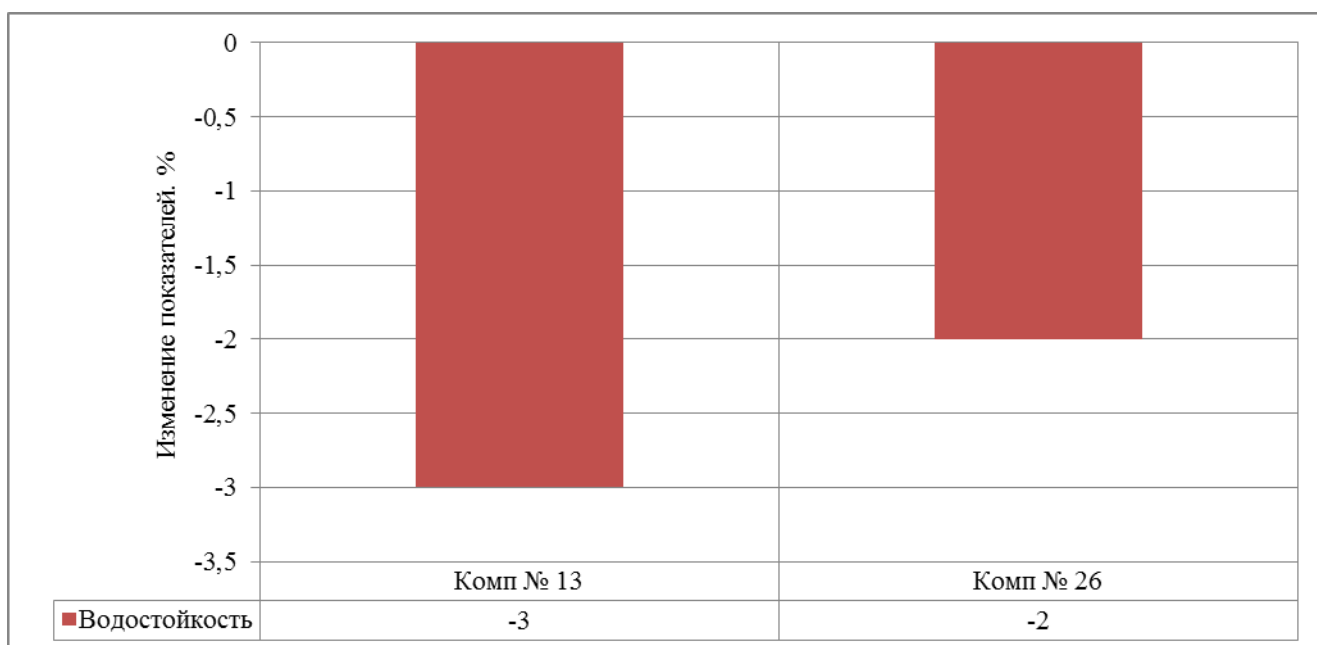


Рисунок 4.5 – Изменение водостойкости асфальтобетонных смесей ЦМА-15 с применением модифицированного вяжущего относительно асфальтобетонной смеси с применением БНД 60/ 90

Пределы прочности при сжатии образцов асфальтобетона на основе разработанных композиций увеличиваются в аналогичном диапазоне:

– при +50 °С: композиция № 13 – 45 %, № 26 – 38 %;

– при +20 °С: композиция № 13 – 3 %, № 26 – 39 %.

Предел прочности при сжатии водонасыщенного образца при введении в состав ЩМА-15 композиции № 13 не изменился, а применение состава № 26 привело к его увеличению на 36 %.

Трещиностойкость у асфальтобетонных образцов с применением композиций № 13 и 26 также возросла на 10 и 43 % соответственно. Сдвигоустойчивость, характеризующаяся коэффициентом внутреннего трения и сцеплением при сдвиге, для образцов на основе разработанных составов имеет более высокое значение, чем классическая смесь ЩМА.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

– введение композиции № 26 привело к существенному увеличению предела прочности при сжатии и сдвигоустойчивости, что связано с более высокой температурой размягчения данного состава, по сравнению с исходным битумом. Увеличение трещиностойкости связано с более низкой температурой хрупкости композиции, а существенное снижение водонасыщения связано с наличием в органическом вяжущем стеариновой кислоты;

– введение в асфальтобетонную смесь в качестве органического вяжущего композиции № 13, т.е. составу, близкому к традиционному ПБВ, привело к значительному росту предела прочности при 50 °С, а также к небольшому увеличению сдвигоустойчивости асфальтобетонных образцов. Более того, у данного асфальтобетона наблюдается разное снижение водостойкости и увеличение водонасыщения, значения которого соответствуют минимальной границе предельно допустимых. Скорее всего, это связано с высоким показателем стекания органического вяжущего.

Исходя из того, что ПБВ используется для устройства верхних слоев асфальтобетонного покрытия, было целесообразно провести исследования асфальто-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

бетонных образцов на основе разработанных композиционных вяжущих № 13 и 26 на устойчивость к колееобразованию. Испытания проводили с использованием оборудования InfraTest. Образование колеи на асфальтобетонных образцах с применением композиций № 13 и № 26 представлено на рисунке 4.6.

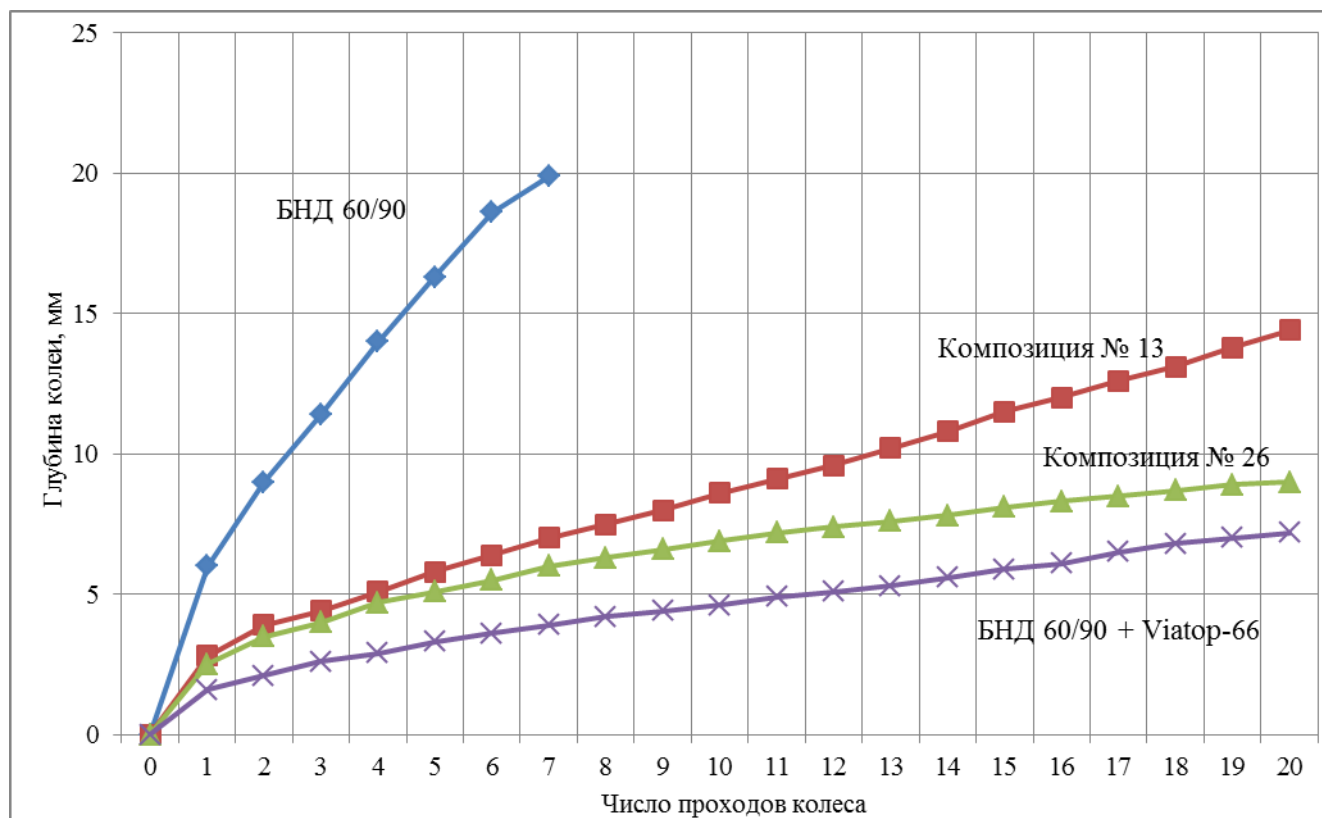


Рисунок 4.6 – Образование колеи на асфальтобетонных образцах с применением композиций № 13 и № 26

Из данного рисунка видно, что колея на асфальтобетонном образце, приготовленном на обычном битуме без применения стабилизирующей добавки, образуется очень стремительно:

- при 1000 проходов колеса она составила 6 мм;
- при 4000 – 14 мм.

Образцы, приготовленные с применением композиций №13 и 26, демонстрируют более плавное образование колеи, так как при 20000 проходов колеса, глубина колеи составила 14,4 и 9 мм соответственно. Максимальной устойчивостью к колееобразованию обладает асфальтобетон на основе исходного битума

БНД 60/90 с добавлением стабилизирующей добавки Viator-66. Так при 20000 проходов колеса величина колеи не превысила 7,2 мм.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что введение в состав щебеночно-мастичного асфальтобетона комплексного вяжущего № 26 без стабилизирующей добавки приводит к получению композита, обладающего высокими физико-механическими характеристиками, в частности деформативными как при высоких так и низких температурах, сопоставленных с различными традиционными ЩМА на основе дорогостоящего импортного стабилизатора Viator-66.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

5 Обеспечение качества приготовления и хранения асфальтобетонных смесей

Технологические режимы приготовления асфальтобетонной смеси достаточно исследованы [68-73] для того, чтобы назвать основные оптимальные, несоблюдение которых приводит к снижению качества устраиваемых покрытий.

Приготовление смеси состоит из ряда операций: высушивания, дозирования, перемешивания.

Высушивание минеральных составляющих существенно ускоряется при повышении температуры до 180-220 °С. Однако чтобы не допустить пережога битума, максимальная температура нагрева материала принимается лишь на 10° выше рабочей температуры битума и с учетом запаса температуры на возможное охлаждение в бункерах.

Продолжительность высушивания зависит от влажности и состава смеси. Удельная поверхность и влажность песка и щебня различны. Песок может иметь влажность до 10%, а щебень 2-2,5%. Разнозернистость, необходимая для создания плотной минеральной части, является нежелательной с точки зрения скорости и экономичности совместного высушивания [68].

Мелкая составляющая смеси, заполняя поры между более крупными зернами, создает своего рода экран, препятствующий доступу потока тепла к поверхности более крупных зерен, и затрудняет свободный отвод испаряющейся влаги. Разновременность высыхания и нагревания зерен разного диаметра создает возможность многократного образования конденсата влаги и его подогрев. Это можно устранить применением отдельной сушки песка и щебня [69].

Недостаточно высушенные и нагретые минеральные материалы плохо обрабатываются битумом, часть влаги блокируется пленкой битума в порах, чем создается препятствие для получения достаточно плотного водонепроницаемого покрытия. При влажности минерального материала около 1 % прочность асфальтобетона после водонасыщения снижается на 15%, а при 3% -на 40- 45%. При влажности

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

смесей в 1,5% качество асфальтобетоне по всем основным показателям ухудшается вдвое.

Точность дозирования составляющих является одним из основных условий получения заданного состава асфальтобетона [70]. В настоящее время этому требованию наиболее полно соответствует весовое дозирование высушенных материалов при циклическом и непрерывном способе приготовления смеси. Особое внимание должно уделяться дозированию минерального порошка и битума. Любое нарушение дозирования составляющих влечет снижение качества асфальтобетона. Перемешивание составляющих производится при высокой температуре, продолжительность его зависит от конструкции мешалки, типа состава смеси, порядка введения составляющих в мешалку [71-72]. Температура битума должна соответствовать данной марке и наличию введенных активных добавок: для вязкого - 150-160° или 115-140° с добавками, а для жидкого - 90-120° или 70-95° с добавками. Превышение температурного режима приводит к пережогу смеси.

Время перемешивания определяет качество обработки минеральных материалов битумом при соблюдении всех остальных условий технологии. Однако излишнее время перемешивания смеси снижает производительность установки, поэтому необходимо устанавливать оптимально необходимое время в каждом конкретном случае.

Сокращение времени перемешивания против оптимального приводит к потере прочности из-за неполной обработки поверхности и увеличению водонасыщения [71].

На время перемешивания влияет порядок загрузки составляющих. Если вначале обрабатывать щебень и песок, а затем загружать минеральный порошок, то можно достичь полной обработки поверхности песка и щебня (гравия) и значительно сократить время перемешивания [72-73].

При такой технологии минеральный порошок лучше выполняет свое основное назначение, тогда как при введении его до битума он препятствует доступу битума к поверхности песка и щебня. Связывая своей огромной поверхностью зна-

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

чительную часть битума, он существенно ухудшает условия смачивания и растекания по поверхности щебня и песка.

Несмотря на широкий размах научных исследований полимербетонов вопросы их технологии в настоящее время еще недостаточно разработаны. Объясняется это тем, что основные усилия исследователей были направлены на изучение физико-механических и физико-химических свойств и способов их улучшения. Вследствие ограниченного применения полимербетонов в строительстве нет еще необходимого производственного опыта по технологии приготовления, транспортирования, укладки и уплотнения пластбетонов на различных смолах.

Практические рекомендации по технологии полимербетонов, изложенные в ряде работ [74-80], получены на основе теоретических и экспериментальных исследований и требуют широкой проверки и уточнения в производственных условиях. Эти рекомендации в большинстве своем основываются на том, что в технологии полимербетона и цементобетона много общего и что для приготовления, укладки и уплотнения пластбетона можно использовать существующее оборудование и средства механизации, применяемые в технологии цементобетона, железобетона и асфальтобетона. Такой подход к технологии пластбетонов следует считать приемлемым лишь в начальной стадии их внедрения в строительство, так как при малых объемах работ по приготовлению и укладке пластбетона может быть экономически не оправдано создание специальных смесительных установок, виброплощадок, пневмоаппаратов для нанесения пластбетона на различные основания и другого оборудования. Но тенденция такова, что пластбетоны на различных полимерных вяжущих материалах с каждым годом все чаще применяются в строительстве, в том числе дорожном, поэтому весьма актуальной задачей становится научная разработка технологии пластбетонов и создание специального технологического оборудования.

Особенности технологии приготовления полимербетонов на терморезактивных смолах, в сравнении с технологией цементобетона, обусловлены следующим [75-77]:

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

1. Физико-механические и физико-химические свойства пластбетонов, как показано выше, в большой мере зависят от вида и количества смолы и отвердителей, вида, химической природы и качества минеральных заполнителей и наполнителей. Поэтому предъявляются более повышенные требования к составу и качеству исходных материалов, точности их дозировки и соблюдения технологического режима приготовления смеси. Минеральные заполнители и наполнители не должны содержать вредных органических или минеральных примесей, поэтому в необходимых случаях заполнители нужно промывать в воде или специальных растворах. Наиболее плотные смеси заполнителей, обеспечивающие наименьший расход полимерного вяжущего, подбирают по принципу прерывистой гранулометрии, поэтому заполнитель необходимо тщательно фракционировать и дозировать.

2. Для приготовления пластбетонов необходимо применять сухие минеральные заполнители (песок, щебень) и наполнители, так как применение заполнителей с влажностью более 0,5% значительно снижает прочность пластбетонов на всех терморезактивных смолах. Поэтому появляется дополнительная и трудоемкая технологическая операция - сушка заполнителей.

3. Пластбетонные смеси на терморезактивных смолах имеют более высокую вязкость в сравнении с цементобетонными смесями, поэтому для их приготовления должны применяться лопастные бетономешалки принудительного действия (типа С-371 или С-376) или специальные смесители. Вследствие сравнительно высокой вязкости терморезактивных смол и необходимости получения однородной смеси с равномерным распределением в ней минерального наполнителя и полимерного вяжущего требуется большее время перемешивания смеси по сравнению с цементобетонными смесями, общий цикл перемешивания в бетономешалке принудительного действия занимает 10-15 мин, что значительно снижает производительность смесительной установки.

4. Полимерные вяжущие на терморезактивных смолах обладают большой липкостью, поэтому требуется принимать специальные меры для предотвращения прилипания смолы и пластбетонной смеси к стенкам смесительного барабана и лопастями и периодически очищать их. Имеется положительный опыт

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

применения кремнийорганических жидкостей для периодического смачивания внутренней поверхности смесительного барабана и лопастей, чтобы предотвратить прилипание пластбетонной смеси. Для очистки бетономешалки от остатков предыдущего замеса рекомендуется вначале загружать его щебнем и вращать 3-4 мин, а затем загружать остальные компоненты смеси [78].

5. Большинство синтетических смол содержат мономеры (стирол, фурфурол и др.), вызывающие при вдыхании раздражение слизистых оболочек. Полиэфирные и эпоксидные смолы могут вызывать поражение кожи и слизистых оболочек глаза. Инициатор отверждения полиэфирных смол - гипериз и особенно его смесь с отвердителями НК (нафтенат кобальта) - взрывоопасны. Отвердители эпоксидных смол - амины могут вызывать поражение кожи. Поэтому при работе со смолами и их отвердителями, при всех технологических операциях по приготовлению, транспортированию и укладке пластбетона на термореактивных смолах необходимо строго соблюдать правила техники безопасности и противопожарную защиту.

Также требуется соблюдать правила транспортирования и хранения термореактивных смол и отвердителей [79].

Из изложенного следует, что приготовление пластбетонных смесей является, по существу, не столько строительным, сколько химическим процессом, требующим точной дозировки компонентов, строгой очередности загрузки компонентов в смесительную установку и соблюдения технологического режима приготовления смеси, непрерывного контроля за качеством исходных материалов и готовой смеси, строгого соблюдения правил безопасности и высокой культуры труда.

Процесс приготовления пластбетонной смеси складывается из сушки и дозирования фракционированных минеральных заполнителей, приготовления полимерного вяжущего, дозирования наполнителя и полимерного вяжущего и тщательного перемешивания всех компонентов смеси в смесительной установке. Сушка щебня и песка при их влажности более 0,5% осуществляется горячим воздухом в сушильных установках.

Дозирование минеральных заполнителей и порошка (наполнителя) производится весовыми дозаторами, а смолы и отвердители - мерными емкостями.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

В технологии приготовления пластбетонных смесей на различных терморективных смолах имеются свои особенности в части, касающейся порядка приготовления полимерного вяжущего и введения его в смесь.

Отличительной особенностью технологии приготовления полимербетонной смеси на полиэфирных смолах является предварительное приготовление полимерного вяжущего путем последовательного смешивания в специальном смесителе полиэфирной смолы сначала с ускорителем твердения НК, а затем с инициатором твердения. Как указывалось выше, смесь нафтаната кобальта и гипериза взрывоопасна, поэтому ни в коем случае нельзя их смешивать между собой или одновременно вводить в полиэфирную смолу. Общая длительность цикла перемешивания при приготовлении крупнозернистой полимербетонной смеси на полиэфирных смолах составляет 9-12, мелкозернистой (песчаной) смеси достигает 7- 9 мин и почти не отличается от технологии приготовления полиэфирных смесей [79-80].

Отличие состоит в более простом приготовлении полимерного вяжущего, так как по условиям охраны труда допускается одновременно введение в эпоксидную смолу отвердителя (полиамины или полиамиды) и модификатора (дибутилфталат, тиокол, полиамидные смолы и др.).

Это сокращает время, необходимое на приготовление полимерного вяжущего материала, но не изменяет общей длительности цикла перемешивания эпоксидной пластбетонной смеси по сравнению с полиэфирной.

Для приготовления полимербетонных смесей на терморективных смолах необходимо иметь оборудование:

- бетономешалки принудительного действия, объем которых выбирается в зависимости от требуемой производительности;
- смесительную установку для приготовления полимерного вяжущего (в случае использования полиэфирных или эпоксидных металлическую емкость с паровой рубашкой и системой трубопроводов для расплавления БСК и подачи ее в бетономешалку (в случае применения фурановой смолы ФА, ФАМ);

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

- металлические емкости и систему трубопроводов для подачи смолы и отвердителей в смесительную установку и полимерного вяжущего в бетономешалку;

- дозаторы, весы и мерную посуду для дозировки компонентов;

- приборы для определения влажности заполнителей, вязкости смолы, подвижности и температуры смеси.

Как указывалось выше, для приготовления пластбетонных смесей необходимо создавать специальные смесительные установки и другое оборудование с учетом специфичности свойств полимерных вяжущих и пластбетонных смесей и обеспечивающих высокую производительность, необходимые санитарно-гигиенические условия рабочих и охрану труда [80].

Контроль качества пластбетона должен производиться на всех стадиях технологического процесса приготовления смеси, ее укладки, уплотнения и твердения. При приготовлении полимербетонной смеси необходимо систематически проверять свойства и качество всех ее компонентов: вязкость и правильность дозировки смолы, влажность, гранулометрический состав и объемную массу заполнителей, тонкость помола и влажность минерального наполнителя, правильность дозировки всех составляющих, подвижность и жесткость смеси.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

6 Технико-экономическое обоснование результатов работы

В данной работе рассматривается возможность использования модифицированного органического вяжущего № 26 для производства асфальтобетона на его основе. Цель данного раздела показать экономическую целесообразность предложенной разработки.

Экономическая целесообразность использования этого материала обуславливается более низкими затратами на производство за счёт невысокой стоимости добавки № 26. Использование битума с добавкой № 26 на 40 % повышает пределы прочности при сжатии, повышает качество получаемой асфальтобетонной смеси, а следовательно и дорожного покрытия.

В таблице А.1, А.2, А.3 приложения А указаны расчеты стоимости на приготовление соответственно битума без добавок, композиции № 13 и композиции № 26. В таблицах А.4, А.5 и А.6 приводится расчет стоимости 100 тонн асфальтобетона типа Б 2 марки на битуме и модифицированных вяжущих. В таблице 6.1 представлена стоимость дорожной одежды, в качестве верхнего слоя покрытия используется асфальтобетон типа Б. Во всех расчетах стоимость указана в ценах 2001 года, для перевода в цены 2018 года необходимо перемножить результаты сметного расчета на коэффициент 6,05.

Итоговые расценки на приготовление 1 тонны асфальтобетона типа Б на битуме БНД 60/90, композиции № 13 и № 26 в ценах 2018 года сведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Стоимость асфальтобетона на исследуемых битумах

Материал	Количество, тонн	Стоимость, руб.
1	2	3
Асфальтобетон на битуме БНД 60/90	100	207019,51
Асфальтобетон с применением композиции № 13	100	445348,12

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3
Асфальтобетон с применением композиции № 26	100	420832,19

Как видно из таблицы 6.1 сметная стоимость 1 тонны асфальтобетона на битуме, модифицированном добавкой № 26 снизилась на 24515,9 рублей по сравнению с асфальтобетоном на композиционном вяжущем № 13.

Стоимость устройства дорожной одежды на 1000 м² с применением в верхнем слое покрытия асфальтобетона типа Б на битуме БНД 60/90, с композицией № 13 и № 26 в ценах 2015 года показаны в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Стоимость устройства дорожной одежды

Конструкция дорожной одежды	Единицы, м ²	Стоимость, руб.
Верхний слой – асфальтобетон на битуме БНД 60/90	1000	2458369,66
Верхний слой – асфальтобетон с применением композиции № 13	1000	2827125,12
Верхний слой – асфальтобетон с применением композиции № 26	1000	2532120,75

Результаты расчета приведенные в таблице показывают, что применение в верхнем слое асфальтобетона на битуме, модифицированном добавкой № 26 удешевляют устройство 1000 м² дорожной одежды на 259004,37 рублей по

отношению к дорожной одежде с применением в верхнем слое асфальтобетона на композиции № 13.

Таким образом, установлено, что применение в верхнем слое дорожной одежды асфальтобетона типа Б, на битуме с композицией № 26 обеспечивает экономическое преимущество по сравнению с асфальтобетонами на композиции № 13, хотя данные смеси стоят на много дороже смеси с исходным битумом, они способствуют увеличению физико-механических свойств покрытия, а также увеличению межремонтных сроков и затрат на эксплуатацию покрытия.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Общие выводы

1. При введении пластификатора в битум происходит снижение его вязкости, растяжимости и температуры хрупкости. Причем, наибольшей разжижающей способностью обладает индустриальное масло, а минимальная температура хрупкости наблюдалась при его использовании в количестве 8%. Максимальная температура размягчения и интервал пластичности органического вяжущего достигается при введении 3 % масла Т в исходный битум. Применение стеариновой кислоты в качестве пластификатора является менее целесообразным, т.к. ее введение привело к получению органического вяжущего обладающего минимальной температурой размягчения, растяжимости при +25 °С и максимальной температуры хрупкости.

2. Введение различных полимеров в состав исходного битума снижает его вязкость, растяжимость и температуру хрупкости. При этом наибольшей разжижающей способностью и минимальной температурой хрупкости обладает органическое вяжущее, в состав которого вводили эпоксидную смолу в количестве 2 %. Минимальной температурой размягчения и интервалом пластичности, а также эластичностью обладает битум, модифицированный ДСТ в количестве 4 %.

3. Минимальной вязкостью обладает композиция с использованием масла Т и эпоксидной смолы в количестве 8 и 2 % соответственно, а также масла Т и ДСТ при их введении – 8,5 и 3,5 % соответственно. Наибольшей температурой размягчения обладают композиции, включающие в качестве полимеров ДСТ (от 4 до 6 %) и эпоксидную смолу в количестве 2 %, а пластификаторов - стеариновую кислоту (3 %) и индустриальное масло в количестве (3-6 %). Наибольшая температура хрупкости наблюдается при введении в качестве полимера эпоксидной смолы, а максимальной эластичностью обладает вяжущее при использовании И-20 в количестве 5 – 6 % и ДСТ – от 3,5 до 4 %.

4. Введение стеариновой кислоты оказывает значительное влияние на вязкость и температуру хрупкости органического вяжущего, существенно снижая оба показателя. На температуру размягчения композиционного вяжущего наибольшее

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

влияние оказывает количество ДСТ в составе исходного битума, а на показатель эластичности органического вяжущего положительное влияние оказывает ДСТ в количестве до 4 %, дальнейшее увеличение которого способствует снижению данного показателя. Однако негативное влияние увеличения его количества можно компенсировать за счет дополнительного введения стеариновой кислоты.

5. Увеличение количества индустриального масла в комплексе с полимером ДСТ способствует росту эластичности образцов асфальтовяжущего, а использование масла Т придает композиту «минеральный порошок – ПБВ» более высокую температурную устойчивость и эластичность. Значительное увеличение количества полимера ДСТ до 8 % в сочетании с эпоксидной смолой в составе исходного битума не способствует росту эластичности. Однако дополнительное введение стеариновой кислоты придает модифицированному битуму в комплексе с минеральным порошком высокую эластичность, значение которой достигают 63 %.

6. Введение композиции № 26 привело к существенному увеличению предела прочности при сжатии и сдвигоустойчивости, что связано с более высокой температурой размягчения данного состава, по сравнению с исходным битумом. Увеличение трещиностойкости связано с более низкой температурой хрупкости композиции, а существенное снижение водонасыщения связано с наличием в органическом вяжущем стеариновой кислоты.

7. Введение в асфальтобетонную смесь в качестве органического вяжущего композиции № 13, т.е. состава близкого к традиционному ПБВ, привело к значительному росту предела прочности при 50 °С, а также к небольшому увеличению сдвигоустойчивости асфальтобетонных образцов. Более того, у данного асфальтобетона наблюдается разное снижение водостойкости и увеличение водонасыщения, значения которого соответствуют минимальной границе предельно допустимых. Скорее всего, это связано с высоким показателем стекания органического вяжущего.

Таким образом, образцы, приготовленные с применением композиций №13 и 26, демонстрируют более плавное образование колеи, так при 20000 проходов колеса, глубина колеи составила 14,4 и 9 мм соответственно. Введение в состав

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

щебеночно-мастичного асфальтобетона комплексного вяжущего № 26 без стабилизирующей добавки приводит к получению композита, обладающего высокими физико-механическими характеристиками, в частности деформативными, как при высоких так и низких температурах, сопоставленных с различными традиционными ЩМА на основе дорогостоящего импортного стабилизатора Viator-66.

.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2020 года / Министерство транспорта Российской Федерации. - Москва, 2005. - 78 с.
2. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. - Введ. 01.11.2014. - М: Госстрой России, 2014.- 19 с.
3. Румянцев, А.Н. Структурированный асфальтобетон – новое дорожное покрытие / А.Н. Румянцев, А.А. Наненков, А.А. Ломов [и др.] // Ярославский государственный технологический университет.- 2013.- № 2.- С. 23-35.
4. Кирюхин, Г.И. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытания: Обзорная информация. - М: Информавтодор.- 2005.- Вып. № 6.- 103 с.
5. Готовцев, В.М. Принципы формирования оптимальной структуры асфальтобетона / В.М. Готовцев, А.Г. Шатунов, А.Н. Румянцев [и др.] // ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет».- 2012.- № 11-1.- С. 124-128.
6. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия.- Введ. 01.01.1991.- М: Государственный стандарт союза ССР, 1991.- 7 с.
7. Руководство по строительству дорожных асфальтобетонных покрытий. СоюздорНИИ. М.: 1978 – 195 с.
8. ГОСТ 11955-82. Битумы нефтяные дорожные жидкие. Технические условия.- Введ. 01.01.1984.- М: Государственный стандарт союза ССР, 1984.- 5 с.
9. Куликова, А.В. Реологические свойства дорожного битума с добавками для теплого асфальтобетона / А.В. Куликова, А.Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция.- 2013.- № 2 (46).- С. 104-111.
10. Щепетева, Л.С. Применение модифицированных битумов производства ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» в дорожном строительстве Пермского края / Л.С. Щепетева, А.В. Березин, И.В. Овчаров [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе.- 2010.- № 6.- С. 54-57.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

11. Радзишевский, П. Свойства асфальтобетона на битумно-резиновом вяжущем / П. Радзишевский // Наука и техника в дорожной отрасли.- 2007.- № 3.- С. 38-41.

12. Ярмолинская, Н.И. Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности.- Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007.- 337 с.

13. Старшов, М.И. Научно-методические и технологические основы применения комбинированного способа разработки месторождений природных битумов республики Татарстан / М.И. Старшов, И.М. Старшов, М.В. Залитова, А.Ю. Дмитриева // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - Т. 18. - № 5. - С. 224-228.

14. Василевская, Г.В. Сероасфальтобетон / Г.В. Василевская, Д.Р. Назиров // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии.- 2011.- Т. 4.- № 6.- С. 696-703.

15. Броницкий, Е.И. Использование щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при капитальном ремонте участков автомобильной дороги Москва/ Е.И. Броницкий, Ю.А. Гуменюк, А.В. Комиков // Новости в дор. деле: Науч.-техн. информ. сб.- М.: 2003.- С. 22-32.

16. Корнилов, А.М. Экономико-математическое моделирование рециклинга твердых бытовых отходов и использование вторичного материального сырья / А.М. Корнилов, К.Т. Пазюк // Вестник Тихоокеанского государственного университета.- 2008.- № 2.- С. 69-80.

17. Буров, В.В. Технологии литого асфальтобетона и оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог / В.В Буров, В.В. Вовко, Т.К. Акчурин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.- 2011.- № 25.- С. 105-109.

18. Куприянов, Р.В. Применение щебеночно-мастичного асфальтобетона при строительстве автомобильных дорог тамбовской области / Р.В. Куприянов,

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

А.Ф. Зубков // Известия Юго-Западного государственного университета.- 2011.- № 5-2 (38).- С. 396а-399.

19. Актанов, С.К. Исследование фрикционных качеств каменных материалов / С.К. Актанов // Наука и техника в дорожной отрасли.- 2014.- №1 (67).- С. 33.

20. Пособие Строительство и ремонт дорожных асфальтобетонных покрытий. Учебное пособие. Закрытое акционерное общество «АСФАЛЬТТЕХМАШ» Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет).- Белгород.- 2007.- 98 с.

21. ГОСТ 3344-83. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия [Текст].- Введ. 01.01.1985.- М: Государственный стандарт союза ССР, 1985.- 9 с.

22. Полякова, С.В. К вопросу о выборе щебня для асфальтобетонных смесей / С. В. Полякова // Дороги и мосты: сб. трудов.- 2014.- №1.- С. 287-302.

23. ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия [Текст].- Введ. 01.07.1995.- М: Минстрой России, 1995.- 8 с.

24. ГОСТ Р 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия [Текст].- Введ. 27.06.2003.- М: Гсстрой России, 2003.- 26 с.

25. Соломенцев, А.Б. Сравнительная оценка некоторых свойств дорожного битума с различными полимерными добавками и асфальтовяжущего на его основе / А.Б. Соломенцев, А.В. Куликова, С.В. Бухтияров // Строительство и реконструкция.- 2014.- № 2.- С. 69-78.

26. Ярмолинская, Н.И. Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности: Учеб. Пособие / Н.И. Ярмолинская // Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. ун-та, 2002. -103 с.

27. Надыкто, Г.И. Структура и свойства асфальтовых вяжущих на основе минеральных порошков различной природы / Г.И. Надыкто, В.Д. Галдина, В.С. Прокопец // Строительные материалы.- 2010. -№ 5. -С. 32-35.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

28. Гохман, Л.М. Требования к дорожным органическим вяжущим материалам и смесям на их основе / Л.М. Гохман // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. - 2006. - № 34-35. - С. 149-151.

29 Быстров, Н.В. Методы испытаний дорожных битумов / Н.В. Быстров // М.: Авторская книга, 2012.

30 Гохман, Л.М. Расчет состава полимерно-битумного вяжущего / Л.М. Гохман // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 4. – С. 33–34.

31. Золотарев, В.А. Органические вяжущие и бетоны на их основе / В.А. Золотарев // Автомобильные дороги. - 2008. - № 3. - С. 84-87.

32. Леонович, И.И Обеспечение стабильности свойств битумов в асфальтобетоне / И.И Леонович, К.Ф. Шумчик, Я.В. Колоскова // Автомобильные дороги.- 2001.- №4.- С. 15-16.

33.Глазырин, А.Б. Влияние 1,2-полибутадиенов на свойства асфальтобетонных смесей / А.Б. Глазырин, М.И. Абдулин, Н.А. Кочков [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли.- 2009.- № 2.- С. 31-34.

34. Ромасюк, Е.А. Усталостная долговечность модифицированных асфальтобетонов при динамическом нагружении / Е.А. Ромасюк, В.И. Братчун, М.К. Пактер, А.А. Стукалов // Современное промышленное и гражданское строительство. - 2015. - Т. 11. - № 1. - С. 15-25.

35. Смолякова, К.Р. Модифицирование полимерами нефтяных дорожных битумов / К.Р. Смолякова. А.И. Бердимухамедова // Южно-Уральский государственный университет. Статья в сборнике трудов конференции.- 2013.- С. 105-108.

36. Сартаков, А.А. Расчет пластических деформаций асфальтобетонных дорожных покрытий / А.А. Сартаков // Вестник магистратуры. - 2016. - № 5-2 (56). - С. 37-38.

37. Калгин, Ю.И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов / Ю.И. Калгин.- Изд-во: Воронеж. гос. ун-та, 2006.- 272 с.

38. Александрова, Н.П. Особенности расчета асфальтобетонных покрытий по сопротивлению сдвигу с учетом накапливания повреждений / Н.П.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Александрова, В.В. Чусов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. - 2016. - № 3 (49). - С. 42-50.

39. Чусов, В.В. Применение теории накапливания повреждений в условиях пластичности асфальто-бетона для расчета дорожных покрытий по сопротивлению сдвигу / В.В. Чусов // Молодой ученый. - 2016. - № 6 (110). - С. 221-227.

40. Гохман, Л.М. Влияние эластичности вяжущих на усталостную прочность полимерасфальтобетона / Л.М. Гохман, О.В. Гавриленко // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2011. - № 4. - С. 21-24.

41. Углова, Е.В. Длительная трещиностойкость асфальтобетона дорожных покрытий / Е.В. Углова, Б.В. Бессчетнов // Вестник Волгогр. гос. архит-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит.- 2011.- Вып. 23(42).- С. 103-109.

42. Толмачев, О.В. Использование кривых Велера для прогнозирования трещиностойкости и долговечности армированного асфальтобетона / О.В. Толмачев, Н.С. Ковалев // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура.- Волгоград.- 2007.- № 7.- С. 148-154.

43. Строкин, А.С. Повышение сдвигоустойчивости дорожных покрытий путем применения асфальтобетона каркасной структуры на основе модифицированных битумов / А.С. Строкин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура.- Воронеж.- 2008.- № 2.- С. 134-139.

44. Котлярский, Э.В. Долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий и факторы, способствующие разрушению структуры асфальтобетона в процессе эксплуатации / Э. В. Котлярский, О. А. Воейко // Московский автомобильно-дорожный ин-т (Гос. технический ун-т).- М.- 2007.

45. Гордеев, С.О. Деформации и повреждения дорожных асфальтобетонных покрытий / С.О. Гордеев // Министерство коммунального хозяйства РСФСР. – М., 1963. – 132 с.

46. ОДН 218.046-01. Отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд.- М.: Росавтодор, 2001.- 54 с.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

47. Трофимов, И.Н. Сдвигоустойчивость асфальтобетона / И.Н. Трофимов, А.И. Кудряков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.- Томск.- 2008.- №4.- С. 131-138.

48. Кирюхин, Г. Н. Сдвигоустойчивость щебеночно-мастичного асфальтобетона. / Г.Н. Кирюхин // Автомобильные дороги.- 2007.- № 7.- с.13 – 17.

49. Строкин, А.С. Влияние синтетических каучуков и полимерных адгезионных добавок на структурно-реологические свойства асфальтобетона и сдвигоустойчивость дорожных покрытий / А.С. Строкин, Ю.И. Калгин, В.А. Козлов // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура.- 2009.- № 2.- С. 99-105.

50. Николенко, М.А. Повышение длительной трещиностойкости асфальтобетона дорожных покрытий / М.А Николенко, Б.В. Бессчетнов // Инженерный вестник Дона.- Ростов-на-Дону.- 2012.- № 20.- С. 665-671.

51. Гохман, Л.М. Полимерно-битумные вяжущие на основе СБС для дорожного строительства/ Л.М. Гохман, Е.М. Гурарий, А.Р. Давыдова [и др.] // М.: Инфрмавтодор, 2002.- Вып. 4.- 112 с.

52. Калгин, Ю.И. Экономическая целесообразность применения модифицированных битумов при устройстве верхних слоев асфальтобетонных покрытий / Ю.И. Калгин // Дороги России XXI века.- 2002.- № 3.- С. 69–71.

53. Галдина, В.Д. Влияние полимерных добавок на свойства битума и асфальтобетона / В.Д. Галдина // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии.- 2009.- № 12.- С. 32-36.

54. Бабак, О.Г. Применение модифицированных вяжущих в дорожном строительстве / О.Г. Бабак, Г.Б. Старков // Дорожная техника и технологии.- 2001.- № 5.- С. 72-75.

55 Илиополов, С.К. Повышение температурной стойкости асфальтобетонов путем использования резино-полимерной добавки / С.К. Илиополов, Р.М. Черсков, И.В. Мардиросова // Вестник ХНАДУ.- Харьков.- 2006.- № 34-35.- С. 130-132.

56. Черсков, Р.М. Применение каучуко-полиолефинового модификатора (кпм) как способ повышения сдвиго- и трещиностойкости асфальтобетонов / Р.М.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Ческов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.- Волгоград.- 2009.- № 13.- С. 100-104.

57. ГОСТ 20799-88. Масла индустриальные. Технические условия.- Введ. 01.01.1990.- М.: Министерство нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР, 1990.- 5с.

58. ГОСТ 6484-96. Кислота стеариновая техническая (стеарин). Технические условия.- Введ. 01.01.1997.- М.: Госстандарт России, 1997.- 16 с.

59. ГОСТ 10587-84. Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия.- Введ. 01.01.1985.- М.: Министерством химической промышленности СССР, 1985.- 21 с.

60. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия [Текст].- Введ. 01.01.1995.- М: Госстрой России, 1995.- 18 с.

61. ГОСТ 31424-2010. Материалы строительные нерудные из отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия.- Введ. 01.07.2011.- М.: ФГУП "ВНИПИИстромсырье", 2011.- 21 с.

62. ГОСТ Р 52056-2003. Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол. Технические условия [Текст].- Введ. 01.01.2004.- М: Госстандарт России, 2004.- 8 с.

63. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний.- Введ. 01.01.1991.- М.: Госстрой России, 1991.- 18 с.

64. Харес, Ш.М. Нефтяные дорожные битумы. Нормативы, качество, технологии, перспективы/ Ш.М. Харес, Ю.А. Кутьин, Э.Г. Теляшев// Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело».- 2012.- № 6.- с. 58-61.

64. Нехорошева, А.В. Научные основы методов и средств безопасной утилизации отходов производства изотактического полипропилена: автореф. дис. ... докт. техн. Наук/ А.В. Нехорошева.- С-Пб.— 2009

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

В.А. Воробьев, Д.Н. Суворов, Э.В. Котлярский, В.И. Доценко, В.А. Попов. – М.: Изд-во Российской инженерной академии, 2008. – 608 с.

74. Христофорова, И.А. Полимербетоны на основе термопластов / И.А. Христофорова // Строительные материалы. - 2005. - № 4. - С. 56-57.

75. Романов, С.И. Характеристика поверхности дорожного покрытия в зависимости от типа асфальтобетона / С.И. Романов, А.Ю. Стадник // В сборнике: Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов материалы VI Международной научно-технической конференции. Редколлегия: С.Ю. Калашников, А.Н. Богомолов, В.А. Пшеничкина, О.В. Бурлаченко, Т.К. Акчурин, А.В. Жиделёв. - 2011. - С. 277-280.

76. Селяев, В.П. Полимербетоны / В.П. Селяев, Ю.Г. Иващенко, Т.А. Низина. – Изд-во: Саранск, 2016. – 284 с.

77. Бабаевский, П. Г. Формирование структуры отверждающихся композиций/П. Г. Бабаевский, С. В. Бухаров. - М.: МАТИ, 1993. -122с.

78. Синергетика композиционных материалов / А. Н. Бобрышев, В. Н. Козомазов, Л. О. Бабин, В. И. Соломатов; под ред. В. И. Соломатова. - Липецк: НПО Ориус, 1994. -153с.

79. Соломатов, В. И. Каркасная технология для изготовления эффективных строительных материалов и изделий / В. И. Соломатов, В. Т. Ерофеев // БСТ, 1999. -№ 10. -С. 12-14.

80. Воронков, Л. Ю. Самоорганизация структуры фурановых полимерных композиций: Дис. на соискание уч. степени канд. тех. наук / Л. Ю. Воронков. - Саратов: Саратовский государственный тех. ун-т, 1994. -168с.

						<i>ВКР-16.08.03.01(09).887</i>	Лист
Изм	Кол.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		

Приложение А

Расценки на приготовление битума и асфальтобетона

Таблица А.1 – Расценка на приготовление 1 тонн битума БНД 60/90 без добавки

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на единицу	всего
				оплаты труда	в т.ч. оплаты труда				в т.ч. оплаты труда			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-10-001-01	Приготовление битума без введения добавок в котлах емкостью 15000 л: вязкого (1 т битума и битумных эмульсий)	1	1935,41 8,52	121,49 8,58	1805,4	1935,41	8,52	121,49 8,58	1805,4	0,95	0,95
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							1935,41	8,52	121,49 8,58	1805,4		0,95
Накладные расходы							11,29					
Сметная прибыль							11,12					
Итого по смете:												
Изготовление в построечных условиях материалов и полуфабрикатов, металлических и трубопроводных заготовок							1957,82					0,95
Итого							1957,82					0,95
В том числе:												
Материалы							1805,4					
Машины и механизмы							121,49					
ФОТ							17,1					
Накладные расходы							11,29					
Сметная прибыль							11,12					
Временные 1,8%							35,24					
Итого							1993,06					
Непредвиденные затраты 2%							39,86					
ВСЕГО по смете							2032,92					

Таблица А.2 – Расценка на приготовление 100 тонн битума БНД 60/90 с добавкой №1

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на единицу	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-10-003-01	Приготовление полимерно-битумного вяжущего: на основе добавки №1 (100 т)	1	206499,75 1041,91	10861,53 623,62	194596,31	206499,75	1041,91	10861,53 623,62	194596,31	117,73	117,73
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							206499,75	1041,91	10861,53 623,62	194596,31		117,73
Накладные расходы							1099,25					
Сметная прибыль							1082,59					
Итого по смете:												
Изготовление в построечных условиях материалов и полуфабрикатов,металлических и трубопроводных заготовок							208681,59					117,73
Итого							208681,59					117,73
В том числе:												
Материалы							194596,31					
Машины и механизмы							10861,53					
ФОТ							1665,53					
Накладные расходы							1099,25					
Сметная прибыль							1082,59					
Временные 1,8%							3756,27					
Итого							212437,86					
Непредвиденные затраты 2%							4248,76					
ВСЕГО по смете							216686,62					

Таблица А.3 – Расценка на приготовление 100 тонн битума БНД 60/90 с добавкой «ДСТ»

№ пп	Шифр и номер позиции норма- тива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслужи- ванием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на еди- ницу	всего
				оплаты труда	в т.ч. оплаты труда				в т.ч. оплаты труда			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-10-003-01	Приготовление полимерно-битумного вяжущего: на основе дивинилстирольного термоэластопласта (100 т)	1	391667 1041,91	10861,53 623,62	379763,56	391667	1041,91	10861,53 623,62	379763,56	117,73	117,73
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							391667	1041,91	10861,53 623,62	379763,56		117,73
Накладные расходы							1099,25					
Сметная прибыль							1082,59					
Итого по смете:												
Изготовление в построечных условиях материалов и полуфабрикатов, металлических и трубопроводных заготовок							393848,84					117,73
Итого							393848,84					117,73
В том числе:												
Материалы							379763,56					
Машины и механизмы							10861,53					
ФОТ							1665,53					
Накладные расходы							1099,25					
Сметная прибыль							1082,59					
Временные 1,8%							7089,28					
Итого							400938,12					
Непредвиденные затраты 2%							8018,76					
ВСЕГО по смете							408956,88					

Таблица А.4 – Расценка на приготовление 100 тонн асфальтобетона на битуме БНД 60/90 без добавки

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на единицу	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-10-002-03	Приготовление асфальтобетонной смеси для горячей укладки типа Б плотной из фракционного щебня (гравия) с плотностью каменных материалов: 2,5-2,9 т/м3 (100 т)	1	33322,1 201,34	11411,9 39,33	21708,86	33322,1	201,34	11411,9 39,33	21708,86	22,75	22,75
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							33322,1	201,34	11411,90 39,33	21708,86		22,75
Накладные расходы							158,84					
Сметная прибыль							156,44					
Итого по смете:												
Изготовление в построечных условиях материалов и полуфабрикатов,металлических и трубопроводных заготовок							33637,38					22,75
Итого							33637,38					22,75
В том числе:												
Материалы							21708,86					
Машины и механизмы							11411,9					
ФОТ							240,67					
Накладные расходы							158,84					
Сметная прибыль							156,44					
Временные 1,8%							605,47					
Итого							34242,85					
Непредвиденные затраты 2%							684,86					
ВСЕГО по смете							34927,71					

Таблица А.5 – Расценка на приготовление 100 тонн асфальтобетона на битуме БНД 60/90 с добавкой №1

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на единицу	всего
				оплаты труда	в т.ч. оплаты труда				в т.ч. оплаты труда			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-10-002-03	Приготовление асфальтобетонной смеси для горячей укладки типа Б плотной из фракционного щебня (гравия) с плотностью каменных материалов: 2,5-2,9 т/м3 (100 т)	1	34115,02 201,34	11411,9 39,33	22501,78	34115,02	201,34	11411,9 39,33	22501,78	22,75	22,75
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							34115,02	201,34	11411,90 39,33	22501,78		22,75
Накладные расходы							158,84					
Сметная прибыль							156,44					
Итого по смете:												
Изготовление в построечных условиях материалов и полуфабрикатов,металлических и трубопроводных заготовок							34430,3					22,75
Итого							34430,3					22,75
В том числе:												
Материалы							22501,78					
Машины и механизмы							11411,9					
ФОТ							240,67					
Накладные расходы							158,84					
Сметная прибыль							156,44					
Временные 1,8%							619,75					
Итого							35050,05					
Непредвиденные затраты 2%							701					
ВСЕГО по смете							35751,05					

Таблица А.6 – Расценка на приготовление 100 тонн асфальтобетона на битуме БНД 60/90 с добавкой «ДСТ»

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на единицу	всего
				оплаты труда	в т.ч. оплаты труда				в т.ч. оплаты труда			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-10-002-03	Приготовление асфальтобетонной смеси для горячей укладки типа Б плотной из фракционного щебня (гравия) с плотностью каменных материалов: 2,5-2,9 т/м ³ (100 т)	1	45497,46 201,34	11411,9 39,33	33884,22	45497,46	201,34	11411,9 39,33	33884,22	22,75	22,75
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							45497,46	201,34	11411,90 39,33	33884,22		22,75
Накладные расходы							158,84					
Сметная прибыль							156,44					
Итого по смете:												
Изготовление в построечных условиях материалов и полуфабрикатов, металлических и трубопроводных заготовок							45812,74					22,75
Итого							45812,74					22,75
В том числе:												
Материалы							33884,22					
Машины и механизмы							11411,9					
ФОТ							240,67					
Накладные расходы							158,84					
Сметная прибыль							156,44					
Временные 1,8%							824,63					
Итого							46637,37					
Непредвиденные затраты 2%							932,75					
ВСЕГО по смете							47570,12					

Таблица А.7 – Расценка на устройство 1000 м² дорожной одежды, в котором верхний слой покрытия асфальтобетон на битуме БНД 60/90 без добавки

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на единицу	всего
				оплаты труда	в т.ч. оплаты труда				в т.ч. оплаты труда			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-04-001-02	Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований: из песчано-гравийной смеси, дресвы (100 м3 материала основания (в плотном теле))	5,5	2447,69 125,92	2238,69 187,96	83,08	13462,3	692,56	12312,8 1033,78	456,94	15,72	86,46
2	ФЕР27-06-020-06	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей пористых крупнозернистых, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м3 (1000 м2 покрытия)	1	44590,84 368,45	2380,13 262,14	41842,26	44590,84	368,45	2380,13 262,14	41842,26	38,3	38,3
3	ФЕР27-06-021-06	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-6 (1000 м2 покрытия)	12	5246,46 0,87	2,92	5242,67	62957,52	10,44	35,04	62912,04	0,09	1,08
4	ФЕР27-06-009-02	Укладка геосетки в асфальтобетонное дорожное покрытие (1000 м2 покрытия)	1	62216,04 139,59	17,25 1,08	62059,2	62216,04	139,59	17,25 1,08	62059,2	15,39	15,39

Продолжение таблицы А.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	ФЕР27-06-020-03	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей плотных крупнозернистых типа АБ, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м ³ (1000 м ² покрытия)	1	52090,55 368,45	2385,75 262,55	49336,35	52090,55	368,45	2385,75 262,55	49336,35	38,3	38,3
6	ФЕР27-06-021-03	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-3 (1000 м ² покрытия)	16	6154,96 0,87	2,92	6151,17	98479,36	13,92	46,72	98418,72	0,09	1,44
7	ФЕР27-06-020-01	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей плотных мелкозернистых типа АБВ, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м ³ (1000 м ² покрытия)	1	36743,08 368,45	2385,75 262,55	33988,88	36743,08	368,45	2385,75 262,55	33988,88	38,3	38,3
7,1	ФЕР27-06-021-01	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-1 (1000 м ² покрытия)	2	6061,06 0,87	3,1	6057,09	12122,12	1,74	6,2	12114,18	0,09	0,18
1							2	3	4	5	6	7
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							382661,81	1963,6	19569,64 1822,10	361128,57		219,45
Накладные расходы							5375,69					
Сметная прибыль							3596,42					
Итого по смете:												
Автомобильные дороги							391633,92					219,45
Итого							391633,92					219,45
В том числе:												
Материалы							361128,57					
Машины и механизмы							19569,64					

Продолжение таблицы А.7

1	2	3	4	5	6	7
ФОТ	3785,7					
Накладные расходы	5375,69					
Сметная прибыль	3596,42					
Временные 1,8%	7049,41					
Итого	398683,33					
Непредвиденные затраты 2%	7973,67					
ВСЕГО по смете	406657					

Таблица А.8 – Расценка на устройство 1000 м² дорожной одежды, в котором верхний слой покрытия асфальтобетон на битуме БНД 60/90 с добавкой №1

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на единицу	всего
				оплаты труда	в т.ч. оплаты труда				в т.ч. оплаты труда			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-04-001-02	Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований: из песчано-гравийной смеси, дресвы (100 м3 материала основания (в плотном теле))	5,5	2447,69 125,92	2238,69 187,96	83,08	13462,3	692,56	12312,8 1033,78	456,94	15,72	86,46
2	ФЕР27-06-020-06	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей пористых крупнозернистых, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м3 (1000 м2 покрытия)	1	44590,84 368,45	2380,13 262,14	41842,26	44590,84	368,45	2380,13 262,14	41842,26	38,3	38,3
3	ФЕР27-06-021-06	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-6 (1000 м2 покрытия)	10	5246,46 0,87	2,92	5242,67	52464,6	8,7	29,2	52426,7	0,09	0,9
4	ФЕР27-06-009-02	Укладка геосетки в асфальтобетонное дорожное покрытие (1000 м2 покрытия)	1	62216,04 139,59	17,25 1,08	62059,2	62216,04	139,59	17,25 1,08	62059,2	15,39	15,39

Продолжение таблицы А.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	ФЕР27-06-020-03	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей плотных крупнозернистых типа АБ, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м ³ (1000 м ² покрытия)	1	52090,55 368,45	2385,75 262,55	49336,35	52090,55	368,45	2385,75 262,55	49336,35	38,3	38,3
6	ФЕР27-06-021-03	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-3 (1000 м ² покрытия)	16	6154,96 0,87	2,92	6151,17	98479,36	13,92	46,72	98418,72	0,09	1,44
7	ФЕР27-06-020-01	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей плотных мелкозернистых типа АБВ, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м ³ (1000 м ² покрытия)	1	37538,11 368,45	2385,75 262,55	34783,91	37538,11	368,45	2385,75 262,55	34783,91	38,3	38,3
8	ФЕР27-06-021-01	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-1 (1000 м ² покрытия)	2	4332,21 0,87	3,1	4328,24	8664,42	1,74	6,2	8656,48	0,09	0,18
1							2	3	4	5	6	7
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							369506,22	1961,86	19563,80 1822,10	347980,56		219,27
Накладные расходы							5373,22					
Сметная прибыль							3594,76					
Итого по смете:												
Автомобильные дороги							378474,2					219,27
Итого							378474,2					219,27
В том числе:												
Материалы							347980,56					
Машины и механизмы							19563,8					

Продолжение таблицы А.8

1	2	3	4	5	6	7
ФОТ	3783,96					
Накладные расходы	5373,22					
Сметная прибыль	3594,76					
Временные 1,8%	6812,54					
Итого	385286,74					
Непредвиденные затраты 2%	7705,73					
ВСЕГО по смете	392992,47					

Таблица А.9 – Расценка на устройство 1000 м² дорожной одежды, в котором верхний слой покрытия асфальтобетон на битуме БНД 60/90 с добавкой «ДСТ»

№ пп	Шифр и номер позиции норматива	Наименование работ и затрат, единица измерения	Количество на ед./ всего	Стоимость единицы, руб.			Общая стоимость, руб.				Затраты труда рабочих, чел.-ч, не занятых обслуживанием машин	
				всего	эксплуатации машин	материалы	Всего	оплаты труда	эксплуатация машин	материалы	на единицу	всего
				оплаты труда	в т.ч. оплаты труда				в т.ч. оплаты труда			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Раздел 1. Новый Раздел												
1	ФЕР27-04-001-02	Устройство подстилающих и выравнивающих слоев оснований: из песчано-гравийной смеси, дресвы (100 м3 материала основания (в плотном теле))	5,5	2447,69 125,92	2238,69 187,96	83,08	13462,3	692,56	12312,8 1033,78	456,94	15,72	86,46
2	ФЕР27-06-020-06	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей пористых крупнозернистых, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м3 (1000 м2 покрытия)	1	44590,84 368,45	2380,13 262,14	41842,26	44590,84	368,45	2380,13 262,14	41842,26	38,3	38,3
3	ФЕР27-06-021-06	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-6 (1000 м2 покрытия)	12	5246,46 0,87	2,92	5242,67	62957,52	10,44	35,04	62912,04	0,09	1,08
4	ФЕР27-06-009-02	Укладка геосетки в асфальтобетонное дорожное покрытие (1000 м2 покрытия)	1	62216,04 139,59	17,25 1,08	62059,2	62216,04	139,59	17,25 1,08	62059,2	15,39	15,39

Продолжение таблицы А.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	ФЕР27-06-020-03	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей плотных крупнозернистых типа АБ, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м3 (1000 м2 покрытия)	1	52090,55 368,45	2385,75 262,55	49336,35	52090,55	368,45	2385,75 262,55	49336,35	38,3	38,3
6	ФЕР27-06-021-03	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-3 (1000 м2 покрытия)	16	6154,96 0,87	2,92	6151,17	98479,36	13,92	46,72	98418,72	0,09	1,44
7	ФЕР27-06-020-01	Устройство покрытия толщиной 4 см из горячих асфальтобетонных смесей плотных мелкозернистых типа АБВ, плотность каменных материалов: 2,5-2,9 т/м3 (1000 м2 покрытия)	1	48955,25 368,45	2385,75 262,55	46201,05	48955,25	368,45	2385,75 262,55	46201,05	38,3	38,3
7,1	ФЕР27-06-021-01	При изменении толщины покрытия на 0,5 см добавлять или исключать: к расценке 27-06-020-1 (1000 м2 покрытия)	2	5762,31 0,87	3,1	5758,34	11524,62	1,74	6,2	11516,68	0,09	0,18
1							2	3	4	5	6	7
Итого прямые затраты по смете в ценах 2001г.							394276,48	1963,6	19569,64 1822,10	372743,24		219,45
Накладные расходы							5375,69					
Сметная прибыль							3596,42					
Итого по смете:												
Автомобильные дороги							403248,59					219,45
Итого							403248,59					219,45
В том числе:												
Материалы							372743,24					
Машины и механизмы							19569,64					

Продолжение таблицы 7.9

1	2	3	4	5	6	7
ФОТ	3785,7					
Накладные расходы	5375,69					
Сметная прибыль	3596,42					
Временные 1,8%	7258,47					
Итого	410507,06					
Непредвиденные затраты 2%	8210,14					
ВСЕГО по смете	418717,2					