

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – УЧЕБНО-НАУЧНО-  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС

На правах рукописи



Баранов Игорь Александрович

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ  
УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО  
АСФАЛЬТОБЕТОНА**

05.23.05– «Строительные материалы и изделия»

**Диссертация**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
кандидат технических наук,  
доцент А. Б. Соломенцев



Орел 2015г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b> .....	2
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	10
1.1. Обзор использования стабилизирующих добавок для ЩМА.....	10
1.2. Анализ использования добавок и задачи исследования.....	14
<b>ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	18
2.1 Применяемые материалы.....	18
2.1.1 Исходные материалы.....	18
2.1.2 Составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей.....	25
2.2 Методы лабораторных и натурных исследований.....	31
2.2.1. Приготовление битума с добавками для испытаний.....	31
2.2.2 Метод определения битумоудерживающей способности добавок по испытаниям в асфальтовяжущем.....	32
2.2.3. Приготовление щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси с добавками для испытаний.....	32
2.2.4 Методика оценки структуры добавок.....	33
2.2.5 Методы определения технологических свойств добавок.....	35
2.3 Метрологическое обеспечение исследований.....	47
<b>ГЛАВА 3. СВОЙСТВА БИТУМА И АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКАМИ</b> .....	39
3.1 Влияние добавок VIATOR66, ANTROCEL, TOPCEL, СД-1, ХРИЗОТОП, УНИРЕМ-001, РТЭП, ВОКСИЛ100 на свойства битума.....	39
3.2 Взаимодействие добавок с битумом.....	45
3.3 Обоснование метода определения битумоудерживающей способности добавок по испытаниям в асфальтовяжущем.....	65
3.4 Оценка битумоудерживающей способности добавок VIATOR 66, ANTROCEL, TOPCEL, СД-1, ХРИЗОТОП, УНИРЕМ-001, РТЭП.....	66

3.5 Оценка битумоудерживающей способности волластонитового минерального порошка ВОКСИЛ 100.....	71
3.6 Оценка битумоудерживающей способности добавок УНИРЕМ-001 + СД-3+АМДОР-10.....	74
3.7 Оценка битумоудерживающей способности добавок РТЭП + VIАТОР 66 + АМДОР-10.....	77
3.8 Взаимодействие добавок с битумом в асфальтовяжущем.....	81
3.9 Выводы по 3 главе.....	83
<b>ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДОБАВОК.....</b>	<b>85</b>
4.1 Определение параметров структуры волокнистых, порошковых и полимерных добавок.....	85
4.2 Влияние параметров микроструктуры добавок на характер их распределения в битуме и ЩМАС.....	97
4.3 Определение технологических свойств добавок.....	98
4.4 Технологические особенности добавок в производственных условиях.....	105
4.5 Выводы по 4 главе.....	106
<b>ГЛАВА 5. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЩМА И ОПЫТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО.....</b>	<b>107</b>
5.1 Физико-механические свойства и показатель стекания ЩМА с добавками VIАТОР 66, СД-1; СД-3; АНТРОСЕЛ, ТОРСЕЛ, ХРИЗОТОП, УНИРЕМ-001, РТЭП.....	107
5.2 Физико-механические свойства и показатель стекания ЩМА с волластонитовым порошком ВОКСИЛ 100.....	110
5.3 Физико-механические свойства и показатель стекания ЩМА с добавками УНИРЕМ-001, СД-3 и АМДОР-10.....	113
5.4 Физико-механические свойства и показатель стекания ЩМА с добавками РТЭП, VIАТОР 66 и АМДОР-10.....	115

5.5 Процессы распределения добавок в ЩМАС при перемешивании и взаимодействии с компонентами смеси.....	117
5.6 Устройство покрытий из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМА-15, ЩМА-10.....	120
5.7 Определение показателей однородности щебеночно-мастичной асфальтобетонной смесей.....	135
5.8 Расчет экономического эффекта применения стабилизирующих добавок.....	137
5.9 Выводы по 5 главе.....	143
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>145</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>148</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>161</b>



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Сохраняющаяся в настоящее время тенденция возрастания интенсивности движения автомобильного транспорта и современные нагрузки на ось транспортных средств в сочетании с неблагоприятными природно-климатическими факторами не позволяют обеспечить долговечность верхних слоев дорожных покрытий.

Одним из наиболее перспективных материалов для повышения качества строительства дорожных покрытий является щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), основными преимуществами которого являются высокая сдвигоустойчивость, высокое значение коэффициента сцепления с колесом автомобиля, высокое сопротивление постоянной деформации, устойчивость к старению и снижение стоимости обслуживания.

Отличием дорожных покрытий на основе щебеночно-мастичного асфальтобетона от других видов асфальтобетона является наличие в его составе стабилизирующих добавок, которые используются для повышения устойчивости щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей к расслаиванию при транспортировании и укладке.

**Степень разработанности.** Данные по стабилизирующим добавкам не систематизированы, нет исследований влияния различных добавок на свойства битума и щебеночно-мастичных смесей. Не всегда обоснованное применение стабилизирующих добавок и не изученность процессов структурообразования в щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при введении стабилизирующих добавок мешает получению ЩМА с высокими показателями свойств и достижению высокого качества дорожного покрытия.

### **Цели и задачи.**

Целью исследования является обоснование применения, повышение эффективности использования и влияния стабилизирующих добавок на физико-механические свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

1. Разработать классификацию стабилизирующих добавок;

2. Изучить микроструктуру, структуру и свойства стабилизирующих добавок;
3. Изучить условия структурообразования в битуме, асфальтовяжущем и ЩМАС с различными стабилизирующими добавками;
4. Разработать метод определения и оценки битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок;
5. Изучить влияние добавок на физико-механические свойства битума, асфальтовяжущего, ЩМА;
6. Изучить технологические свойства добавок при приготовлении щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей;
7. Разработать способ приготовления ЩМАС и технологическую линию подачи добавок;
8. Проверить результаты лабораторных исследований при строительстве покрытий из ЩМА.

Объект исследования – дорожный битум, асфальтовяжущее ЩМАС со стабилизирующими добавками для строительства дорожных покрытий.

Предмет исследования – сравнительная оценка эффективности стабилизирующих добавок на основе исследования структуры и физико-механических свойств дорожного битума, асфальтовяжущего и щебеночно-мастичного асфальтобетона.

**Научная новизна:**

- разработана классификация стабилизирующих добавок для ЩМА, отражающая их систематизацию по характерным признакам;
- впервые разработан и обоснован метод определения битумоудерживающей способности добавок, позволяющий без приготовления ЩМАС определять ее в асфальтовяжущем;
- предложены и раскрыты механизмы структурообразования битума, асфальтовяжущего и ЩМАС с добавками разной структуры;
- определены параметры микроструктуры добавок, которые использованы при рассмотрении условий структурообразования в битуме и асфальтовяжущем;

**Теоретическая и практическая значимость работы:**

- оценена битумоудерживающая способность различных добавок в асфальтовяжущем и рекомендована область применения добавок по показателю битумоудерживающей способности;
- получены количественные значения параметров микроструктуры стабилизирующих добавок, позволяющие прогнозировать механизмы взаимодействия с битумом, асфальтовяжущим и ЦМАС;
- определены технологические свойства стабилизирующих добавок разной структуры и их технологические особенности в производственных условиях;
- получены сравнительные данные о свойствах битума, асфальтовяжущего и ЦМА с добавками;
- в результате произведенной сравнительной оценки эффективности стабилизирующих добавок, даны рекомендации применения.
- патент на изобретение «Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь и способ ее получения», № 2476397 РФ. 27.02.2013 г.

**Методология и методы исследований.** Исследования проводились с применением стандартных методов и поверенного оборудования в условиях аттестованной лаборатории. Достижению поставленных задач способствовало применение современных методов планирования эксперимента.

**Положения, выносимые на защиту:**

- 1) Классификация стабилизирующих добавок.
- 2) Метод определения битумоудерживающей способности и его научно-практическое обоснование.
- 3) Результаты определения параметров микроструктуры стабилизирующих добавок.
- 4) Описание процессов и взаимодействий стабилизирующих добавок в битуме, асфальтовяжущем и ЦМАС.
- 5) Способ получения щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена сходимостью результатов параллельных испытаний, статистической обработкой полученных

данных с подтверждением ее достоверности и апробацией в производственных условиях.

При непосредственном участии самого автора или в рамках сотрудничества, в котором он выполнял основную роль в формулировке задач, постановке и проведении аналитических и экспериментальных исследований; предложена методика по определению битумоудерживающей способности. Автором произведена обработка экспериментальных данных, анализ и обобщение результатов исследований.

Результаты исследования внедрены в ОАО «Орелдорстрой» при устройстве асфальтобетонного покрытия на а/д в Белгородской и Орловских областях.

В 2011 году на автомобильной дороге «Таврово – Соломино – Разумное» из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМАС-15 уложено покрытие 1601т. На автомобильной дороге «Белгород – Шебекино» уложено 312т покрытия из ЩМАС-15.

В июле-октябре 2012 года было выпущено 44827т. ЩМАС-15, которая использована при устройстве а/б покрытия автомобильной дороге «Белгород – Шебекино – Волоконовка» в Белгородском и Шебекинском районе.

В июле - октябре 2012 года было выпущено 46543т. ЩМАС-10, которая использована при устройстве а/б покрытия при ремонте и капитальном ремонте автомобильной дороге М-2 «Крым» в Орловской области.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс при подготовке инженеров в ГУ-УНПК по специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы».

Основные результаты исследований докладывались, обсуждались и были одобрены на научно-технических конференциях, форумах, Бийского технологического института АлтГТУ им. И.И. Ползунова. Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии: производство, экономика, образование», 4-й, 5-й, 6-й Всероссийских научно-практических конференциях «Управление качеством образования, продукции и окружающей среды» (Бийск, 2010, 2011, 2012гг.). IV-Всероссийской научно-практической

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Прикладные аспекты химической технологии, полимерных материалов и наносистем» (Полимер-2010) (Бийск, 2010). На всероссийском инновационном форуме «Современные тенденции химической технологии и теплоэнергетического комплекса» (Технологии XXI века). Секция 1, «Полимерные и композиционные материалы» (Полимер - 2011) (Бийск, 2011), а также на научно-практических конференциях «ГУ–УНПК» в 2010, 2011 и 2012 годах. На юбилейной международной научно-практической конференции посвященная 60-летию БГТУ им. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации (XXI научные чтения) в 2014.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 14 работах общим объемом 5,25 п.л. (авторских – 2,1 п.л.), из них семь статей - в научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ (2,94 п.л.), авторский вклад –60 %, шесть статей - в материалах международных и всероссийских конференций (3,15 п.л.). Новизна научных практических решений подтверждается получением патента на изобретение «Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь и способ ее получения», № 2476397 РФ. 27.02.2013 г.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1. Обзор использования стабилизирующих добавок для ЩМА

Чтобы удерживать горячий битум на поверхности зерен минерального материала во время промежуточного хранения, транспортирования и укладке щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, в их состав вводят специальные структурирующие (стабилизирующие) добавки, позволяющие повысить толщину пленок вяжущего. Вид и свойства этих добавок имеют большое значение для обеспечения требуемого содержания вяжущего и повышения качества смеси. Стабилизирующее действие проявляется в способности препятствовать сегрегации и стеканию битумного вяжущего при высоких технологических температурах.

В соответствии с классификацией и номенклатурой добавок [79] по вещественному составу стабилизирующие добавки можно разделить на минеральные, и органические.

В качестве добавок в щебеночно-мастичных смесях применяются минеральные волокнистые материалы (асбестовые отходы, хризотил, стекловолокна, волокна из диабазы, и др.).

Минеральный волокнистый материал асбест исследовался в работе Красновской О.А. [57] Делается вывод, что введение в битум асбеста даже в небольших количествах вызывает значительное увеличение его вязкости, что указывает на образование в нем вторичной структуры. При этом частицы волокнистого наполнителя, увеличивая степень объемного заполнения системы дисперсной фазой, в тоже время являются центрами структурообразования. Вновь образованная вторичная структура обладает большей структурной прочностью и вязкостью.

М.М. Смирнов в работе [77] считает, что асфальтобетоны с добавками асбестоволокна, учитывая их повышенные показатели физико-механических свойств, следует рекомендовать для устройства верхних слоев покрытий скоростных дорог, магистралей городского и районного значения. Исследованием автора

установлено, что введение асбоволокна в асфальтобетонные смеси повышает их прочность, следовательно, увеличиваются и сроки службы дорожных покрытий.

Согласно исследованиям А. Дж. Хойберга [109] асбестовые волокна способствуют возрастанию упругости и эластичности битумно-минеральной массы. Асбестовые волокна и наполнители из частиц плоской формы значительно эффективнее повышают сопротивление удару, чем порошкообразные добавки. Отмечается существенное преимущество волокнистых наполнителей, они обеспечивают более эффективное сопротивление битума сжатию и особенно изгибу.

Помимо добавок асбеста, в ряде случаев применялось стекловолокно с длиной волокон 0,2-2 мм [129]. Отличительной чертой получаемого материала является прочность, износостойкость и высокое сопротивление растягивающим напряжениям.

В.Ф. Коробко [51] на основе проведенных исследований по применению асбесто-цементного волокнистого материала отмечает что, микроармирование асфальтовязущего волокнистым материалом повышает угол внутреннего трения и сцепления. Это обусловлено повышением вязкости асфальтовязущего и созданием волокнами расположенной микроармирующей решетки, создающей дополнительные механические связи.

Г.Н. Кирюхиным [35] была предпринята попытка оценить влияние дисперсного армирования минеральными волокнистыми добавками на свойства асфальтобетонов с различной структурой, чтобы установить наиболее целесообразные для армирования составы смесей. Автор считает, что волокнистая добавка в наибольшей степени препятствует уплотнению каркасных смесей со слабоструктурированным битумным вяжущим, что ведет к ослаблению структуры асфальтобетона и снижению прочности при растяжении. У асфальтобетонов с базальной структурой пористость минерального состава зависит от содержания добавки в меньшей степени, поэтому проявляется положительный эффект упрочнения структуры вследствие армирования.

Применение в качестве порошковой минеральной стабилизирующей добавки волластонита оценивалось в исследованиях А.Е. Оева [64], был исследован волластонит месторождения Западный Джангалик Ленинадской области. Установлено, что присутствие достаточного количества волластонита играет роль «микроарматуры» при этом повышается теплостойкость, трещиностойкость и прочностные характеристики битумо-минеральных покрытий.

Основными используемыми органическими волокнистыми добавками являются синтетические волокна, волокна целлюлозы.

Исследования Куценой Н.П. [59] органических волокнистых добавок из отходов производства, содержащих в составе макромолекулы амидных, аминных, гидроксильных групп показывают, что применение волокон позволяет адсорбировать на своей поверхности значительно большее количество битума и получить щебеночно-мастичный асфальтобетон с высокими физико-механическими характеристиками, повышается сдвигустойчивость покрытия.

К полимерным добавкам следует отнести добавки дробленой резины являющейся продуктом переработки полимерного материала, добавки на основе полипропилена, нитрон полиамида, отходов полиэтиленовой упаковки, полиэфирных волокон и др.

Согласно исследованиям Худяковой Т.С. [110] обычная дробленая резина, т. е. резиновая крошка не дает положительного эффекта при использовании в асфальтобетонных смесях. В 2009 году в России ООО «Уником» была запатентована модифицирующая композиция для асфальтобетонных смесей (в том числе и для ЩМАС) и способ получения модифицированной асфальтобетонной смеси [66]. Согласно патента резиновая крошка, т. е. измельченный резиновый вулканизат, содержит активный резиновый порошок, метасиликат игольчатой структуры, инициатор гелеобразования, структурирующий агент. Эта композиция используется в качестве стабилизирующей добавки для ЩМАС. На основе этого патента патентообладателем ООО «Уником» было начато производство композиционного материала на основе активного резинового порошка «УНИРЕМ» [89] переименованного в «УНИРЕМ-001».



В состав запатентованной асфальтобетонной смеси [66] входит вязкий дорожный битум, аминная поверхностно-активная добавка – триэтаноламин, регранулят полимерного этилен-пропилена, содержащий в своем составе полимерную составляющую и дисперсные волокна из пропилена. Получаемая асфальтобетонная смесь характеризуется повышенными прочностными показателями и коэффициентом водостойкости.

Согласно патента [68] получают вяжущее, которое включает нефтяной дорожный битум, триэтаноламин и полимерную структурирующую добавку – резиновый термоэластопласт РТЭП. Введение добавки РТЭП в сочетании с триэтаноламином в составе нефтяного дорожного битума позволяет создать полимерно-битумное вяжущее с повышенными структурообразующими свойствами.

Резиновый термоэластопласт РТЭП [102], представляет собой многокомпонентную композицию на основе полиолефинового полимерного носителя, содержащую дорожный битум. Чтобы уменьшить показатель стекания при использовании гранулированной полимерной добавки РТЭП, возможно дополнительное введение целлюлозных или других волокнистых стабилизирующих добавок. Введение добавки в состав асфальтобетонных смесей (полимерно-дисперсное армирование) повышает вязкость асфальтобетона, в том числе увеличивает трещиностойкость и долговечность слоев покрытия дорог и аэродромов, воспринимающих растягивающие усилия, а также длительные динамические нагрузки.

Гранулированная полимерная добавка СЕВИПАВ [26] состоит из битума и полиамидного волокна, а в качестве полимерно-армирующей добавки содержит отход гидроизоляции трубопроводов – АрмПЭВА, представляющий собой отход двухслойной ленты усадочного материала для изоляции труб, состоящий из слоя адгезионной активной композиции. Применение добавки СЕВИПАВ улучшает сопротивление смеси к расслоению, повышает прочность на сдвиг, прочность на сжатие при 50°C, прочность на растяжение при расколе при 0°C.

Еще одним представителем полимерных добавок является гранулированная добавка «ВЕСТОПЛАСТ» [94]. Молекулы полимера добавки состоят из блоков «пропилен-бутилен-этилен». Добавка вводится в минеральную часть смеси вместе с минеральным порошком. Имея температуру размягчения около 100°C, «ВЕСТОПЛАСТ» расплавляется в смесителе при технологических температурах перемешивания, после чего адсорбируется на поверхности минеральных зерен, способствуя сохранению однородности смеси при достаточно высоком содержании битума.

Эффективными стабилизирующими добавками являются волокнистые добавки на основе целлюлозы. Целлюлоза является природным полимером и на ее основе находят широкое применение добавки, имеющие следующие коммерческие названия: VIATOP 66, VIATOP Premium; TOPCEL, TECHNOCEL 1004, ITERFIBRA, ANTROCEL, ГАСЦЕЛ [103] СД-1, СД-2, СД-3 [87,88] и др. Из акриловых волокон на рынке присутствуют и предлагаются в качестве добавок DOLANIT и FORTA. Установлено, что введение волокнистых добавок повышает устойчивость смеси против расслаивания [35].

## **1.2 Анализ использования добавок и задачи исследования**

Каждый вид добавок оказывает свое влияние на структуру и свойства ЩМАС, а также на щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) и далее на слой ЩМА. Например, полимерные добавки создают полимерно-битумное вяжущее в ЩМАС, которое отличается более высокой вязкостью и благодаря этому проявляют стабилизирующий (битумоудерживающий) эффект. В связи с этим иногда допускается не вводить или снижать содержание волокнистой добавки в ЩМАС с полимерными добавками.

В результате проведенного анализа технической и патентной литературы добавки можно предложить классификацию стабилизирующих добавок, приведенную в таблице 1.1. По вещественному составу стабилизирующие добавки можно разделить на минеральные и органические.

По физическому состоянию и товарной форме к минеральным добавкам относятся волокнистые добавки и порошковые. По наименованию основных составляющих веществ, химических соединений волокнистые минеральные добавки могут быть хризотил-асбестовые, из стекловолокна и базальтовых волокон. В свою очередь хризотил-асбестовые могут быть в гранулах и свободных волокнах. Представителем хризотил-асбестовой добавки в гранулах является ХРИЗОТОП. Порошковые минеральные добавки получают из минерала волластонита. Волластонитовый минеральный порошок имеет коммерческое название ВОКСИЛ 100.

Органические добавки по физическому состоянию и товарной форме делятся на полимерные волокна, полимерные гранулы и порошки. В свою очередь полимерные волокна следует разделить на целлюлозные и синтетические волокна. Добавки из целлюлозных волокон, могут находиться как в свободных волокнах, так и в гранулированном виде. Свободные волокна не обрабатываются вяжущим, представителем является добавка TECHNOCEL 1004. Целлюлозные гранулированные добавки могут быть в гранулах без обработки вяжущим, обработанные битумом и обработанные воском. Представителями гранулированных целлюлозных волокон без обработки вяжущим являются СД-1; ITERFIBRA. Добавки VIATOR 66, VIATOR Premium, СД-3, ANTROCEL, ГАСЦЕЛ обработаны битумом. Добавки СД-2, TOPCEL обработаны воском.

Синтетические волокнистые добавки могут быть полиамидные, полиэфирные, из акриловых волокон, поливинилхлоридные, полиолефиновые. Добавками на основе акриловых волокон являются DOLANIT. Полимерные гранулы изготавливаются на основе: полиолефинов, сополимера этилена с винилацетатом и полиэтилена, а также пропилен-бутилен-этилена. Гранулированная добавка РТЭП изготовлена на основе полиолефинового полимерного носителя. СЕВИПАВ в своем составе имеет сополимер этилена с винилацетатом и полиэтилен. Основными составляющими веществами полимерной гранулированной добавки ВЕСТОПЛАСТ являются пропилен-бутилен-этилен.

Порошковые полимерные добавки представляют собой продукт дробления полимерного материала резины. На основе дробленой резины могут

производиться порошковые и гранулированные добавки. УНИРЕМ-001 изготовлен на основе активного порошка дробленой резины. УНИРЕМ-002 является гранулированным УНИРЕМ-001. В состав битумнорезинового композиционного вяжущего БИТРЕК [90] входит мелкодисперсная крошка из резин общего назначения. Вяжущее БИТРЕК используется для приготовления щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей.

Таблица 1.1

## Классификация стабилизирующих добавок

№ п/п	Вид добавки по вещественному составу	Вид добавки по физическому состоянию и товарной форме	Вид добавки по наименованию основных составляющих веществ и химических соединений и активных компонентов		Коммерческое название добавки	
1	2	3	4		5	
2	Минеральные добавки	волокнистые	хризотил-асбест	свободные волокна	-	
				гранулы	ХРИЗОТОП	
			стекловолокно		-	
			базальтовые волокна		-	
		порошковые	волластонит		ВОКСИЛ 100	
3	Органические добавки	полимерные волокна	целлюлозные	свободные волокна	без вяжущего	TECHNOCEL 1004;
				гранулы	без вяжущего	СД-1; ИТЕРФИБРА;
					обработанные битумом	VIATOR 66; VIATOR Premium; СД-3; ANTROCEL; ГАСЦЕЛ
			обработанные воском		СД-2; TOPCEL	
			синтетические	полиамидные		-
				полиэфирные		-
		акриловое волокно		DOLANIT		
		поливинилхлоридные		-		
		полиолефиновые		-		

	полимерные гранулы	полиолефиновый полимерный носитель		РТЭП
		сополимер этилена с винилацетатом, полиэтилен		СЕВИПАВ
		пропилен-бутилен-этилен		ВЕСТОПЛАСТ
	порошковые	на основе дробленной резины	порошковые	УНИРЕМ-001
			гранулы	УНИРЕМ-002

На основании сделанного анализа использования добавок и предложенной их классификации можно сделать следующие выводы. Недостаточно изучены микроструктура, структура и свойства различных стабилизирующих добавок, а также недостаточно раскрыт механизм их действия. Методом оценки эффективности действия добавки в ЦМАС является показатель стекания вяжущего, определяемый на пробах ЦМАС, однако отсутствует метод, позволяющий без приготовления ЦМАС определить эффективность стабилизирующих добавок и оценить их битумоудерживающую способность. Нет сравнительных исследований влияния различных добавок на физико-механические свойства битума, асфальтовяжущего, щебеночно-мастичного асфальтобетона. Не изучались технологические свойства и особенности добавок в производственных условиях.

На основании вышеизложенного в предлагаемой диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Изучение микроструктуры, структуры и свойств стабилизирующих добавок и механизмы их действия в ЦМА;
2. Разработка метода оценки битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок;
3. Изучение влияние различных добавок на физико-механические свойства битума, асфальтовяжущего, ЦМА;
4. Изучение технологические свойства различных добавок и особенностей их использования в производственных условиях;
5. Проверка результатов исследований при устройстве покрытий из ЦМА и обоснование технико-экономическую и технологическую эффективность использования ЦМАС с добавками.

## ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1 Применяемые материалы

#### 2.1.1 Исходные материалы

Показатели свойств битума нефтяного дорожного БНД 60/90 по ГОСТ 22245-90 Московского НПЗ приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Показатели свойств битума нефтяного дорожного БНД 60/90 Московского НПЗ

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Результат испытания	Значения по ГОСТ 22245-90 для марки БНД 60/90
1	Глубина проникания иглы, 0,1мм  при 25°C при 0°C	76 23	от 61 до 90 не менее 20
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °С	50	не ниже 47
3	Растяжимость, см  при 25°C при 0°C	100,0 4,5	не менее 55 не менее 3,5
4	Температура хрупкости, °С	-17	не выше -15
5	Температура вспышки, °С	240	не ниже 230
6	Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	3,5	не более 5
7	Индекс пенетрации	- 0,2	От -1 до +1

Показатели свойств стабилизирующих добавок представлены в таблице 2.2.

Показатели свойства стабилизирующих добавок

№ п/п	Название стабилизирующей добавки	Фирма производитель	Характеристика добавки	Наименование показателя	Значение
1	ХРИЗОТОП	Компания «Хризотоп»	Минеральные волокна хризотил-асбеста	Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup> , не более	950
				Влажность, %, не более	3
				Термостойкость хризотилового волокна при температуре 220°С по изменению массы при прогреве, %, не более	2,0
				Диаметр гранул, мм, не более	5,5
				Содержание технологической мелочи, %, не более	3,5
2	ВОКСИЛ 100 (воластонит)	ОАО «МКК-Холдинг»	Минеральные кристаллы игольчатой структуры	Твердость по Моосу	4,5-5,5
				Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,8-2,9
				Коэффициент преломления света	1,631-1,636
				Естественная влажность, %	0,1-0,5
				Белтна, %	80-85
				Насыпная масса, г/см <sup>3</sup>	1000-1500
				Удельная поверхность см <sup>2</sup> /г	1000-4000
				Содержание водорастворимых солей, %	0,1-0,2
				Набухание в воде, %	0,35-6,5
				Маслоемкость, г/100г	25-40
Объемное сопротивление, Ом/м	1010-1012				

				Диэлектрическая проницаемость	13-14
				Напряжение пробоя, Кв/мм	1,3-1,6
				Коэффициент $t$ расширения, мм/°С	$6,6 \cdot 10^6$
				Анизотропия частиц волластонита, L/D	3-20
3	СД-1, СД-2, СД-3	Компания «ГБЦ»	Целлюлозные волокна	Диаметр гранул	6-7 мм
				Длина гранул	4-7 мм
				Насыпная плотность	550-650
				Влажность, % по массе, не более	8,0
				Теплостойкость при $t$ 220 по изменению массы при прогреве, не более	7,0
4	VIATOR 66	Концерн «JRS GmbH + Co», Поставщик «Растом»	Целлюлозные волокна с битумом, на 66,6% состоящая из ARBOCEL ZZ 8- 1 и на 33,3% из битума	Содержание ARBOCEL ZZ 8-1	65-70%
				Средняя длина гранулы	2-10 мм
				Средняя толщина гранулы	5+-1мм
				Объёмная плотность	480-530 г/л
				Термическое разрушение	Около 200
				Температура возгорания	Около 500
				Средняя длина волокон	1100 мк
				Средняя толщина волокон	45 мк
5	ANTROCEL-G	ЗАО «Antrocelas»	Целлюлозные волокна на основе битума	Влажность, % по массе, не более	5
				Средняя длина волокна, мм	1,0-1,1
				Средний диаметр волокна, мм	0,045-0,05
				Средняя длина гранул, мм	5-7
				Средняя длина волокна в составе гранулы, мм	1,0-1,1



				Средний диаметр гранулы, мм	5-6
				Средний диаметр волокна в составе гранулы, мм	0,045-0,05
				Количество битума, % по массе	20
				Количество поверхностно-активного вещества, % по массе	-
				Содержание альфа-целлюлозы, % по массе, не менее	70
6	TOPCEL	Компания «СФФ»	Целлюлозные волокна с воском	Внешний вид	Серые гранулы
				Остаток при сжигании, %	15
				Влажность, %	6
				Водородный показатель pH	7±1
				Рекомендуемая дозировка, %	0,3-0,4
7	РТЭП	Разработчик «ДорТрансНИ И РГСУ»	Полимерные гранулы на основе полиолефинов покрытые битумом	Диаметр гранул, мм	3
				Цвет гранул	черный
				Форма гранул	сферовидная
8	УНИРЕМ-001, УНИРЕМ-002	ООО «Уником»	Резиновый порошок с добавками или гранулы	Размер резиновых частиц, мм	Не более 0,8
				Удельная геометрическая поверхность см <sup>2</sup> /г	5000
				Индекс агломерации, баллы	Не менее 8
				Насыпная плотность порошка, г/см <sup>3</sup>	0,47
				Влажность, %	Не более 8

Показатели свойств гранитного щебня фракции 5-10 и 10-15мм приведены в таблицах 2.3, 2.4.

Таблица 2.3

Показатели свойств гранитного щебня фр. 5-10мм ОАО «Коростенский щебзавод»

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя	Значения по ГОСТ 8269.0-97
1	Содержание пылевидных и глинистых частиц % по массе	0,47	не более 0,5%
2	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы % по массе	13,0	не более 15%
3	Марка по дробимости	1200	не ниже 1000
4	Морозостойкость щебня, циклов	300	не ниже F 50

Таблица 2.4

Показатели свойств гранитного щебня фр. 10-15мм ОАО «Коростенский щебзавод»

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя	Значения по ГОСТ 8269.0-97
1	Содержание пылевидных и глинистых частиц % по массе	0,49	не более 0,5%
2	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы % по массе	14,5	не более 15%
3	Марка по дробимости	1200	не ниже 1000
4	Морозостойкость щебня, циклов	300	не ниже F 50

Показатели свойств песка из отсевов дробления гранитного щебня с маркой по прочности М 1200 по ГОСТ 31424 – 2010 приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Показатели свойств песка из отсевов дробления фр. 0-5мм ОАО «Павловскгранит»

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Значение показателя	Значения по ГОСТ 31424 – 2010
1	Содержание пылевидных и глинистых частиц % по массе	0,46	не более 0,5%
2	Содержание зерен пластинчатой и игловатой формы % по массе	13,7	не более 15%
3	Марка по дробимости	1200	не ниже 1000
4	Морозостойкость щебня, циклов	300	не ниже F 50

Для исследований использовался доломитовый минеральный порошок Витебского ОАО "Доломит" Республики Беларусь и известняковый минеральный порошок ОАО "Гурово-бетон" по ГОСТ 52129-2003. Волластонитовый минеральный порошок марки Воксил 100, произведенный в Алтайском крае был опробован в качестве стабилизирующей добавки. Зерновой состав минеральных порошков приведен в таблице 2.6.

Таблица 2.6

## Зерновой состав минеральных порошков

№ п/п	Наименование материала	Наименование показателя, единица измерения		
		Зерновой состав, % по массе		
		мельче 1,25 мм	мельче 0,315 мм	мельче 0,071 мм
1	2	3	4	5
2	Доломитовый минеральный порошок	-	100	73,86
3	Известняковый минеральный порошок	100	99,2	74,3
4	Волластонитовый минеральный порошок	-	100	71,3
5	Значения по ГОСТ 52129-2003	Не менее 100	Не менее 90	От 70 до 80

Показатели свойств адгезионной добавки «АМДОР-10», представлены в таблице 2.7.

Присадка сохраняет адгезионную эффективность при введении в битум в течение 72 часов при температуре до 160°C. Практически нерастворима в воде; растворима в спирте, керосине; плотность при температуре 40°C (900-950) кг/м<sup>3</sup>. Пожароопасные характеристики: температура вспышки – (145+5) °С, самовоспламенения – (330 ±5) °С. По токсикологическим свойствам продукт относится к малотоксичным веществам 4-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76.

Таблица 2.7

Показатели свойств адгезионной добавки «АМДОР -10»

№ п/п	Наименование показателей	Требования по ТУ 0257-003-35475596-96	Результаты испытаний
1	Внешний вид	Вязкая жидкость коричневого цвета	Вязкая жидкость коричневого цвета
2	Сцепление с минеральным материалом битума, содержащего 0,4% добавки	Не хуже контрольного образца №1	Соответствует контрольному образцу №1
3	Кислотное число, мг КОН /г добавки не, не более	15	9,0
4	Массовая доля воды, %, не более	2,0	Вода отсутствует
5	Температура текучести, °С, не более	10	7
6	Аминное число, г HCl с массовой долей 100% на 100 г добавки, не менее	20,0	26,1

### **2.1.2 Составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей**

Для лабораторных испытаний приготавливалась щебёночно-мастичная асфальтобетонная смесь ЩМАС-15, использовался битум БНД 60/90 Московского НПЗ, известняковый минеральный порошок ОАО "Гурово-бетон", щебень гранитный фракции 10-15 мм, щебень гранитный фракции 5-10 мм и отсев гранитный фракции 0-5 мм. Состав ЩМАС-15 был подобран с использованием вышеназванных материалов.

Зерновой состав минеральной части ЩМАС-15 приведен в таблице 2.8, график зернового состава на рис. 2.1.

## Зерновой состав смеси ЦМА-15

№ п/п	Наименование материалов	Содержание, %	Содержание зерен мельче данного размера, (мм), в % по массе										
			40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
1	Щебень гранитный фр. 10-15мм ОАО «Коростенский щебзавод»	42	42,0	42,0	38,2	3,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2	Щебень гранитный фр. 5-10мм ОАО «Коростенский щебзавод»	30	30,0	30,0	30,0	27,4	2,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
3	Отсев гранитный фр. 0-5мм ОАО «Павловскгранит»	15	15,0	15,0	15,0	14,9	13,8	9,6	7,9	5,9	4,2	3,0	3,0
4	Минеральный порошок ОАО «Гурово-бетон»	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,58	12,4	11,7	10,1
5	Сумма полных проходов	100	100,0	100,0	95,78	58,08	29,38	23,2	21,08	19,5	17,2	15	13,7
6	Требование ГОСТ 31015-2002	min	0	100	90	40	25	18	15	12	10	9	9
		max	0	100	100	60	35	28	25	22	20	16	14

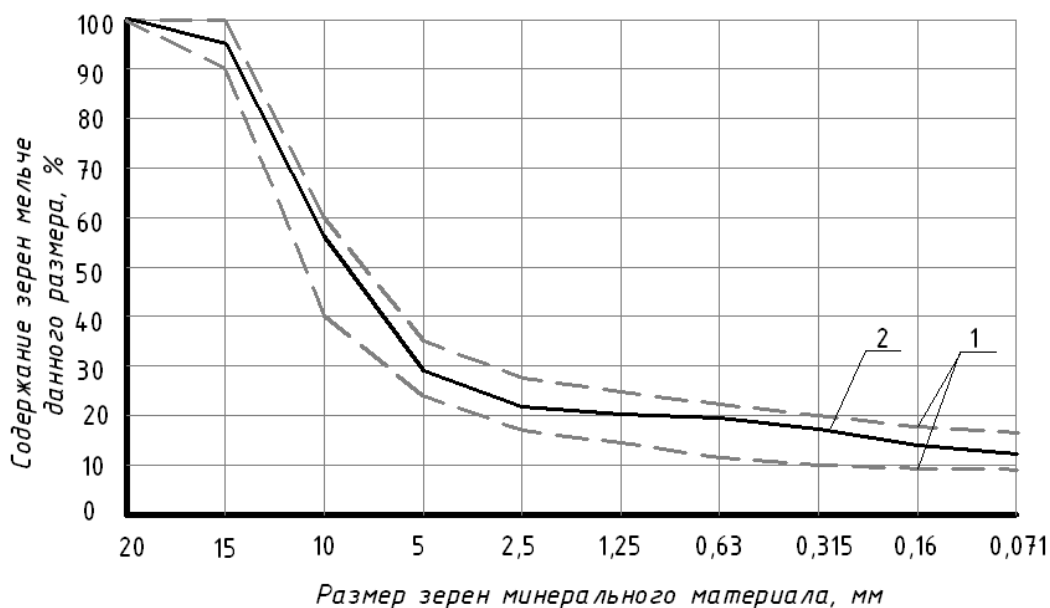


Рисунок 2.1 – График зернового состава минеральной части:  
1 – кривые просеивания по ГОСТ 31015-2002, 2 – кривая просеивания  
подобранного состава.

Состав смеси следующий: гранитный щебень фр. 10-15 мм – 42%, гранитный щебень фр. 5-10 мм – 30%, отсев гранитный фр. 0-5 мм – 15%, известняковый минеральный порошок – 12,58%, стабилизирующая добавка – 0,42%, битум – 5,5% от массы минеральной части.

Зерновой состав минеральной части ЩМАС-15 соответствовал ГОСТ 31015-2002.

Для производственных испытаний приготавливалась щебёночно-мастичная асфальтобетонная смесь ЩМАС-10, ЩМАС-15, использовался битум БНД 60/90 Московского НПЗ, минеральный порошок ОАО "Доломит", щебень гранитный фракции 5-10 мм, 5-15 мм ЗАО «Кировоградгранит», отсев гранитный фракции 0-5 мм. ОАО «Павловскгранит» и ККУ «Кварц». Состав ЩМАС-15 был подобран с использованием вышеназванных материалов.

Зерновой состав минеральной части ЩМАС-10 приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9

## Зерновой состав смеси ЦМА-10

№ п/п	Наименование материалов	Содержание, %	Содержание зерен мельче данного размера, (мм), в % по массе										
			40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
1	Щебень гранитный фр. 5-10мм ОАО «Кировоградгранит»	74	74,0	74,0	74,0	72,0	9,6	2,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Отсев гранитный фр. 0-5мм ОАО «Павловскгранит»	13	13,0	13,0	13,0	13,0	12,3	9,8	6,9	5,2	3,8	2,7	1,5
3	Минеральный порошок ОАО «Доломит»	13	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	12,5	9,9
	Сумма полных проходов	100	100,0	100,0	95,78	58,08	29,38	23,2	21,08	19,5	17,2	15	13,7
	Требование ГОСТ 31015-2002	min	0	100	100	90	30	19	16	13	11	10	10
		max	0	100	100	100	40	29	26	22	20	17	15

Зерновой состав минеральной части ЦМАС-15 приведен в таблице 2.10.



## Зерновой состав смеси ЦМА-15

№ п/п	Наименование материалов	Содержание, %	Содержание зерен мельче данного размера, (мм), в % по массе										
			40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
1	Щебень гранитный фр. 5-15мм ОАО «Кировоградгранит»	72	72,0	72,0	66,1	29,7	0,6	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Отсев гранитный фр. 0-5мм ККУ «Кварц»	15	15,0	15,0	15,0	15,0	13,4	10,2	6,7	4,8	3,4	2,7	1,4
3	Минеральный порошок ОАО «Доломит»	13	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	12,5	9,8
	Сумма полных проходов	100	100,0	100,0	94,1	57,7	27,0	23,5	19,9	17,8	16,3	15,2	11,2
	Требование ГОСТ 31015-2002	min	0	100	90	40	25	18	15	12	10	9	9
		max	0	100	100	100	40	29	26	22	20	17	15

Состав смеси следующий: гранитный щебень фр. 5-10 мм; 5-15 – 74%; 72%, отсев гранитный фр. 0-5 мм – 13%; 15%, минеральный порошок – 13%, стабилизирующие добавки: РТЭП – 0,32%, СД-3 – 0,2% от массы минеральной части, а содержание адгезионной добавки «АМДОР-10» составляло 1% от массы битума, битум – 5,6% от массы минеральной части. Также применялось УНИРЕМ-001 (расход – 0,42% от массы минеральной части) и УНИРЕМ-002 (расход – 0,2% от массы минеральной части). Viator 66 – 0,2% или 0,42%, соответственно 0,62% от массы минеральной части.

Зерновой состав минеральной части ЩМАС-10 и ЩМАС-15 для лабораторных испытаний соответствовал ГОСТ 31015-2002.

## **2.2 Методика лабораторных и натуральных исследований**

### **2.2.1. Приготовление битума с добавками для испытаний**

Приготовление битума с добавками осуществлялось следующим образом. Стабилизирующие добавки вводились в разогретый до 150-160°C битум, и перемешивались в нём вручную до однородного состояния. Добавки СД-1 СД-2, СД-3 и Viator 66 распределялись в битуме достаточно хорошо в течение 20 минут, а Torcel, Antrocel и Хризотоп растворялись в течение 30-40 минут. Из-за сильной спрессованности гранул, без предварительного разрушения Torcel, Antrocel, Хризотоп плохо распределяются в битуме, поэтому были механически разрушены в фарфоровой ступке вручную до распушенного состояния. После этого можно было добиться однородного распределения добавок в битуме. По внешнему виду битум с волокнистыми добавками представляет собой подвижную, кашеподобную смесь с черным блеском.

Гранулированный РТЭП расплавлялся в битуме при 170°C, равномерно распределялся при длительном нагревании и перемешивании, его введение сопровождалось повышением вязкости битума. После прекращения перемешивания в течение 10-15 минут на поверхности битума образовывалась толстая пленка из расплавленного РТЭП. С введением резинового порошка УНИРЕМ-001 в битум при температуре 160-170°C полное распределение происходило в течении 5-10 минут, при этом повышалась вязкость битума. Т.к. добавка УНИРЕМ-001 находится в сыпучем состоянии, при ее введении требуется интенсивное перемешивание, чтобы избежать комкования скоплений частиц резины при обволакивании их битумом.

### 2.2.2 Метод определения битумоудерживающей способности добавок по испытаниям в асфальтовяжущем

Для приготовления асфальтовяжущего использовался битум БНД 60/90 Московского НПЗ и доломитовый минеральный порошок Витебского ОАО "Доломит" Республики Беларусь. Приготовление асфальтовяжущего производилось в 10-литровом лабораторном смесителе с подогревом смесительной камеры. Добавки вводились в разогретый до 150-160°C битум и перемешивались в нём до однородного распределения согласно п. 2.2.1. Минеральный порошок нагревался до 160°C и засыпался в смеситель, затем вводился битум или битум с распределенными в нем добавками и проводилось перемешивание в течение 40-60 секунд до однородного распределения битума в минеральном порошке. Образцы асфальтовяжущего изготавливались с использованием форм для асфальтобетона  $d=50,5$  мм по технологии приготовления асфальтобетонных образцов [21]. Далее определяли физико-механические свойства асфальтовяжущего и оптимальное количество битума в асфальтовяжущего и вычисляли коэффициент битумоудерживающей способности.

$$K_{BC} = B_{\text{опт}}^{\text{м.п.+доб.}} / B_{\text{опт}}^{\text{м.п.}}; \quad (2.1)$$

где,

$B_{\text{опт}}^{\text{м.п.+доб.}}$  – оптимальное количество битума с минеральным порошком и добавками;

$B_{\text{опт}}^{\text{м.п.}}$  – оптимальное количество битума с минеральным порошком.

### 2.2.3. Приготовление щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси с добавками для испытаний

Приготовление щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси производилось в 10-литровом лабораторном смесителе с подогревом

смесительной камеры. Приготовление ЩМАС-15 производилось следующим образом. Отдозированные компоненты смеси, за исключением минерального порошка и добавок нагревались до требуемых температур: щебень и отсев до  $t=175^{\circ}\text{C}$ , битум до  $t=155^{\circ}\text{C}$ . Внутренняя поверхность лабораторного смесителя прогревалась до температуры  $155^{\circ}\text{C}$ .

При получении ЩМАС щебень и отсев загружали вручную в смеситель и перемешивали, далее загружали минеральный порошок и перемешивали, затем одновременно вводили добавки, которые перемешивали 30 секунд, далее вводили битум, и перемешивание продолжалось в течение 3 минут, до полного покрытия битумом минеральных материалов и образования однородной смеси. В разогретый до  $155^{\circ}\text{C}$  битум предварительно было добавлено требуемое количество АМДОР-10. Общее время перемешивания составляло 4,5 минуты. Далее ЩМАС выдерживалось перед изготовлением образцов в течение 30 минут при температуре  $160^{\circ}\text{C}$ . Для смеси с добавкой УНИРЕМ-001 выдерживание смеси при температуре  $160^{\circ}\text{C}$  составляло 60 минут.

Образцы из ЩМАС-15 были изготовлены в соответствии с ГОСТ 12801-98. Испытания образцов проводилось по ГОСТ 12801-98 и ГОСТ 31015-2002.

#### **2.2.4 Методика оценки структуры добавок**

Для исследований микроструктуры использовался микроскоп Axioskop 2 MAT (рис. 2.2.) с серией объективов улучшенной цветовой коррекции «ЕС Eriplan-Neofluars», состоящий из модуля промежуточного увеличения Optovar 2, цифровой камеры Axiosam 1, компьютера с программным обеспечением для обработки микрофотографий 6, предметного столика 4 с предметным стеклом 3, макро и микрометрическими винтами 5 и микротвердометра 7. Модуль промежуточного увеличения Optovar дает возможность дискретной смены увеличений  $1,0\times$  –  $1,5\times$  –  $2,0\times$  –  $2,5\times$ , позволяет повысить точность измерения, но не снизить предел минимального измеряемого объекта. За счет этого модуля объект, попадающий на матрицу, получается больше, на него попадает больше

пикселей, что на порядок повышает точность измерения. С помощью микроскопа можно получить увеличение до 2000 раз. Цветная цифровая фотокамера Аxiосam используется для передачи и дальнейшей обработки микрофотографий и имеет разрешение 5 млн. пикселей. Детальная проработка снимков осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения, разработанного фирмой Карл Цейсс. Компьютер управляет всеми функциями микроскопа: захват изображений, документирование, создание архивов, проведение ручных измерений.



Рисунок 2.2. – Исследовательский микроскоп Axioskop 2 MAT:

1 – цифровая камера Аxiосam, 2 – модуля промежуточного увеличения Optovar, 3 – предметное стекло, 4 – предметный столик, 5 – макро и микрометрические винты, 6 – компьютер с системным блоком, монитором и программным обеспечением, 7 – микротвердометр «МНТ-10», подключенный к револьверному устройству микроскопа.

Цветные микрофотографии получали путем фотографирования предварительно подготовленных образцов гранулированных целлюлозных добавок СД-1, СД-3, Viator 66, Topcel, гранулированной волокнистой минеральной добавки Хризотоп, полимерной добавки РТЭП, частиц порошковой добавки УНИРЕМ-001, частиц порошковой волластонитовой добавки Воксил-100, а так же частиц минерального порошка для асфальтобетонных смесей (для сравнения).

При обработке электронно-микроскопических изображений получали количественную информацию об элементах структуры, их взаимном расположении в пространстве. Производился замер геометрических параметров добавок, изучался их внешний вид, характер взаимного расположения, распределение битума.

Подготовка проб для исследования велась следующим образом. Гранулы волокнистых добавок разрушались в фарфоровой ступке до распушенного состояния. Из гранул полимерной добавки делался срез, порошковые добавки распределялись вручную. После этого на предметное стекло наносилось небольшое количество исследуемой пробы. Затем предметное стекло с пробой помещалось на предметный столик под объектив микроскопа для микрофотографирования. Для получения отчетливого изображения с помощью макрометрического винта перемещали зрительную трубу по высоте, затем микрометрической фокусировкой наводили резкость, пока объект не будет ясно виден.

### **2.2.5 Методы определения технологических свойств добавок**

Относительная влажность целлюлозных и минеральных волокнистых добавок определялась согласно ГОСТ 16483.32-77 «Древесина. Метод определения предела гигроскопичности». Гигроскопичность волокнистых стабилизирующих добавок с естественной влажностью определяли путем выдерживания в течение суток в герметично закрытом эксикаторе при относительной влажности 98% и температуре  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ . Взвешенный образец (в предварительно взвешенном бюксе) помещали над водой, налитой в эксикатор, в котором поддерживалась комнатная температура  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ . Измерение массы образцов добавок находящихся в эксикаторе производилось через сутки.

Степень набухания и линейное расширение целлюлозных добавок определялись по ГОСТ 7516-75 «Целлюлоза. Метод определения набухания». Степень набухания определялась по изменению массы образцов добавок после

выдерживания в воде при  $20\pm 3^\circ\text{C}$ , весовым методом взвешиванием образца до и после набухания. Подготовленные образцы целлюлозных добавок погружались на 1 сутки в воду, после чего извлекались и выдерживались на сетчатом подносе до стекания свободно находящейся воды с поверхности добавок.

Линейное расширение целлюлозы определяется по приращению высоты образцов целлюлозных добавок в воде и выражаемый в процентах. Линейное расширение измеряют одновременно с определением степени набухания целлюлозы по массе. Для этого следует замерить высоту цилиндра добавки. Расхождение между результатами трех параллельных определений не должно быть более 0,5% (по абсолютной величине). За результат принимали округленное до первого десятичного знака среднеарифметическое значение результатов трех параллельных определений.

Сыпучесть всех исследуемых добавок определялась по ГОСТ 25139-93 «Пластмассы. Методы определения сыпучести». Сыпучесть стабилизирующих добавок характеризовали скоростью их истечения. Скорость истечения определялась на разработанной модели приемного бункера для стабилизирующих добавок (рис. 2.3). Был изготовлен бункер из пластика с выходным отверстием, через которые проходят добавки. Бункер закрепляли в вертикальном положении на штативе. Выходное отверстие закрывалось закладывающимся устройством.

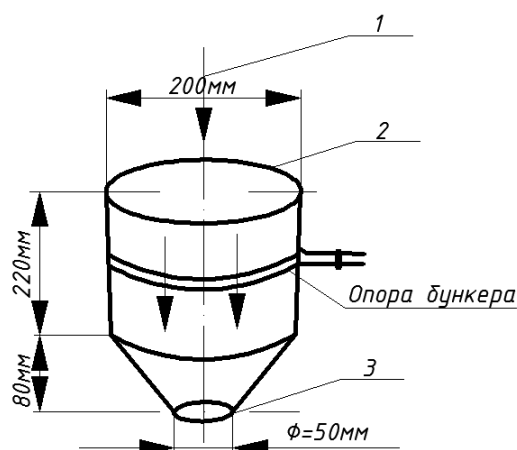


Рисунок 2.3. Модель приемного бункера для стабилизирующих добавок.

1 – направление загрузки добавок; 2 – входное бункерное отверстие; 3 – выходное бункерное отверстие.



Определение термостойкости волокон производилось согласно ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные», приложение Г определение термостойкости волокон.

Температура, при которой проявляются свойства липкости и аутогезии полимерных гранул добавки РТЭП определялась пирометром OPTRIS SIGHT MS.

Индекс агломерации для добавок УНИРЕМ-001 определялся по СТО 61595504-002-2010 «Материал композиционный УНИРЕМ-001 на основе активного резинового порошка. Технические условия», п. 7.1 методика оценки индекса агломерации.

### **2.3 Метрологическое обеспечение исследований**

Лабораторные исследования проводились в центральной испытательной лаборатории отдела контроля качества ОАО «Орелдорстрой». Аттестат подтверждения компетентности испытательной лаборатории требованиям ГОСТ ИСО/МЭК17025-2009 и свидетельство об оценке состояния измерений (аттестации) № 1118-11 приведены в приложениях А и Б. Исследования проводились также в научно-исследовательской лаборатории кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация» ГУ-УНПК. Эти лаборатории входят в Орловский региональный Центр коллективного пользования контрольно-измерительным и испытательным оборудованием (ЦКП).

Изучались характеристики битума, асфальтовяжущего, асфальтобетона и стабилизирующих добавок в соответствии с ГОСТ 9128-2009, ГОСТ 31015-2002. При приготовлении смеси асфальтовяжущего и асфальтобетонной смеси дозирование минерального порошка, щебня, песка из отсевов дробления, битума и стабилизирующих добавок осуществлялось взвешивания на Лабораторных электронных весах Vibra AJ 2200 CE (свидетельство о поверке № 1550/032383 приложение В). Для нагрева компонентов смеси использовался сушильный шкаф, перемешивание проводилось в лабораторном смесителе СЛ – АБ. Температуры

нагретых материалов контролировали пирометром OPTRIS SIGHT MS с диапазоном измерения температуры от  $(-32 \div 420)^{\circ}\text{C}$  (свидетельство о поверке № 361913/442 в приложении Г). Для определения водонасыщения и прочности образцов в водонасыщенном состоянии применялась вакуумная установка с фильтром влагоотделителем и вакуумным насосом Wigem.

Определение прочности асфальтовяжущего и асфальтобетона осуществлялось при помощи гидравлических прессов П-50 (свидетельство о поверке № 2214/040119 в приложении Д) и ИП-100 (свидетельство о поверке № 2616/046663 в приложении Е), обеспечивающих погрешность измерения усилия не более 1%, возможность регулирования скорости приложения к образцу в пределах 0,2-0,6 Мпа/с. Выбор прессов обусловлен тем, что ожидаемая разрушающая нагрузка должна составлять 0,2-0,8 максимального усилия.

При исследовании свойств битума со стабилизирующими добавками использовалось оборудование: дуктилометр ДМФ – 1480 №06 (сертификат о калибровке средств измерений № 320 в приложении Ж), вискозиметр для определения условной вязкости битумов и битумных эмульсий ВУБ – 1Ф №40 (свидетельство о поверке № 1974/050464 в приложении З).

Исследовать микроструктуру стабилизирующих добавок позволило использование исследовательского микроскопа Axioskop 2 MAT с цифровой фотокамерой Axiosam, научно-исследовательской лаборатории ГУ-УНПК.

Результаты исследований с использованием вышеназванного оборудования приведены в главах 3,4,5,6.

### ГЛАВА 3. СВОЙСТВА БИТУМА И АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКАМИ

#### 3.1 Влияние добавок VIATOR 66, ANTROCEL, TOPCEL, СД-1, ХРИЗОТОП, УНИРЕМ-001, РТЭП, ВОКСИЛ 100 на свойства битума

Показатели свойств битума с добавками приведены в таблице 3.1, а зависимости показателей свойств от содержания добавок в битуме на рис. 3.1.–3.6.

Таблица 3.1

Показатели свойств битума с добавками

№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Содержание добавки в битуме, %	Название добавки							
			БНД 60/90	Хризотоп	Antrocel	СД-1	Topcel	РТЭП	Viator 66	УНИРЕМ-001
1	Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25°С 0°С	0	76 23	-	-	-	-	-	-	-
		2	-	47,0 23,4	51,5 26,0	63,7 26,4	54,6 24,7	71,3 30,2	56,4 20,2	70,3 21,4
		4	-	40,2 25,8	38,4 26,7	48,3 24,1	36,7 28,2	51,0 32,6	43,2 23,3	63,2 22,0
		5	-	37,4 25,3	34,7 26,1	38,3 24,7	35,3 27,3	42,0 30,0	33,6 22,3	54,3 21,5
		7	-	36,3 23,3	34,7 25,0	37,3 28,0	34,0 26,7	38,1 28,4	32,2 24,8	50,0 20,0
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °С	0	50	-	-	-	-	-	-	-
		2	-	64	65	54	58	60	50	52
		4	-	67	65	63	60	64,5	62	53
		5	-	75	69	62	58	65	65	55
		7	-	78	74	69	73	76	70	56
3	Растяжимость, см при 25°С 0°С	0	100 4,2	-	-	-	-	-	-	-
		2	-	43,3 3,5	29,5 5,2	56,0 4,3	40 4,5	77,7 6,0	38,4 5,1	63 5,5
		4	-	30,5 4,0	19,8 4,9	35,7 5,7	38,7 5,5	48,4 6,3	29,4 5,6	48,5 5,3
		5	-	27,2	15	18,8	27,6	30,1	23,5	30,5

				4,2	5,1	5,7	6,1	7,2	5,5	5,0
		7	-	5,3	10,0	5,6	5,8	20,3	5,0	25,0
				3,6	4,2	3,5	4,2	6,7	5,2	4,5
4	Температура хрупкости, °С	0	-17	-	-	-	-	-	-	-
		2	-	-18	-17	-20	-20	-21	-18	-15
		4	-	-25	-17	-25	-26	-22	-22	-13
		5	-	-22	-24	-24	-24	-21	-25	-14
		7	-	-19	-27	-23	-23	-20	-27	-18

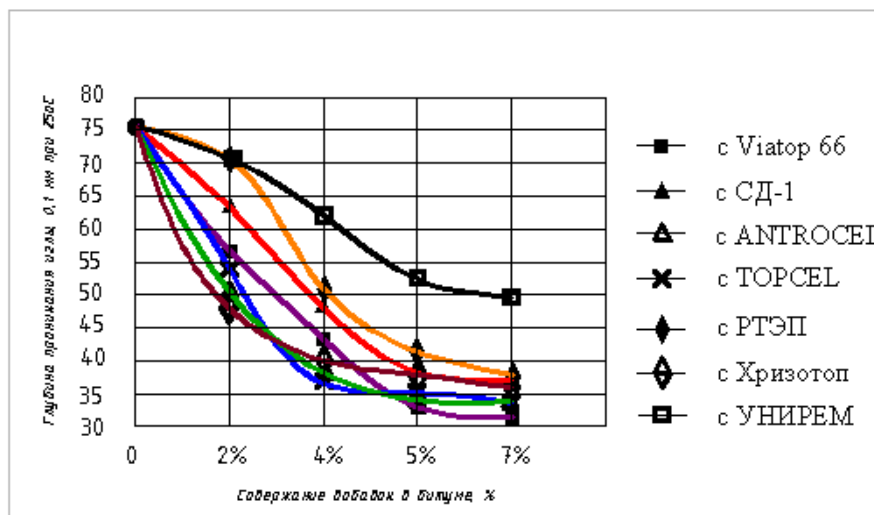


Рисунок 3.1. – Зависимость значений глубины проникания иглы в битум при 25°С от содержания добавки в нем

На рисунке 3.1. приведена зависимость значений проникания иглы в битум с добавками при 25°С от содержания добавок в нем. При введении 2% добавки глубина проникания иглы при 25°С для РТЭП составляет 71,3 (0,1 мм), СД-1 – 63,7 (0,1 мм), Viator 66 – 56,4 (0,1 мм), Antrocel – 51,5 (0,1 мм), Topcel – 54,6 (0,1 мм), УНИРЕМ-001 – 70,3 (0,1 мм). Самое минимальное значение имеет Хризотоп - 47,0 (0,1 мм), что на 38,1% ниже показателя глубины проникания иглы битума без добавок. При 4% УНИРЕМ-001 имеет самое высокое значение проникания иглы - 63,2 (0,1 мм), остальные добавки находятся в диапазоне 36,7 – 51,0 (0,1 мм). При увеличении концентрации добавки от 5 до 7% продолжается снижение показателей, так как увеличивается жесткость: так при 7% максимальное значение глубины проникание иглы для УНИРЕМ-001 – 50,0 (0,1 мм), РТЭП – 38,1 (0,1 мм), СД-1 – 37,3 (0,1 мм), Хризотоп имеет – 36,3 (0,1 мм), Antrocel и Topcel имеют

одинаковые значения. У Viator 66 самый низкий показатель глубины проникания иглы – 32,2 (0,1 мм), что на 57,5% меньше чем у битума без добавок.

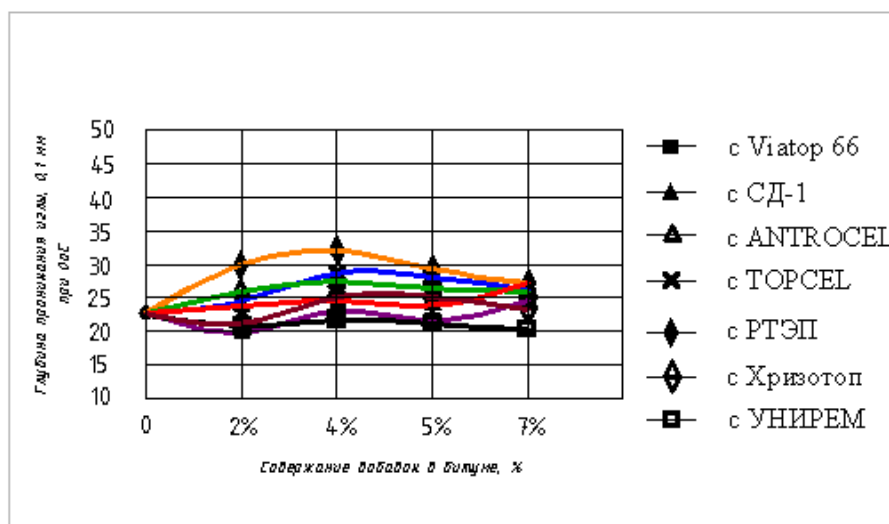


Рисунок 3.2. – Зависимость значений глубины проникания иглы в битум при 0°C от содержания добавки в нем

На рисунке 3.2. приведена зависимость значений глубины проникания иглы в битум с добавками при 0°C от содержания добавок в нем. Глубина проникания иглы при 0 °C при 2% стабилизирующей добавки равна для Хризотоп – 23,4 (0,1 мм), Торсел – 24,7 (0,1 мм), Унирем – 21,4 (0,1 мм), Antrocel и СД-1 равны 26,0 (0,1 мм) и 26,4 (0,1 мм) соответственно. Viator 66 имеет значение 20,2 (0,1 мм), что на 12,2% ниже показателя глубины проникания иглы битума без добавок. При дальнейшем увеличении добавки при 4%, 5%, 7% значения находятся в диапазоне от 20,0 (0,1 мм) до 32,6 (0,1 мм). Так при 4% максимальное значение у РТЭП – 32,6 (0,1 мм) минимальное УНИРЕМ-001 – 22,0 (0,1 мм), Antrocel – 26,7 (0,1 мм), Хризотоп – 25,8 (0,1 мм), Торсел – 28,2 (0,1 мм), и Viator 66 – 23,3 (0,1 мм). При 5% значения находятся в пределах от 22,3 (0,1 мм) – Viator 66 до 30,0 (0,1 мм) – РТЭП. При 7% Хризотоп имеет 23,3 (0,1 мм), Antrocel – 25,0 (0,1 мм), СД-1 – 28,0 (0,1 мм), Торсел – 26,7 (0,1 мм), РТЭП – 28,4 (0,1 мм), УНИРЕМ-001 – 20,0 (0,1 мм) и Viator 66 – 24,8 (0,1 мм). Добавка РТЭП имеет высокий показатель глубины проникания иглы из-за структурирования битума.

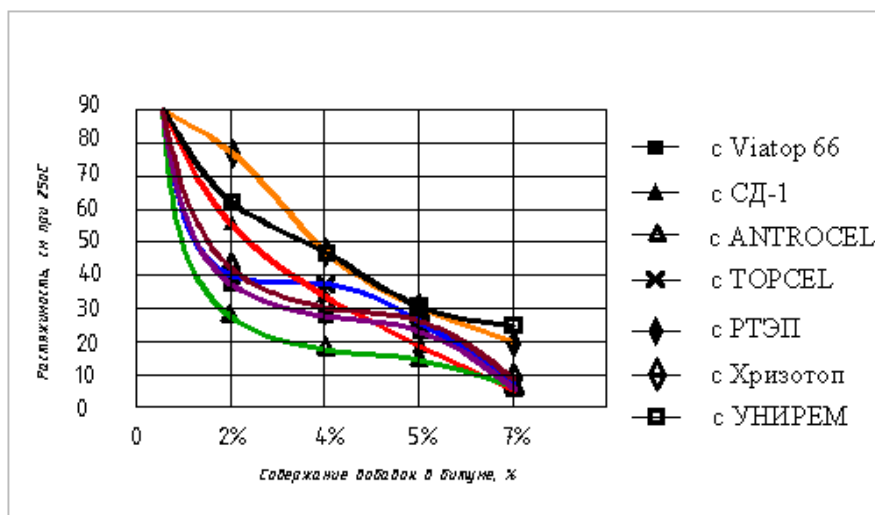


Рисунок 3.3. – Зависимость значений растяжимости битума при 25°С от содержания добавки в нем

На рисунке 3.1. приведена зависимость значений растяжимости битума при 25°С от содержания добавки в нем. Растяжимость битума с добавками при 25 °С снижается: при 2% РТЭП – 77,7 см, УНИРЕМ-001 – 63 см, Viator 66 – 38,4 см, Topcel – 40 см, СД-1 – 56,0 см, Antrocel – 29,5 см, Хризотоп – 43,3 см. При дальнейшем увеличении содержания добавки жесткость битума повышается еще больше. При 4% минимальное значение имеет Antrocel – 19,8 см, а максимальное УНИРЕМ-001 – 48,5 см. При добавки УНИРЕМ-001 5% растяжимость имеет значение 30,5 см, а при 7% – 25,0 см. Минимальный показатель растяжимости при 5% имеет Antrocel – 15 см, при 7% Viator 66 – 5 см.

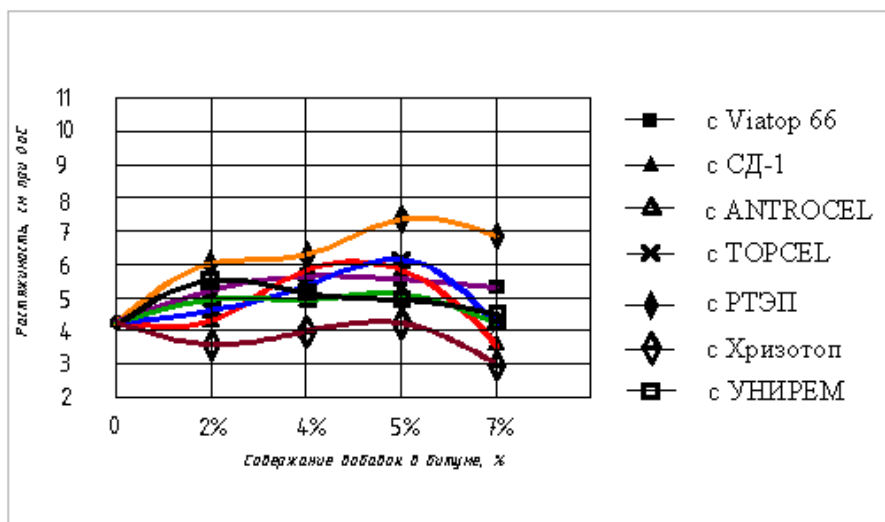


Рисунок 3.4. – Зависимость значений растяжимости битума при 0°C от содержания добавки в нем

На рисунке 3.4. приведена зависимость значений растяжимости битума при 0°C от содержания добавки в нем. Растяжимость битума с различными добавками при 0°C существенного различия не имеет и соизмеримо с битумным вяжущим без добавок. Однако структурирующая добавка РТЭП дает повышение растяжимости при 2% – 6 см, 4% – 6,3 см, 5% – 7,2 см, 7% – 6,7см. Хризотоп имеет минимальные значения 2% – 3,5 см, 4% – 4,0 см, 5% – 4,2 см, 7% – 3,6 см.

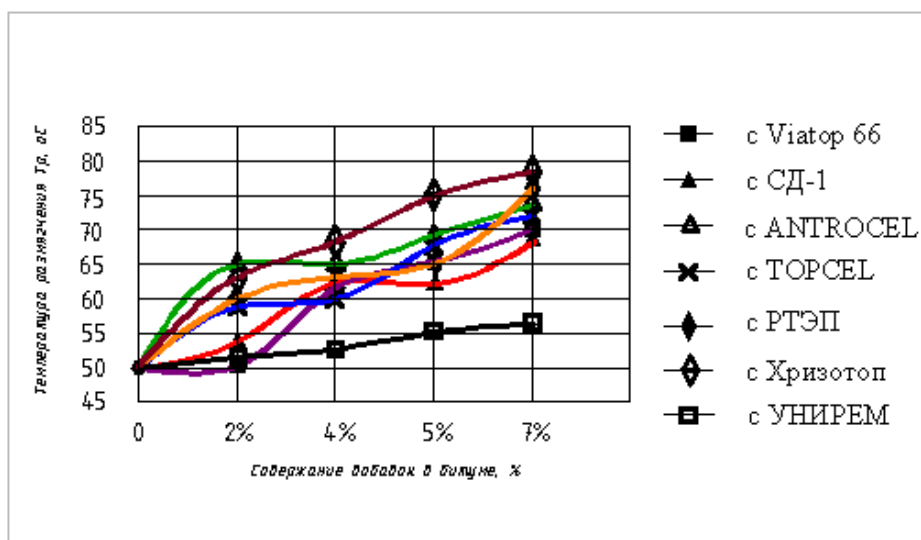


Рис. 3.5. – Зависимость значений температуры размягчения битума от количества добавки в нем

На рис. 3.5. приведена зависимость значений температуры размягчения битума от количества добавки в нем. Температура размягчения по кольцу и шару ( $T_p$ ) для битума без добавок составляет  $50^{\circ}\text{C}$ . С введением 2% Хризотоп  $T_p$  битума увеличивается до  $64^{\circ}\text{C}$ , Antrocel до  $65^{\circ}\text{C}$ , СД-1 до  $54^{\circ}\text{C}$ , Topcel до  $58^{\circ}\text{C}$ , РТЭП до  $50^{\circ}\text{C}$ , Viator 66 до  $50^{\circ}\text{C}$ , УНИРЕМ-001 до  $52^{\circ}\text{C}$ . При содержании 4% добавок значения  $T_p$  находятся в диапазоне от  $53^{\circ}\text{C}$  – УНИРЕМ-001 до  $67^{\circ}\text{C}$  – Хризотоп. Дальнейшее повышение концентрации добавок приводит к увеличению температуры размягчения. Максимальной  $T_p$  при 5% обладает битум с Хризотоп –  $75^{\circ}\text{C}$ , РТЭП и Viator 66 –  $65^{\circ}\text{C}$ . Минимальную  $T_p$  имеет битум с УНИРЕМ-001 –  $55^{\circ}\text{C}$ , СД-1 –  $62^{\circ}\text{C}$ , Antrocel –  $69^{\circ}\text{C}$ . При 7% максимальное значение  $T_p$  у битума Хризотоп –  $78^{\circ}\text{C}$ , а минимальное у битума с УНИРЕМ-001 –  $56^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, с увеличением содержания всех добавок температура размягчения увеличивается, т.е. увеличивается вязкость и прочность структуры битума.

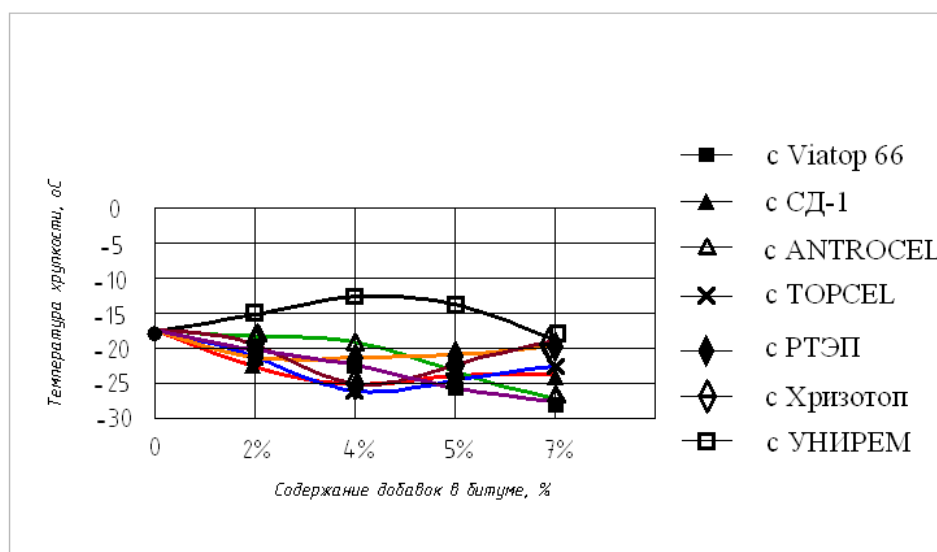


Рис. 3.6. – Зависимость значений температуры хрупкости битума от количества добавки в нем

На рисунке 3.6. приведена зависимость значений температуры хрупкости битума от количества добавки в нем. Температура хрупкости битума без добавок составляет  $-17^{\circ}\text{C}$ , с введением 2% добавки изменяется, так для СД-1 –  $-22^{\circ}\text{C}$ , Хризотоп –  $-18^{\circ}\text{C}$ , Antrocel –  $-17^{\circ}\text{C}$ , Topcel –  $-20^{\circ}\text{C}$ , РТЭП –  $-21^{\circ}\text{C}$ , Viator 66



– (-18°C) и УНИРЕМ-001 – (-15°C). При 4% минимальное значение у добавки УНИРЕМ-001 – (-13°C), а максимальное у Topcel – (-26°C). Хризотоп и СД-1 имеют одинаковые показатели – (-25°C). При большем количестве добавки 5% показатель хрупкости для Хризотоп – (-22°C), РТЭП – (-21°C), Viatop 66 – (-25°C), УНИРЕМ-001 – (-14°C). Значения для Antrocel, СД-1, Topcel – (-24°C). При 7% концентрации добавки в битуме температура хрупкости продолжает понижаться, так у УНИРЕМ-001 – (-18°C), Antrocel и Viatop 66 – (-27°C). Незначительное повышение показателя хрупкости происходит у РТЭП – (-20°C), Хризотоп – (-19°C), СД-1 и Topcel – (-23°C).

### **3.2 Взаимодействие добавок с битумом**

Для рассмотрения взаимодействия с битумом волокнистых целлюлозных добавок Viatop 66, ANTROCEL, TOPCEL, СД-1, полимерной добавки РТЭП, волокнистой минеральной добавки ХРИЗОТОП, порошковой добавки на основе дробленой резины УНИРЕМ-001, порошковой волластонитовой добавки ВОКСИЛ 100 следует вначале рассмотреть структуру и взаимодействия в битуме, а также структуру и поверхности целлюлозных и хризотил-асбестовых волокон, резиновых и волластонитовых частиц, а также особенности и назначение полиолефинового носителя и других компонентов РТЭП.

В монографии [109] Макк указывает, что Нелленштейн (1924) предложил теорию коллоидного строения битумов, основанную на наличии в них трех компонентов: лиофобной части, лиофильных частиц, окружающих лиофобные частицы и защищающие их от слияния и, наконец, масляной фазы, в которой суспензированы мицеллы. Стабильность этой системы зависит от межфазных сил, возникающих на поверхности раздела мицелл с масляной средой. Поэтому, когда в битуме происходит флокуляция частиц, например при добавлении некоторых растворителей, новая фаза не образуется, а лиофобные частицы агрегируются в более крупные в результате растворения защитного вещества и изменения сил межфазного натяжения.

В работе [48] авторы указывают, что в представлениях о структуре битумов, предложенных Нелленштейном (1933) и развитых в ряде работ, битум рассматривается как коллоидная система мицеллярного строения с находящимся в углеводородной среде ядром из асфальтенов, стабилизированным адсорбированным слоем смол. При этом основным структурообразующим элементом является асфальтены, связывающие малые молекулы ароматических углеводородов, набухая и частично растворяясь в них. Чем длиннее и многочисленнее у асфальтенов боковые цепи, тем больше молекул углеводородов они способны удержать и тем больше размер мицеллы.

В монографии [6] Поконова подчеркивает, что асфальтены в нефтях и в нефтяных остатках могут находиться либо в коллоидно-диспергированном состоянии (во взвешенном виде или в виде выпавшей фазы), либо образовывать истинные растворы. Фазовые состояния, в котором находятся асфальтены, будет определяться природой нефти, количеством смолисто-асфальтеновых веществ, температурной системы (Макк, 1974). В высокоароматизированной углеводородной среде, при небольшой концентрации асфальтенов сравнительно невысокой молекулярной массы образуется истинный раствор. Увеличение молекулярной массы и концентрации, снижение температуры и ароматичности дисперсионной среды приводят к появлению ассоциатов и образуется термодинамически неустойчивая лиофобная система. Образуют ли выделившихся асфальтены дисперсную фазу и коллоидный раствор или, агрегируясь, образуют самостоятельную псевдофазу (Рогачева, 1979) будет зависеть от концентрации и растворяющей способности смол, вязкости среды (Биккулов, 1979). Смолистые фракции, играя роль поверхностно-активных веществ образуют в ассоциате сольватный слой, так как они ориентированы к асфальтеновому ассоциату полярными фрагментами, а углеводородными к дисперсионной среде. Они представляют собой барьер, препятствующий укрупнению частиц. Устойчивость таких систем будет определяться толщиной сольватной оболочки.

Исходя из исследования поверхностей активности асфальтенов (Рогачева 1979, 1980) в интервале 20-150°C была найдена критическая концентрация

мицеллообразования (ККМ) в групповых компонентах соответствующих нефтяных остатках. Показано, что истинные растворы получаются при массовом содержании асфальтенов 0,005-0,6%. Более концентрированные растворы, образуют гетерогенные дисперсные системы. При дальнейшем концентрировании образуются первичные надмолекулярные образования и затем асфальтены выделяются в отдельную фазу. Частицы асфальтенов в коллоидных системах имеют размеры 2-30 нм и образуют коацерваты размером 2 мк. Устойчивость этих коллоидных систем против расслоения определяется толщиной сольватной оболочки, образованной из адсорбированных молекул смол, представляющих собой структурно-механический барьер, препятствующий ассоциации.

Поконова отмечает также [6], что асфальтены – вещества, имеющие различные фрагменты, отличающиеся друг от друга электронной неоднородностью. Каждый участок может характеризоваться средними значениями потенциала ионизации и сродства к электрону. Поэтому в такой системе создаются благоприятные условия для образования комплексов с переносом заряда, в которых один участок или одна молекула является донором, другая – акцептором. Электростатические взаимодействия в асфальтенах видны из такого факта: в ионном растворителе (смесь пиридин-уксусная кислота) перемещение частиц асфальтенов происходит и по направлению к катоду и к аноду, в неионном растворителе частицы асфальтенов перемещаются только к катоду. Существенный вклад в межмолекулярное взаимодействие вносят функциональные группы, связанные водородными связями. О влиянии водородной связи можно судить по таким данным: при метилировании, силилировании, ацетилировании молекулярная масса асфальтенов уменьшается от 5920 до 2950 или 3200 соответственно. Это говорит о наличии межмолекулярной водородной связи.

Наиболее общий вид взаимодействия – дисперсионное, которое проявляется между неполярными фрагментами асфальтеновых молекул и относится к силам, действующим на расстоянии 0,3-0,4 нм. Все перечисленные виды взаимодействий могут проявляться только при наличии дальнедействующих сил, заставляющих

сближаться асфальтеновые пластины. К их числу относятся: 1)  $\pi$ -взаимодействие ареновых фрагментов асфальтенов и смоляных молекул, совместно формирующих блочную структуру; 2) радикальное взаимодействие между двумя неспаренными электронами, а так же за счет радикала и системы  $\pi$ -электронов соседних молекул асфальтенов и, в меньшей степени, смол. Неспаренные электроны ассоциированы с делокализованными  $\pi$ -электронами конденсированной ароматической системы (Yen, Dickie, 1968); 3) взаимодействие за счет водородных связей между гетероатомами и водородами соседних атомов.

Бодан в работе [9] делает вывод, что битумы и их компоненты (кроме углеводородов) полидисперсны, а надмолекулярные строения битумов, смол и асфальтенов подобны. Обработка рентгенограмм показала, что битумы, смолы и асфальтены относятся к аморфным веществам «газообразного типа» с квазисферическими частицами. Механизм структурообразования в битумах, смолах и асфальтенах, очевидно идентичен. Пачечные структуры представляющие собой концентраты кольчатных структур без приферийных фрагментов, при увеличении фактора ароматичности также стремятся к сферической форме.

В результате анализа малоугольных рентгенограмм Боданом были установлены некоторые закономерности образования надмолекулярного строения битумов. Размеры первичных частиц исследуемых битумов различаются незначительно и коррелируются с размерами фрагментов молекулярной структуры - пачечных структур исследуемых битумов. Количество этих частиц на 4-7 порядков больше количества частиц следующих размеров, т.е. они являются основой всей системы. Предпочтительный размер более крупных неоднородностей кратен размеру первичных частиц и составляет 6,5-17,5 нм. Эти частицы по размерам можно отнести к мономер-мицеллам, так как они значительно отличаются агрегативной устойчивостью от еще более крупных частиц: при нагревании битумов до 160°C количество их не изменяется. Последующие размеры неоднородности надмолекулярной структуры битумов кратны размерам мономер - мицелл, из которых они образуются. При увеличении

размеров надмолекулярных структур возрастает не молекулярная масса соединений, а межмолекулярное взаимодействие, что и приводит к образованию более крупных агрегированных структур.

В работе [9] предложена также динамическая поликвасисферическая модель битумной структуры. Согласно этой модели первичные частицы (молекулярные) располагаются в соответствии с энергией их взаимодействия. В центре ядра взаимное перемещение частиц не велико, но по мере удаления от него их кинетическая энергия увеличивается в соответствии с уменьшением энергии межчастичного взаимодействия, поэтому размеры таких структур условны.

При высоких температурах, применении растворителей или незначительном содержании частиц с большим межмолекулярным взаимодействием надмолекулярные структуры могут свободно перемещаться, не создавая структурного каркаса. В этом случае агрегированные структуры условно можно рассматривать как «макромолекулы» в растворе низкомолекулярного растворителя.

При низких температурах или высоких концентрациях частиц со значительным межмолекулярным взаимодействием размеры надмолекулярных структур увеличиваются и происходит перекрытие их сфер, что приводит к образованию структурного каркаса. В зависимости от объема перекрытия битум обладает различными физико-химическими свойствами.

Сюняев в монографии [84] отмечает, что формирующиеся в нефтяной системе из высокомолекулярных систем надмолекулярные структуры обладают интересными свойствами, отличными от свойств неструктурированных жидкостей и твердых тел больших размеров: а) величина объемной энергии (когезии) в надмолекулярной структуре соизмерима или равна в экстремальном состоянии поверхностной её энергии; б) равенство объемной и поверхностной энергии достигается для возникшей простейшей структурной единицы, которая обладает специфическими свойствами (минимальной структурной прочностью и максимальной кинетической устойчивостью); в) различные соотношения объемной и поверхностной энергии в надмолекулярной структуре в моменты

возникновения и предельного роста зародыша могут быть оптимальными для осуществления ряда технологических процессов.

Надмолекулярные структуры обладают способностью под действием внешних факторов изменять степень своей дисперсности. Такое наименьшее количество массы надмолекулярной структуры, которое способно к самостоятельному существованию, получило название простейшей (первичной) структурной единицы или зародыша.

Поскольку зародыши обладают избыточной поверхностной энергией, вокруг них образуются сольватные оболочки определенной толщины. Зародыши под действием внешних факторов могут разрушаться (формируются молекулярные растворы) или расти (формируются вторичные сложные структурные единицы - ССЕ).

Вторичные сложные структурные единицы отличаются от зародыша тем, что в них по мере регулирования межмолекулярного взаимодействия среды изменяется отношение объемной энергии к поверхностной, что приводит к изменению как диаметра надмолекулярной структуры, так и толщины сольватной оболочки, а также степени упорядочения молекул в ассоциате. Таким образом, в реальных нефтяных дисперсных системах ССЕ могут находиться в виде зародыша (частный случай) и чаще всего в виде сложных структурных единиц различной степени дисперсности.

Модель строения и свойства ССЕ зависит от типа надмолекулярной структуры (асфальтеновой, парафиновой и т.д.) и для физических ассоциатов и химических комплексов являются неодинаковыми.

Основой модели ССЕ являются ассоциат или комплекс, обладающий неодинаковой прочностью связей внутри этих видов надмолекулярных структур, а также при одинаковой степени дисперсности разной поверхностной энергией.

В результате контакта ассоциата или комплекса с дисперсионной средой формируется ССЕ с полностью компенсированной поверхностной энергией и обладающая определенными физико-химическими свойствами.

ССЕ могут иметь постоянные свойства только в дисперсионной среде

определенного состава и при сохранении постоянным воздействия внешних факторов. В результате изменения энергетических характеристик (например, при воздействии температуры) в ССЕ возможны химические и физические превращения.

Сюняев подчеркивает [84], что в соответствии с предложенной моделью структуры нефти и нефтяных остатков структурированные нефть и нефтепродукты представляют собой надмолекулярные структуры, окруженные сольватной оболочкой, за пределами которой находятся соединения в молекулярном состоянии. Формирование и разрушение ССЕ (физический и физико-химический процесс) осуществляется (плохой растворитель) промежуточными активными сложными структурными единицами, обладающими некомпенсированной поверхностной энергией (аналогично свободным радикалам, ведущим химический процесс).

Наполненные нефтяные дисперсные системы [84] могут быть получены на базе неструктурированных систем введением специальных наполнителей в регулируемом количестве и необходимого качества. Наполнителями таких систем могут служить извлеченные из нефти и продуктов ее переработки надмолекулярные структуры (асфальтены, полициклическая ароматика, мезофаза, парафины, карбены, карбоиды). Для этой цели в некоторых случаях могут использоваться и наполнители не нефтяного происхождения (способ получения композиционных материалов).

В работе [84] указывается, что сольватная оболочка характеризуется пониженным значением молекулярной массы, высокой концентрацией сильнополярных компонентов типа нефтяных кислот и малой концентрацией парамагнитных молекул по сравнению с ядром. Внешними воздействиями (смешением нефтей различной природы, добавками поверхностно-активных или инактивных веществ, изменением рН среды, воздействием различных полей: тепловых, механических, акустических, электромагнитных, ультрозвуковых; изменением скоростей нагревания и охлаждения и др.) представляется возможным в значительных пределах изменять средние размеры ССЕ в нефтяных

дисперсных системах.

В работе [2] с использованием метода малоуглового слияния рентгеновских лучей установлено, что неокисленные битумы содержат 85-86% мелких коллоидных образований с размерами частиц 0,9-1,0нм и 12-13% крупных коллоидных частиц с размером 40,5-41,5нм. Окисленный битум дает другое распределение, а именно: 30-31% частиц с размерами до 1,6нм и 69-70% крупных коллоидных частиц с размерами до 44,0нм.

Целлюлоза - полисахарид  $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$ , один из самых распространенных природных полимеров, главная составляющая клеточных стенок высших растений. Техническая целлюлоза - волокнистый полуфабрикат, получаемый в промышленности более или менее полной очисткой волокон растительных тканей от нецеллюлозных компонентов;

Межмолекулярное взаимодействие в целлюлозе осуществляется как физическими силами с малой энергией взаимодействия (напр., вандерваальсовыми), так и водородными связями. Возможность разрыва и повторного образования последних обуславливает ряд важных свойств целлюлозных материалов, в частности возможность получения из них бумаги. В сухой целлюлозе практически все ОН-группы участвуют в образовании водородных связей. Первичный элемент надмолекулярной структуры целлюлозы микрофибрилла толщиной 35 – 100А, длиной 500 – 600А и выше, имеющая обычно форму спирали. В состав микрофибрилл входит несколько сотен макромолекул. Микрофибриллы образуют агрегаты размером 300х1500А, расположенные в виде спиралей, образующих слои клеточной стенки древесины или волокон хлопка.

В работе [91] отмечается, что общепринятой в настоящее время является модель элементарной фибриллы Денниса и Престона [Dennis, Preston, 1961], представленная на рис. 3.7. В соответствии с этой моделью молекулярные цепи целлюлозы образуют кристаллическое ядро с высокой степенью упорядоченности. В области, непосредственно прилегающей к ядру, степень упорядоченности макромолекулярных цепей существенно уменьшается. Здесь же



наряду с полиглюкозидными цепями могут находиться макромолекулы, состоящие из других моносахаридов. В реальных условиях элементарные фибриллы всегда ассоциированы в агрегаты из достаточно большого числа элементарных фибрилл, составляющих микрофибриллы.

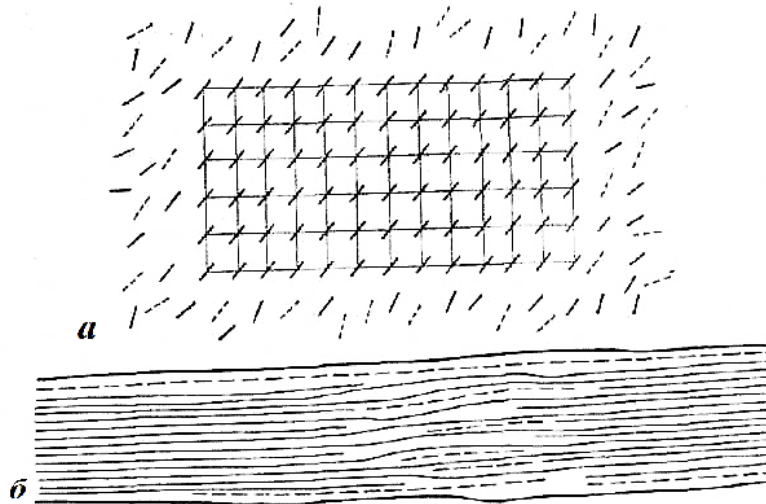


Рисунок 3.7. [91] Схема модели элементарной фибриллы природной целлюлозы:

а – поперечное сечение, наклонные прямые линии обозначают положение макромолекул состоящих из других моносахаридов. В центре – кристаллическое ядро элементарной фибриллы; б – продольное сечение элементарной фибриллы; пунктир – положение макромолекул из неглюкозидных остатков.

Фенглер и Вегенер в работе [105] констатируют, что результаты рентгенографических исследований, опытов деградации целлюлозы, электронно-микроскопических наблюдений и других исследований привели к ряду концепций относительно расположения молекул целлюлозы в фибриллярных элементах. Общее для всех моделей, описанных в литературе, - существование упорядоченных участков, образованных продольно идущими цепями с параллельной или антипараллельной ориентацией. Эти модели, таким образом, различаются в основном представлением о строении менее упорядоченных участков. Все модели можно свести к трем основным принципам (рис. 3.8.):

продольно расположенные молекулы переходят из одного упорядоченного участка в другой, образуя менее упорядоченные зоны (система «бахромчатых» мицелл) (рис. 3.8.,  $a_1$ ,  $a_2$ )

фибриллярные элементы представляют собой отдельные нити, состоящие из продольно расположенных молекул с чередованием упорядоченных и неупорядоченных участков (рис. 3.8., б<sub>1</sub> б<sub>2</sub>);

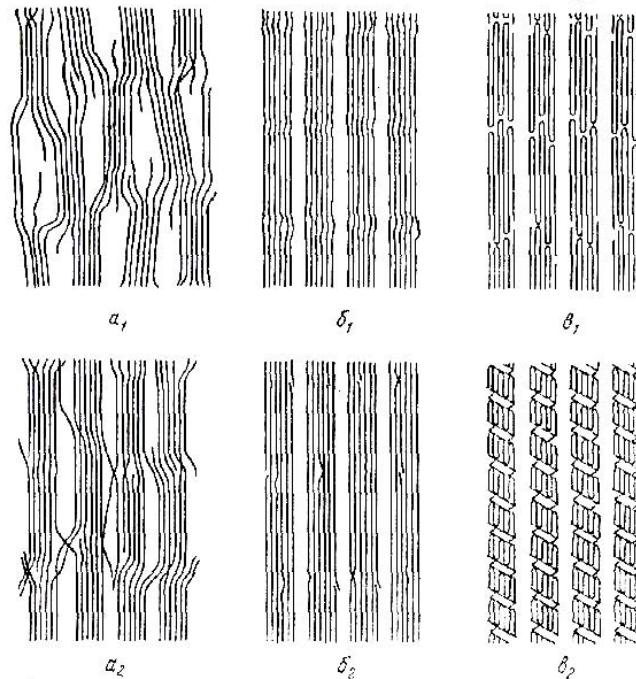


Рисунок 3.8 [9] основных модели структуры целлюлозных фибрилл (а<sub>1</sub>, б<sub>1</sub> в<sub>1</sub>,) и их варианты (а<sub>2</sub>, б<sub>2</sub>, в<sub>2</sub>).

упорядоченные участки представляют собой пачки цепей, складывающихся в продольном направлении, причем области поворота цепей (скачков) образуют менее упорядоченные участки (рис. 3.8., в<sub>1</sub>, в<sub>2</sub>).

В соответствии со структурной концепцией бахромчатых мицелл цепи целлюлозы могут идти как в параллельном, так и в антипараллельном направлении. Если учесть результаты электронно микроскопических наблюдений, следует принять модель, представленную на рис. 3.8., а<sub>2</sub>. Преимуществом этой модели является возможность простого объяснения колебаний диаметра фибрилл.

Петропавловский в работе [71] указывают, что слоистость и фибриллярное строение волокна целлюлозы лучше всего наблюдаются после его обработки жидкостями, вызывающими набухание. Так, например, если подвергнуть целлюлозу набуханию в воде, а затем механическому размолу, то наблюдается в основном продольное расщепление волокон на нитевидные пучки, т. е. явно

выраженное фибриллирование. Если целлюлоза не набухла, то механический размол (в неводных средах) приводит не к фибриллированию, а только к хрупкому разрушению волокна [115]. То, что набухшая целлюлоза распадается на пучки при размолу, говорит о неравноценности связей внутри волокна, о его макро- и микрогетерогенности. Набухание – процесс, приводящий к разрушению слабых связей, к выявлению скрытой гетерогенности системы. В то же время набухание увеличивает пластичность целлюлозного волокна в целом, так как ослабляет внутри него межмолекулярное взаимодействие. Это позволяет произвести сдвиг элементов структуры волокна по плоскостям наиболее слабых связей. При гидролизе разбавленными кислотами, реакция деструкции совершенно четко разделяется на две кинетические стадии – быструю и медленную. Остаток от гидролиза представляет собой распавшиеся на части волокна целлюлозы, имеющие «предельную» степень полимеризации, которые в определенных условиях диспергируются в воде и при рассмотрении в электронном микроскопе имеют вид анизодиаметрических частиц типа иголок, обычно собранных в поле зрения в агрегаты (пучки).

Батисте (2011,1962,1965) ввел термин «микрористаллическая целлюлоза» (МКЦ) для обозначения гидролизованной до «предельной» степени полимеризации целлюлозы, диспергируемой в воде до указанных анизодиаметрических частиц.

В [71] так же отмечается, что рядом исследователей было показано, что гидролизованная до «предельной» степени полимеризации целлюлоза под действием высоких сдвиговых напряжений в воде способна диспергироваться с образованием гелеобразных дисперсных систем, содержащих удлиненные частицы.

В концентрированных дисперсионных системах имеет место сильное взаимодействие между частицами целлюлозы, поэтому «связывание» молекул воды осуществляется агрегатами частиц.

МКЦ может также диспергироваться в неводных жидких средах: спиртах, глицерине, касторовом масле. Дифференциальные кривые распределения частиц

диспергированной микрокристаллической целлюлозы показывают, что наибольшей диспергирующей способностью обладает вода, причем распределение частиц по размерам является узким. В этиловом спирте распределение также является статистически узким. При диспергировании в негидроксилсодержащей жидкости (касторовое масло) размеры частиц различны, распределение широкое. Таким образом, характерными особенностями микрокристаллической целлюлозы являются гетерогенное распределение частиц по размерам и способность при диспергировании в гидроксилсодержащих средах образовывать статистически однородный набор частиц с узким распределением по размерам.

В работе [105] также отмечается, что проникновение воды в структуру целлюлозы приводит к ее набуханию. Другие растворители также могут адсорбироваться и связываться Н-связями с целлюлозой, например диметилсульфоксид (SO<sub>2</sub> - группы) и пиридин (NH-группы). Такие растворители приводят к набуханию, зависящему от температуры. Растворители иного типа, такие, как диоксан, бензол, не могут связываться Н-связями. Эти растворители только оказываются инклюдированными в структуре целлюлозы и вызывают набухание, не зависящее от температуры (Chitumbo, Brown, 1974; Richter, Herdle, Wahtera, 1957). Присутствие неполярных растворителей в целлюлозе при ее последующей сушке препятствует образованию межмолекулярных Н-связей. Такие растворители, как циклогексан, бензол, нельзя полностью удалить сушкой даже в высоком вакууме. Полагают, что молекулы таких растворителей «заклиниваются» между поверхностями целлюлозы (Richter, Herdle, Wahtera, 1957; Staudinger, Birken, 1953). Целлюлоза, содержащая остатки неполярного растворителя, имеет высокую реакционную способность, например легко ацетируется.

Процесс структурообразования и взаимодействий в наполненной битумной системе дорожный битум – целлюлозные волокна можно представить следующим образом. При температуре 140-160°С дорожный битум (например БНД 60/90) представляет собой ньютоновскую жидкость, значения динамической вязкости

составляют 0,2-0,5 Па<sup>0</sup>с. Размеры ССЕ и сольватных оболочек минимальны. При введении в расплавленный битум целлюлозных волокон начинают происходить процессы смачивания их поверхности компонентами битума. При механическом перемешивании битум растекается по поверхности волокон, межволоконные водородные Н-связи разрываются, волокна перестают контактировать друг с другом и распределяются в битумной среде.

В первые 3-5 минут процесса структурообразования при содержании волокон в системе в количестве 15-20% их присутствие визуально незаметно. Через 15-20 минут можно заметить, что начинает происходить «обезмасливание» системы. Битумоцеллюлозная смесь начинает загустевать и приобретать гелеподобную структуру, которая по внешнему виду напоминает кашеподобную массу с черным блеском, что свидетельствует об интенсивно проходящем процессе набухания целлюлозных волокон.

В результате теплового и механического воздействия и межмолекулярных взаимодействий с компонентами битумной системы начинают ослабевать связи между агрегатами микрофибрилл размерами 30x150нм расположенными в виде спиралей. В результате расклинивающего действия углеводородных компонентов битумной дисперсионной среды и проникания этих компонентов, а также молекул смол и далее промежуточных ССЕ в межфибрилярное пространство, расстояние между микрофибриллами в агрегатах увеличивается, часть микрофибрилл толщиной 3,5-10,0нм и длиной 50-60нм оказываются полностью окружены битумной дисперсионной средой. Под влиянием поверхностных сил агрегатов микрофибрилл на их поверхности адсорбируются промежуточные ССЕ, происходит изменение группового состава битумной дисперсионной среды: количество углеводородных компонентов и смол уменьшается, а ССЕ увеличиваются. Межмолекулярное взаимодействие между микрофибриллами и крупными ССЕ приводит к появлению агрегатов микрофибрилл и ССЕ. Образуется гелеподобная подвижная высококонцентрированная битумоцеллюлозная дисперсная система.

Рассмотрим далее взаимодействие минеральных добавок Хризотоп и Воксил

100 с битумом.

Добавку Хризотоп получают измельчением хризотил-асбеста, который входит в группу серпентина –  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8[15]$ , является природной разновидностью гидросиликатов, легко расщепляющихся на тонкие (до 0,5 мкм) прочные волокна. Наиболее распространены хризотил-асбесты  $(Mg, Fe)_6[Si_4O_{10}](OH)_8[108]$ . Химический состав (мас.%):  $MgO-43,0$ ,  $SiO_2 - 44,1$ ,  $H_2O - 12,9$ . В структурном отношении волокна хризотил-асбеста представляют собой тончайшие полые цилиндры, «свернутые» из листов кремнекислородных тетраэдров. Внешний диаметр таких цилиндров 20-30нм, внутренний 8-10нм. В природе встречается в виде параллельно-шестоватых волокнистых агрегатов, в которых длина волокон достигает до 70мм. Хризотил-асбест легко расщепляется на тончайшие волокна до 0,1-0,5 мкм в диаметре, которые отличаются высокой эластичностью и прочностью. Характеризуется высокими адсорбционными свойствами.

Добавку Воксил 100 получают измельчением волластонита, который входит в группу пироксеноидов -  $CaSiO_3$  Химический состав (мас.%):  $CaO - 48,27$ ,  $SiO_2 - 51,73[108]$ . Облик кристаллов игольчатый, удлиненно-таблитчатый. Встречается в виде игольчатых, спутанно-волокнистых, грубоволокнистых агрегатов. Поперечное сечение отдельных кристалликов от десятых долей до 1-2мм, длина волокон значительно больше[60].

При объединении добавок Хризотоп или Воксил 100 с битумом в результате перемешивания при технологической температуре происходят процессы смачивания минеральной поверхности, растекания, формирования поверхности раздела битум-минеральный материал. Под воздействием тепловой энергии и механических воздействий гранулы Хризотоп распадаются на отдельные волокна, на которых происходит адсорбция ССЕ битума. Жидкие углеводороды проникают также в полые цилиндры микроволокон. В результате вязкость битумной дисперсионной среды увеличивается, возникают сольватные оболочки из ССЕ на поверхности микроволокон, размеры и степень агрегированности ССЕ также изменяются. При взаимодействии частиц добавки Воксил 100 с битумом

происходит адсорбция ССЕ на минеральной поверхности, образуется ориентированный слой битум[55].

Рассмотрим взаимодействие с битумом добавки УНИРЕМ-001 на основе резинового порошка. Согласно СТО 61595504-002-2010 «Материал композиционный УНИРЕМ-001 на основе активного резинового порошка. Технические условия» активный порошок дискретно девулканизированной резины по ТУ 2519-001-74145205-06 получают методом высокотемпературного сдвигового измельчения первичного резинового порошка. Этот первичный порошок производят по ТУ 38.108035-97 путем измельчения изношенных отработанных автопокрышек или различных отходов резинотехнических изделий на основе не полярных каучуков. Активный резиновый порошок способен к самовулканизации при стандартных условиях без применения дополнительных агентов вулканизации. Добавка «УНИРЕМ-001» должна содержать активный резиновый порошок с размером частиц не более 0,8мм, гелеобразующий адгезионный агент для предотвращения отслоения битумной пленки от минеральных материалов асфальтобетона, ускоритель набухания резины в битуме, сшивающий агент.

Как известно [115], общие требования к шинным резинам – это высокая усталостная выносливость и малое теплообразование. Резины для протектора должны быть, кроме того, износо- и атмосферостойкими, иметь высокие прочность при растяжении и сопротивление раздиру. Резина для каркаса должна обладать высокой эластичностью. Основные типы каучуков для шинных резин – бутадиен-стирольные; стереорегулярные бутадиеновые и изопреновые (синтетический и натуральный). Резины с оптимальным комплексом свойств получают на основе комбинаций перечисленных каучуков в различных соотношениях. В качестве наполнителей шинных резин используют главным образом печные высокодисперсные сажи из жидкого сырья.

Бутадиеновые каучуки являются продуктами полимеризации бутадиена[113]. Среднечисленная молекулярная масса стереорегулярных бутадиеновых каучуков изменяется от 80000 до 280000 и зависит от типа

катализатора и способа проведения полимеризации. Их макромолекулы имеют высокую гибкость, близкую к гибкости макромолекул натурального каучука. Низкая молярная когезия и относительно высокая гибкость макромолекул обуславливают высокую подвижность молекулярных цепей стереорегулярных бутадиеновых каучуков в широком интервале температур и пониженные по сравнению с натуральным каучуком температуры их стеклования. Для бутадиеновых каучуков температура стеклования – от минус 95°C, для натуральных – от минус 68°C[113]. Стереорегулярные бутадиеновые каучуки, содержащие более 80% звеньев 1,4-цис, кристаллизуются.

Резины на основе стереорегулярных бутадиеновых каучуков характеризуются низкой стойкостью к действию масел, растворителей, топлив, отличаются высокой водостойкостью[113]. Стереорегулярные бутадиеновые каучуки применяют главным образом в сочетании с изопреновыми, бутадиенстирольными и другими каучуками для изготовления протекторных и обкладочных (каркас, бреккер, боковина) шинных резин. Содержание стереорегулярных бутадиеновых каучуков в протекторе шин составляет 20-50 массовых частей, сажи – 50-80 массовых частей, масла 5-35 массовых частей.

Таким образом, частицы резинового порошка состоят из вулканизированного каучука, наполнителя (как правило, активные печные сажи) и пластификатора (наиболее широко используются высокоароматические и парафино-нафтеносодержащие минеральные масла). Для стереорегулярных бутадиеновых каучуков характерно более интенсивное взаимодействие с активными наполнителями, чем для изопреновых, бутадиенстирольных и нестереорегулярных бутадиеновых каучуков. Это проявляется, в частности, в более высоком эластическом восстановлении наполненных смесей при высоких температурах[2], которое повышается в ряде случаев с ростом температуры, что указывает на образование сетчатых каучуко-сажевых структур с высокой термомеханической устойчивостью. Взаимодействие с активными наполнителями проявляется также в ограниченном набухании наполненных смесей в сильных растворителях (толуол, хлороформ).



При введении в расплавленный битум с температурой 160°C и выше порошковой добавки УНИРЕМ-001 и распределении ее в битуме происходит взаимодействие компонентов добавки и компонентов битума между собой. В таблице 3.2 приведен перечень компонентов добавки УНИРЕМ-001 и их назначение в соответствии с СТО 61595504-002-2010 и патентом на изобретение №2377262. Ввиду того, что частицы активного резинового порошка являются, по меньшей мере, трехкомпонентными, т. е. состоят из каучука, сажи и масла, они неактивно взаимодействуют с компонентами битума.

Таблица 3.2

Компоненты добавки УНИРЕМ-001 и их назначение в соответствии с СТО 61595504-002-2010 и патентом на изобретение №2377262.

№ п/п	Компоненты и их назначение в соответствии с	
	СТО 61595504-002-2010	патентом на изобретение №2377262
1	Активный резиновый порошок с крупностью частиц не более 0,8 мм	Термомеханически измельченный резиновый вулканизат в присутствии антиагломератора в количестве 0,1-2,0% от массы резинового вулканизата с удельной поверхностью не менее 5000 см <sup>2</sup> /г.
2	Гелеобразующий адгезионный агент	Инициатор гелеобразования, выбранный из группы: 4-нитро-N-метиланилин, N-метил-N, 4-динитрозо-анилин, N(2-метил-2-нитропропилен)-4-нитрозоанилин, N-нитрозодифениламин.
3	Сшивающий агент	Структурирующий агент с индукционным периодом структурирования не менее 30 мин. при температуре 160°C, выбранный из группы: алигомерная эпоксидная смола, эпоксоднодиановая смола, поликонденсированная смола, способствующая образованию разветвленных или сетчатых структур.

4	Ускоритель набухания резины в битуме	Метасиликат игольчатой структуры
---	--------------------------------------	----------------------------------

Взаимодействия на поверхности раздела имеют различный характер, определяемый взаимодействующими компонентами. Для активизации взаимодействий на границе раздела битум – поверхность резиновой частицы вводится гелеобразующий адгезионный агент или инициатор гелеобразования, который способствует возникновению более активных крупных ССЕ, увеличению сольватных оболочек вокруг ССЕ, что приводит к образованию более прочных сольватных оболочек на поверхности раздела битума – резиновые частицы. Введение сшивающего или структурирующего агента также инициирует процессы структурообразования и улучшение адгезионных связей битум – резиновая частица, т. к. после распределения смолы в виде порошка начинаются процессы полимеризации, образуются точечные очаги новообразований, которые также изменяют растворяющую способность дисперсионной среды в битуме, изменяются размеры ССЕ, образуются конденсированные структуры из компонентов битума и продуктов полимеризации. Для улучшения смачивания поверхности резиновых частиц путем его раскисления вводится метасиликат Са игольчатой структуры (микроволластонит). Обладая после раскисления большим сродством к резиновым поверхностям масляные компоненты битума должны более активно проникать вглубь резиновых частиц, тем самым способствуя их набуханию.

Рассмотрим взаимодействие с битумом полимерной гранулированной добавки РТЭП. Согласно[12] РТЭП (резиновый термоэластопласт) представляет собой гранулы темного цвета сферической формы диаметром около 3мм и состоит из бутадиенового каучука (дивинилового), наполненного карбонатом кальция (6-10%) и серой (3-6%). В методических рекомендациях[65] компонентный состав РТЭП представлен резинопolyмерным материалом, полиолефинами, битумным вяжущим и антиоксидантами. РТЭП удовлетворяет требованиям, изложенным в ТУ 5718-001-79259416-2006. «Термоэластопласт резиновый РТЭП». «Технические

условия». В данных технических условиях указано, что добавка представляет собой многокомпонентную композицию на основе полиолефинового полимерного носителя, содержащего дорожный битум. Полиолефины – продукты полимеризации непредельных углеводородов олефинового ряда (этилен, пропилен, бутиленов и др.) [58]. Молекулы полиолефинов обычно длинные линейные цепи с небольшим количеством коротких и длинных боковых ответвлений. В энциклопедии полимеров [114] приводится более точное определение полиолефинов: олефинов полимеры – высокомолекулярные соединения, образующиеся при гомо- или сополимеризации олефинов. В [114] указываются также, что существенный недостаток олефинов полимеров – плохая адгезия, обусловленная отсутствием полярных групп, и сравнительно невысокая жесткость, из-за которой часто ограничивается применение этих полимеров как конструкционных материалов. В таблице 3.3 приведены свойства основных представителей полиолефинов [113]-[115]. Как видно из таблицы, все представители полиолефинов – термопластичные линейные полимеры с плотностью при 20°C ниже 1 т/см<sup>3</sup>, наиболее тугоплавкий полимер – полиэтилен, наименее тугоплавкий – изотактический полипропилен. Полиэтилен переходит в хрупкое состояние при более низкой температуре (до -150°C), чем полиизобутилен (до -88°C) и полипропилен (до -20°C). Растворяется в углеводородах только полиизобутилен. Полипропилен ограниченно растворяется при повышенных температурах в ароматических и гидроароматических углеводородах. Полиэтилен при комнатной температуре не растворяется органических растворителях, выше 80°C хорошо растворяется в алифатических и ароматических углеводородах.

На основе вышеприведенных сведений о полиолефинах, а также о протекании процесса растворения добавки РТЭП в битуме, можно сделать вывод о том, что названные добавки «Резиновый термоэластопласт» не соответствует ее составу, т. к. резиновых частиц после растворения в битуме обнаружено не было, а используемый полиолефиновый носитель относится не к классу термоэластопластов, а к классу термопластичных полимеров.

Свойства основных представителей полиолефинов

№ п/п	Название полимера	Класс полимера	Свойства				Растворимость
			Среднемассовая молекулярная масса	Плотность при 20°C, г/см <sup>3</sup>	Температура плавления (размягчения), °C	Температура хрупкости, °C	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Полиэтилен -высокого давления -низкого давления -среднего давления	Термопластичный линейный полимер	300-400 тыс. 50-800 тыс. 50-800 тыс.	0,918-0,930 0,954-0,960 0,960-0,968	110-103 132-124 135-128	от -120 до -80 от -150 до -70 от -140 до -70	При комнатной температуре не раств. в органических растворителях; выше 80°C хорошо растворяется в алифатических и ароматических углеводородах
2	Полипропилен: -атактический -изотактический	-,-,-	300000 700000	0,84-0,85 0,92-0,93	30-80 72	от -10 до -20 от -10 до -20	При повышенных температурах ограничено растворим в ароматических и гидроароматических углеводородах
3	Полиизобутилен: -вязкая жидкость -каучукоподобный аморфный продукт	-,-,-	10000-50000 70000-225000	0,83-0,91 0,91-0,93	- 100	от -68 до -88 от -68 до -88	Растворяется в углеводородах
4	Полибутен: -изотактический	-,-,-	50000-100000	0,92	124-130	нет данных	Хорошо растворяется в н-алкилацетатах

Процесс взаимодействия добавки РТЭП с битумом при перемешивании их при температуре 160°C заключается в расплавлении полиолефинового полимерного носителя и механическом его распределении в объеме жидкого битума. После прекращения перемешивания на поверхности битума образуется слой расплавленного полиолефинового полимерного носителя, что объясняется более низкой его плотностью по сравнению с битумом, низкой растворимостью в битуме. Взаимодействия между компонентами битума и макромолекулами и надмолекулярными образованиями полимера слабые, битум как бы «выталкивает» полиолефиновый носитель на поверхность.

### **3.3 Обоснование метода определения битумоудерживающей способности добавок по испытаниям в асфальтовяжущем**

При взаимодействии битума с минеральными частицами менее 0,071 мм в процессе получения асфальтобетонных смесей формируется микроструктура асфальтобетонной смеси и в дальнейшем асфальтобетона. Для изучения микроструктуры традиционно используется модельная система «битум + минеральный порошок», т.е. асфальтовяжущее вещество [52]. Исследуя зависимости физико-механических свойств асфальтовяжущего от количества битума в нём, сравнивая между собой свойства асфальтовяжущего оптимальной структуры с различными стабилизирующими добавками, можно предварительно оценить, в каком направлении будут изменяться свойства микроструктуры асфальтобетона, и как это будет влиять на свойства асфальтобетона.

Асфальтовяжущее оптимальной структуры с оптимальным количеством битума, т.е. с наибольшей средней плотностью, прочностью и с низким водонасыщением представляет собой высококонцентрированную дисперсную систему, в которой поверхность раздела представляет собой ориентированный слой битума с содержанием объемного битума до 15% [52]. Удельная поверхность минеральных частиц мельче 0,071 мм в асфальтобетоне изменяется от 190 до

700м<sup>2</sup>/кг, для фракции гранитного щебня 5-10мм она составляет 0,74м<sup>2</sup>/кг, а для фракции 10-15мм – 0,44м<sup>2</sup>/кг[52]. Битумоемкость известняковых частиц размером менее 0,071мм составляет 16%, для частиц фракции 0,071-0,14 – 9,4%, битумоемкость частиц щебня фракции 5-10мм составляет 5,2%, а частиц 10-15мм – 4,7%[52]. В щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях содержание щебня может достигать до 75%, а содержание минерального порошка до 20%. Таким образом, наиболее битумоемкими являются тонкодисперсные частицы минерального порошка с большой удельной поверхностью.

В ЦМАС битумоудерживающая способность определяется по показателю стекания смеси при 170°С, который характеризует степень налипания мастики или асфальтовяжущего на стенки стеклянного стакана. Введение стабилизирующих добавок в ЦМАС уменьшает налипание и показатель стекания. Битумоемкость по Королеву И.В.[52], также характеризует битумоудерживающую способность минеральных частиц различной крупности и минерального состава. При введении в асфальтовяжущее различных стабилизирующих добавок будет изменяться битумоемкость или битумоудерживающая способность асфальтовяжущего. По степени изменения битумоемкости по сравнению с асфальтовяжущим без добавок можно будет оценить и сравнить битумоудерживающие способности различных добавок. Для этого предлагается вычислять коэффициент битумоудерживающей способности согласно п. 2.2.2.

### **3.4 Оценка битумоудерживающей способности добавок VIATOR 66, ANTROCEL, TOPCEL, СД-1, ХРИЗОТОП, УНИРЕМ-001, РТЭП**

Для оценки битумоудерживающей способности изготавливалось семь партий образцов асфальтовяжущего с различным количеством битума в смеси: без стабилизирующих добавок, с добавками VIATOR 66, СД-1, ANTROCEL, TOPCEL, РТЭП, Хризотоп при процентном соотношении по массе добавка/минеральный порошок равном 3/97. Это соотношение соответствует

рекомендуемым нормативными документами расходам стабилизирующих добавок для производства щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей [19].

В каждой партии требовалось выбрать асфальтовяжущее с оптимальным количеством битума, которое имело бы оптимальную структуру и максимальное количество ориентированного битума в битумных пленках. Зависимость средней плотности, водонасыщения и прочности при сжатии при 50°C асфальтовяжущего от количества битума приведены на рис. 3.9–3.11. Готовая смесь асфальтовяжущего с недостаточным количеством битума для обволакивания минеральных зерен во всех семи партиях представляла собой рыхлый порошок серого цвета. Свойства асфальтовяжущего в этом случае характеризовались повышенным водонасыщением и пониженной средней плотностью и прочностью.

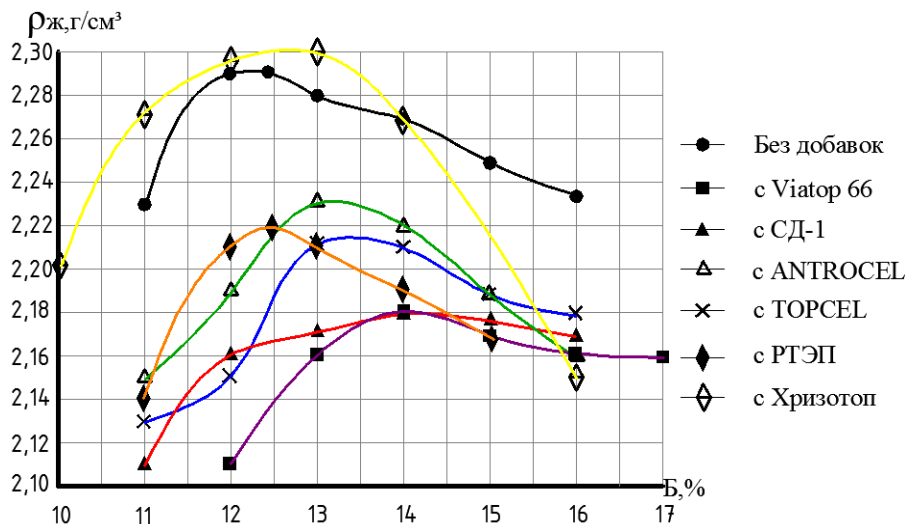


Рисунок 3.9. – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего от количества битума

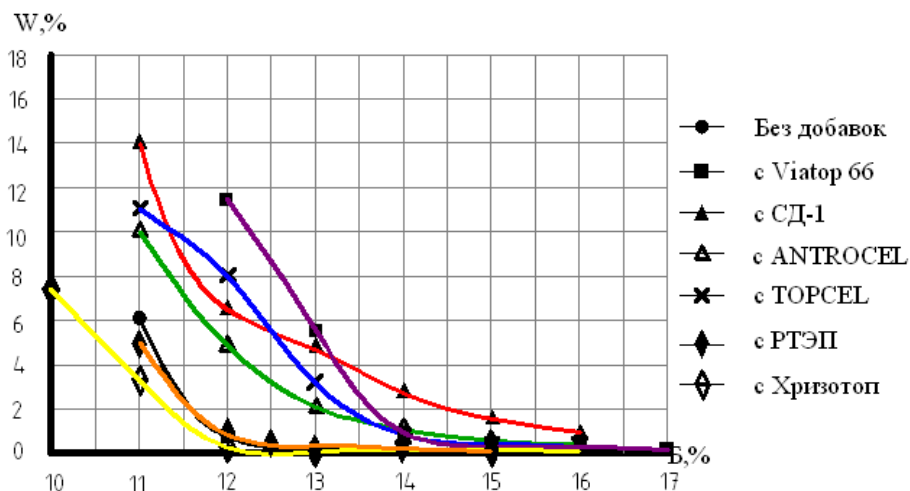


Рисунок 3.10. – Зависимость водонасыщения асфальтовяжущего от количества битума

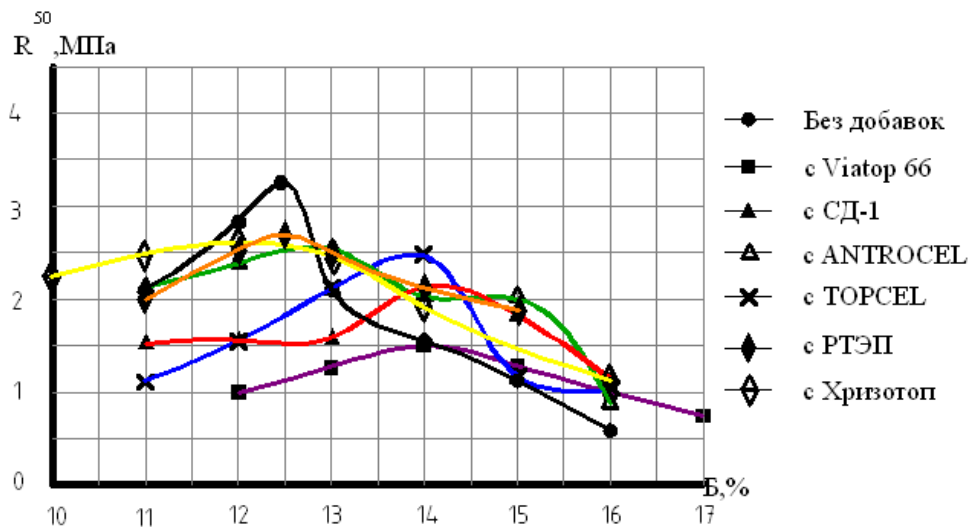


Рисунок 3.11. – Зависимость прочности при сжатии при 50°C асфальтовяжущего от количества битума

Готовая смесь асфальтовяжущего с избыточным количеством битума представляла собой подвижную массу с чёрным жирным блеском, поэтому образцы асфальтовяжущего имели низкое водонасыщение и пониженную среднюю плотность и прочность. В асфальтовяжущем с оптимальным количеством битума соотношение битум/минеральный порошок является оптимальным, при этом средняя плотность и прочность асфальтовяжущего достигает максимально возможных значений. Для асфальтовяжущего без добавок оптимальное количество битума, т.е. битумоёмкость смеси составляет 12,4% от массы минеральной части, для асфальтовяжущего с добавками Хризотоп – 13% РТЭП – 12,5%, VIATOR 66 – 14%, СД-1 – 14%, ANTROCEL – 13%, TOPCEL – 13%.

Результаты определения физико-механических свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры со стабилизирующими добавками представлены в таблице 3.4.



Показатели физико-механических свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры со стабилизирующими добавками

№ п/п	Состав асфальтовяжущего, %	Физико-механические показатели						Водосто йкость
		Средняя Плотнос ть, г/см <sup>3</sup>	Водо- насыще ние, в % по объёму	Предел прочности при сжатии, (МПа)				
				при 20°С в водонасы- щенном состоянии	при 20°С	при 50°С	при 0°С	
1	Мин. порошок – 100%, битум - 12,4% от массы мин. части	2,29	0,09	4,36	6,68	1,97	9,94	0,65
2	Мин. порошок – 97%, VIATOP 66 – 3%, битум – 14% от массы мин. части	2,18	0,63	3,13	3,65	1,47	6,37	0,86
3	Мин. порошок – 97%, СД-1 – 3%, битум – 14% от массы мин. части	2,18	2,58	3,42	4,46	2,28	6,23	0,77
4	Мин. порошок – 97%, ANTROCEL– 3%, битум – 13% от массы мин. части	2,23	2,05	5,12	5,38	2,54	5,68	0,95
5	Мин. порошок– 97%, TOPCEL – 3%, битум – 13% от массы мин. части	2,21	1,82	4,79	4,57	2,49	5,42	1,05
6	Мин. порошок – 97%, Хризотоп – 3%, битум – 12% от массы мин. части	2,30	0,16	3,86	3,84	1,65	5,88	1,01
7	Мин. порошок – 97%, РТЭП– 3%, битум – 12,5% от массы мин. части	2,22	0,08	4,97	6,59	2,67	9,88	0,75

Асфальтовяжущее без добавок имеет среднюю плотность 2,29 г/см<sup>3</sup>. При введении 3% добавки ANTROCEL средняя плотность снижается до 2,23 г/см<sup>3</sup>, при введении 3% РТЭП средняя плотность снижается до 2,22 г/см<sup>3</sup>, с добавкой TOPCEL до 2,21 г/см<sup>3</sup>, а с добавкой Viator 66 и СД-1 до 2,18 г/см<sup>3</sup>. При введении 3% добавки Хризотоп средняя плотность повышается до 2,30 г/см<sup>3</sup>. Прочность при сжатии при 20°С и 0°С для асфальтовяжущего без добавок выше по сравнению с асфальтовяжущим со стабилизирующими добавками, а при 50°С примерно одинакова. Асфальтовяжущее с добавкой Viator 66 отличается пониженной прочностью при 20°С и 0°С, прочность при 50°С соизмерима с прочностью асфальтовяжущего без добавок, водостойкость выше, чем у асфальтовяжущего без добавок, но ниже чем у асфальтовяжущего с добавками ANTROCEL, TOPCEL, Хризотоп.

Добавка РТЭП в асфальтовяжущем повышает его теплостойкость, не увеличивая прочность на сжатие при 0°С, т.е. не изменяет температуру трещинообразования при пониженных температурах. Добавка технической целлюлозы Viator 66 в асфальтовяжущем снижает его жёсткость, т. к. почти в 2 раза уменьшается прочность на сжатие при 20°С. Почти на 30% снижается прочность асфальтовяжущего при 0°С, т. е. понижается температура трещинообразования при пониженных температурах. Несмотря на то, что в асфальтовяжущем с добавкой VIATOR 66 оптимальное количество битума на 1,5% выше, теплостойкость его незначительно ниже по сравнению с асфальтовяжущем без добавок, что видно по прочности на сжатие при 50°С. Асфальтовяжущее с добавками СД-1, ANTROCEL, TOPCEL, Хризотоп по сравнению с асфальтовяжущим без добавок имеет пониженную жесткость, так как уменьшается прочность на сжатие при 20°С. Также снижается прочность асфальтовяжущего при 0°С, т.е. понижается температура трещинообразования при пониженных температурах. По прочности на сжатие при 50°С видно, что теплостойкость асфальтовяжущего с добавками СД-1, ANTROCEL, TOPCEL выше по сравнению с асфальтовяжущим без добавок и с добавкой VIATOR 66.

### 3.5 Оценка битумоудерживающей способности волластонитового минерального порошка ВОКСИЛ 100

Для определения физико-механические свойства асфальто вяжущего были изготовлены четыре партии образцов асфальто вяжущего с различным количеством битума в смеси: без добавления волластонитового порошка и с добавлением 4, 7 и 20% волластонитового порошка. В каждой партии требовалось выбрать асфальто вяжущее с оптимальным количеством битума, при котором достигается максимальное значение средней плотности и прочности при 50°С, а водонасыщение близко к минимальному значению.

Зависимость средней плотности асфальто вяжущего от количества битума приведена на рис. 3.12, водонасыщения от количества битума на рис. 3.13, прочности при сжатии при 50°С от количества битума в асфальто вяжущем на рис. 3.14. Оказалось, что для асфальто вяжущего без волластонитового порошка оптимальное количество битума составляет 12,4%, для асфальто вяжущего с добавкой 4% волластонитового порошка также 12,5%, с добавкой 7% – 13%, а с добавкой 20% волластонитового порошка – 16% (таблица 3.5). Таким образом, можно сделать вывод, что добавка от 4 до 7% волластонитового порошка незначительно увеличивает битумоемкость (0,5 – 1%), а при добавлении 20% – на 4%.

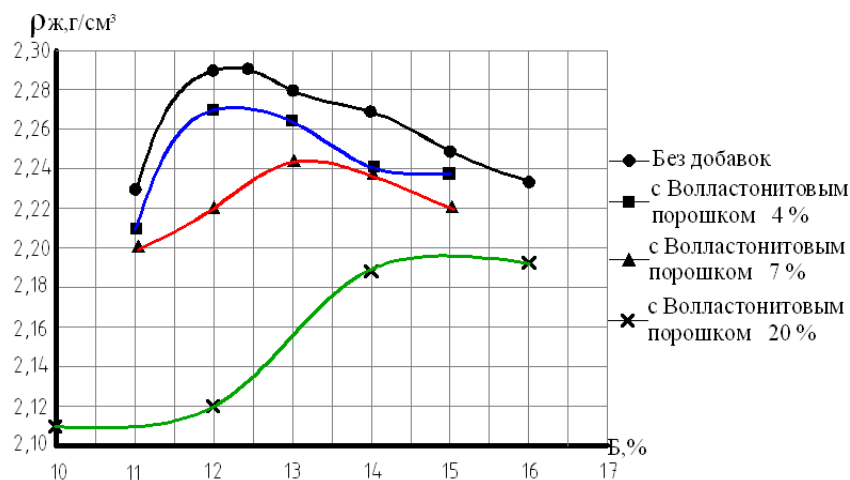


Рисунок 3.12. – Зависимость средней плотности асфальто вяжущего от количества битума

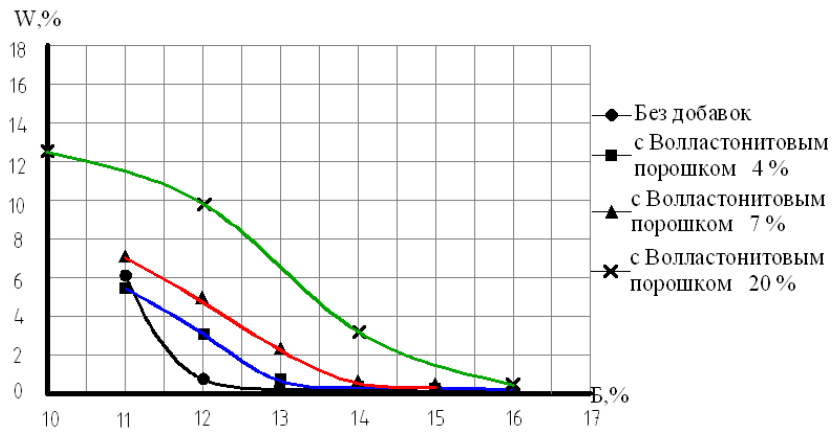


Рисунок 3.13. – Зависимость водонасыщения асфальтовяжущего от количества битума

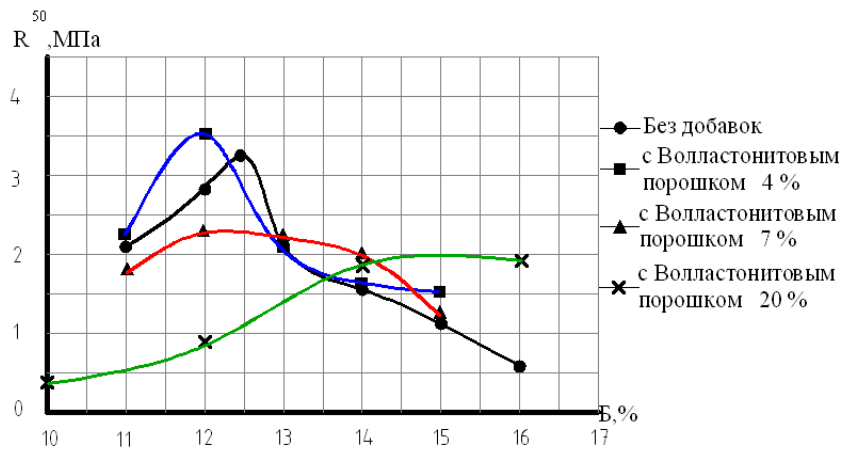


Рисунок 3.14. – Зависимость прочности при сжатии при 50°C асфальтовяжущего от количества битума

Показатели физико-механических свойств асфальтовязующего оптимальной структуры с волластонитовым порошком

№ п/п	Состав асфальтовязующего, %	Физико-механические показатели						
		Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Водонасыщение, в % по объёму	Предел прочности при сжатии, (МПа)				Водо- стойкость
				при 20°С в водонасыщен- ном состоянии	при 20°С	при 50°С	при 0°С	
1	Мин. порошок – 100%, битум – 12,4% от массы мин. части	2,29	0,09	4,36	6,68	1,97	9,94	0,65
2	Мин. порошок: доломитовый – 96%, волластонитовый – 4%, битум – 12,5% от массы мин. части	2,27	1,09	5,45	5,88	3,55	6,31	0,93
3	Мин. порошок: доломитовый – 93%, волластонитовый – 7%, битум – 13% от массы мин. части	2,24	0,09	5,13	6,01	2,00	6,63	0,85
4	Мин. порошок: доломитовый – 80%, волластонитовый – 20%, битум – 16% от массы мин. части	2,19	0,3	5,07	5,44	1,99	6,17	0,93

В щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси волластонитовый порошок, возможно, будет проявлять достаточную битумоудерживающую способность.

### **3.6. Оценка битумоудерживающей способности добавок УНИРЕМ-001 + СД-3+АМДОР-10**

Добавка УНИРЕМ-001 не обладает достаточной битумоудерживающей способностью. Для повышения битумоемкости предложено введение волокнистой целлюлозной стабилизирующей добавки СД-3. При совместном введении УНИРЕМ-001 и СД-3 возникает проблема однородного распределения их в битуме, поэтому необходимо вводить добавку АМДОР-10.

Для оценки битумоудерживающей способности изготовлено три партии образцов асфальтовяжущего с различным содержанием битума и добавок в смеси. В первых двух партиях количество минерального порошка составляло 96%, УНИРЕМ-001 – 4% или СД-3 – 4%, в третьей партии количество минерального порошка составляло 92%, УНИРЕМ-001 – 4% и СД-3 – 4%.

Изучая структуру, следует охарактеризовать распределение добавок в битуме при перемешивании. С введением резинового порошка УНИРЕМ-001 в битум при температуре 160-170°C полное распределение происходит в течении 5-10 минут, при этом повышалась вязкость битума. Т.к. добавка УНИРЕМ-001 находится в сыпучем состоянии, при ее введении требуется интенсивное перемешивание, чтобы избежать комкования скоплений частиц резины при обволакивании их битумом. Смешивание УНИРЕМ-001 и СД-3 с целью облегчения процесса распределения добавки производилось последовательно, т.е. в начале, в течение 30-40 минут, основная масса гранул СД-3 расплавлялась в битуме, затем вводилась добавка УНИРЕМ-001 и ее распределение в битуме длилось 5-10 минут при этом смесь превращалась в кашеподобную однородную подвижную массу.

Зависимости показателей свойств асфальтовяжущего от количества битума в смеси с различными добавками приведены на рис.3.15.-3.17.

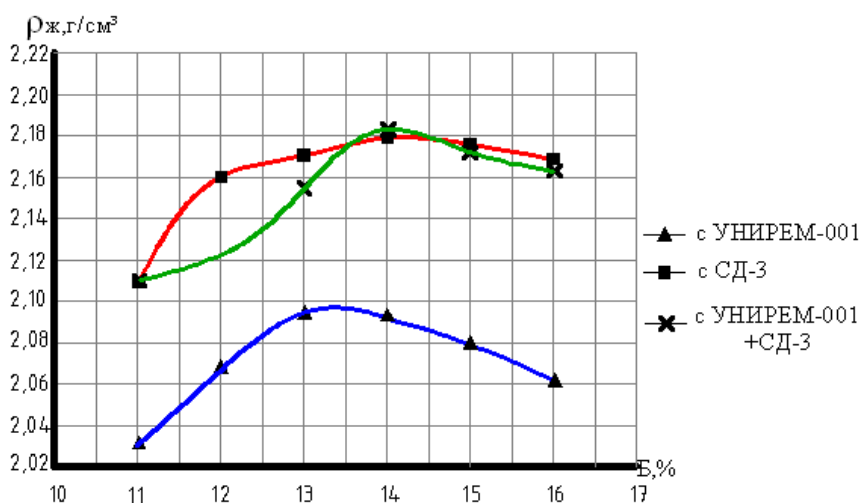


Рисунок 3.15. – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего  $\rho_{ж}$  от количества битума Б

Из рисунка 3.15. видно, что средняя плотность асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 ниже, чем с добавкой СД-3 или с двумя добавками, и достигает максимальной величины 2,095 г/см<sup>3</sup> при количестве битума 13,5% от массы минеральной части. В асфальтовяжущем с добавкой СД-3 и с двумя совместно введенными добавками СД-3 и УНИРЕМ-001 средняя плотность достигает максимальной величины 2,18 г/см<sup>3</sup> при количестве битума 14% от массы минеральной части.

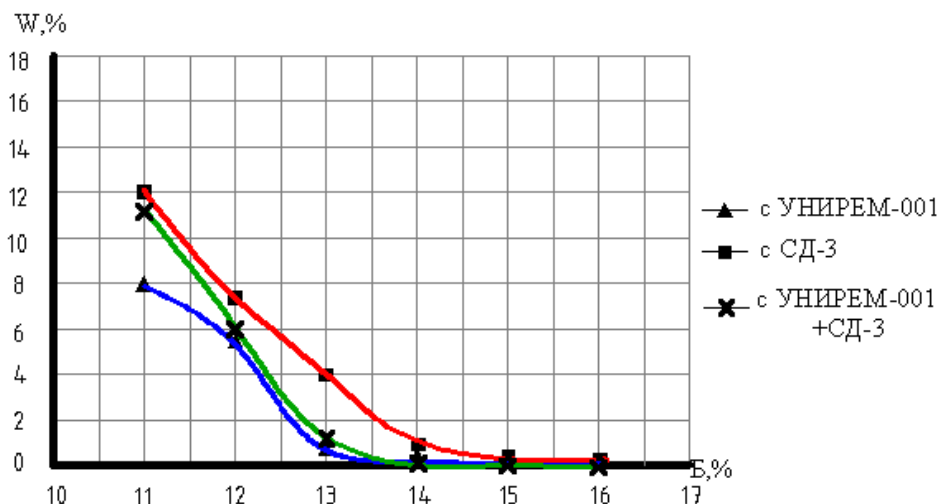


Рисунок 3.16. – Зависимость водонасыщения асфальтовяжущего  $W$  от количества битума  $B$

Из рисунка 3.16. видно, что водонасыщение асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 уже при 13% битума в асфальтовяжущем составляет 1,1%, а для асфальтовяжущего с добавкой СД-3 и с двумя добавками при 14% битума в асфальтовяжущем составляет соответственно 1,22% и 0,11%, т.е. битумоемкость и битумоудерживающая способность добавки СД-3 и двух добавок совместно введенных выше чем у УНИРЕМ-001.

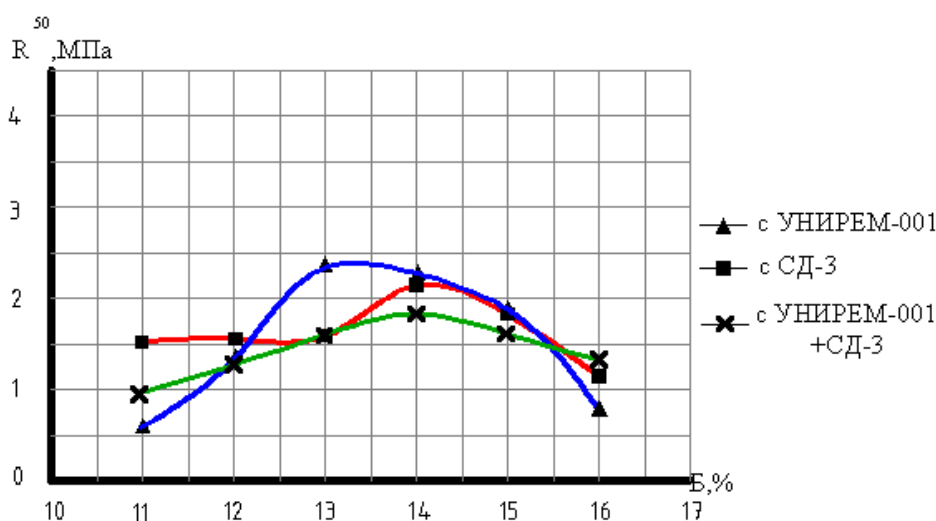


Рисунок 3.17. – Зависимость прочности при сжатии при 50°C асфальтовяжущего  $R_{50}$  от количества битума  $B$

Из рисунка 3.17. видно что максимальная прочность при 50°C асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 достигается при количестве битума в смеси 13%, а для асфальтовяжущего с добавкой СД-3 и двух добавок совместно введенных достигается при 14% битума в смеси, т.е. битумоемкость увеличивается.

Физико-механические показатели свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры, т.е. с максимальной средней плотностью и прочностью при 50°C приведены в таблице 3.6.



**Физико-механические показатели свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры с добавками**

№ п/п	Физико-механические показатели	Состав асфальтовяжущего, %		
		Минеральный порошок – 96 %; УНИРЕМ-001 – 4%; битум – 13% от массы минеральной части	Минеральный порошок – 96 %; СД-3 – 4%; битум – 14% от массы минеральной части;	Минеральный порошок – 92%; УНИРЕМ-001-4%; СД-3 – 4% битум – 14% от массы минеральной части;
1	Средняя, плотность, г/см <sup>3</sup>	2,09	2,18	2,18
2	Водонасыщение в % по объему	1,1	1,22	0,11
3	Предел прочности при сжатии (МПа) при 20°С в водонасыщенном состоянии.	6,71	6,14	6,24
	при 20°С	7,08	6,41	6,56
	при 50°С	2,49	2,34	1,93
4	Водостойкость	0,95	0,96	0,95

**3.7. Оценка битумоудерживающей способности добавок РТЭП + VIАТОР 66 + АМДОР-10**

Зависимость показателей свойств асфальтовяжущего от количества битума в смеси с добавками РТЭП, Viator 66 и АМДОР-10 приведены на рис. 3.18 и 3.23.

Физико-механические показатели свойств асфальтовяжущих оптимальной структуры представлены в таблице 3.7.

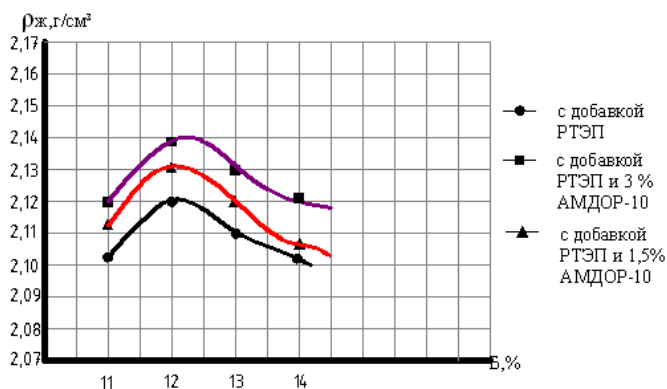


Рисунок 3.18. – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего  $\rho_{ж}$  от количества битума Б

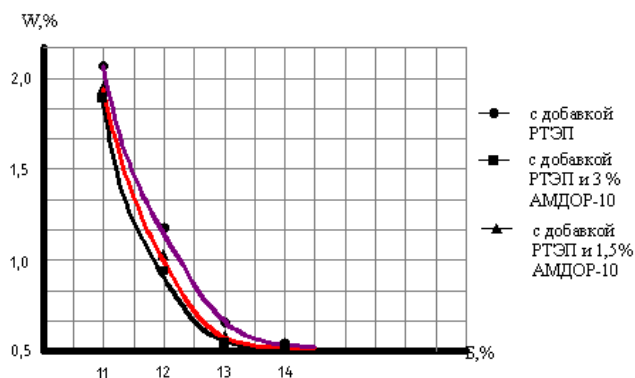


Рисунок 3.19. – Зависимость водонасыщения асфальтовяжущего  $W$  от количества битума Б

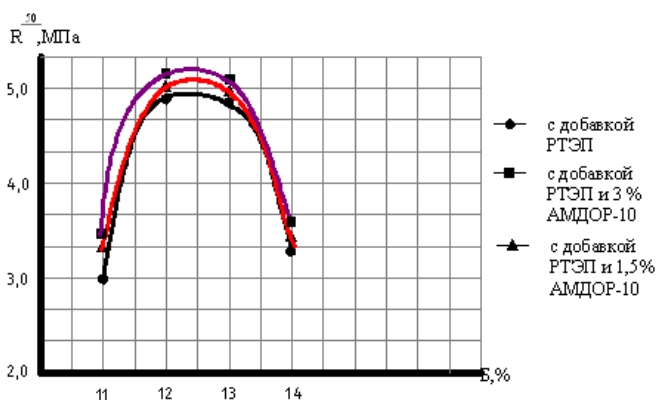


Рисунок 3.20. – Зависимость прочности при сжатии при  $50^{\circ}\text{C}$  асфальтовяжущего  $R_{50}$  от количества битума Б

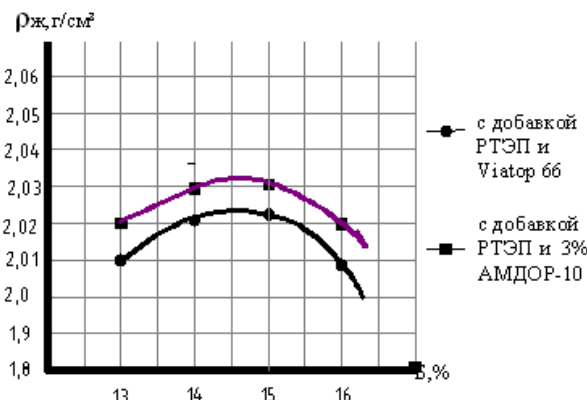


Рисунок 3.21. – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего  $\rho_{ж}$  от количества битума Б

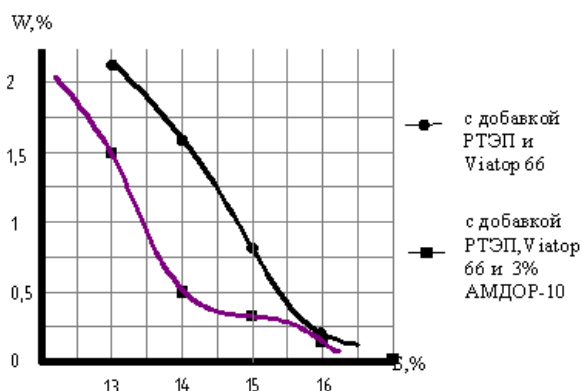


Рисунок 3.22. – Зависимость водонасыщения асфальтовяжущего  $W$  от количества битума Б

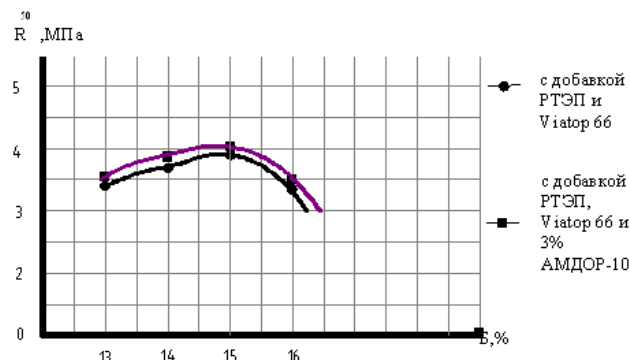


Рисунок 3.23. – Зависимость прочности при сжатии при  $50^{\circ}\text{C}$  асфальтовяжущего  $R_{50}$  от количества битума Б

Из рисунка 3.18. видно, что асфальтовяжущее с добавкой РТЭП имеет самую низкую среднюю плотность. При введении 1,5 и 3% добавки АМДОР-10 средняя плотность увеличивается. С добавками РТЭП, Viator 66 и АМДОР-10 асфальтовяжущее имеет среднюю плотность выше, чем без добавки АМДОР-10. (рис. 3.21). На рисунке 3.19. видно, что водонасыщение асфальтовяжущего с добавкой РТЭП выше, чем с добавками РТЭП и 1,5% АМДОР-10. При введении 3% АМДОР-10 водонасыщение также уменьшается. С добавками РТЭП, Viator 66 и 3% АМДОР-10 водонасыщение асфальтовяжущего ниже, чем без добавки АМДОР-10 (рис. 3.22). Предел прочности при сжатии при 50°C с добавками РТЭП и АМДОР-10 имеет значение выше, чем с добавкой РТЭП без АМДОР-10. (рис. 3.20). Такая же закономерность прослеживается и на рисунке 3.23. С добавками РТЭП, Viator 66 и 3% АМДОР-10 предел прочности при сжатии выше, чем без АМДОР-10.

Физико-механические показатели свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры с добавками

№ п/п	Физико-механические показатели	Состав асфальтовяжущего, %				
		Мин. порошок- 96 %; РТЭП – 4%; битум – 12,5% от массы минеральной части	Мин. порошок- 96 %; РТЭП – 4%; битум – 12% от массы минеральной части; АМДОР-10 – 1,5% от массы битума	Мин. порошок – 96%; РТЭП-4%; битум – 12% от массы минеральной части; АМДОР-10 – 3% от массы битума	Мин. Порошок – 92%; РТЭП – 4%; Viator 66- 4%; битум – 15% от массы минеральной части	Мин. Порошок – 92%; РТЭП – 4%; Viator 66-4%; битум – 14,5% от массы мин. части; АМДОР-10-3% от массы битума
1	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	2,12	2,13	2,14	2,03	2,04
2	Водонасыщение в % по объему	1,2	0,9	0,8	0,7	0,4
3	Предел прочности при сжатии (Мпа) при 20°С в водонасыщенном состоянии. при 20°С при 50°С	8,24	8,28	8,51	6,77	7,03
		8,7	8,81	8,93	5,5	6,82
		4,9	5,01	5,12	3,8	4,0
4	Водостойкость	0,93	0,94	0,95	1,23	1,03

Для асфальтовяжущего с добавкой РТЭП оптимальное количество битума, т.е. битумоемкость смеси, составляет 12% от массы минеральной части, для асфальтовяжущего с добавками РТЭП и АМДОР-10 (3 % от массы битума) 12,5 %, для асфальтовяжущего с добавками РТЭП и АМДОР-10 (1,5 % от массы битума) 12,5%, для асфальтовяжущего с добавками РТЭП и Viator 66 – 15%, для асфальтовяжущего с добавками РТЭП, Viator 66 и АМДОР-10 битумоемкость составляет 14,5%.

### **3.8. Взаимодействие добавок с битумом в асфальтовяжущем**

Механизмы взаимодействия в наполненной битумной системе дорожный битум – стабилизирующая добавка были рассмотрены в п. 3.2. В асфальтовяжущем битум взаимодействует как с частицами минерального порошка, так и с многокомпонентными частицами, волокнами или полимерными гранулами стабилизирующих добавок. Результатом взаимодействий на поверхности раздела фаз битум – известняковая минеральная частица является образование ориентирование слоя битума с твердообразной, структурированной и диффузной зонами. Толщина битумной пленки и соответственно ориентированного слоя битума с уменьшением размера минеральных зерен уменьшается. На известняковых частицах фракций 71-35, 35-17, 17-8, 8-4мкм толщина пленки равна соответственно 1050, 680, 350 и 210 нм[6]. Частицы размером 71000-1000нм в отличие от более крупных обладают высокой структурообразующей способностью в битумо-минеральных системах и формируют ориентированный слой битума толщиной 1000-200нм[9]. С изменением размера минеральных частиц от 1000 до 100нм его структурированная зона вырождается и толщина твердообразной зоны уменьшается. Толщина битумной пленки на зернах подобных размеров уменьшается от 150-200 до 60нм, т.е. до толщины монослоя наиболее крупных битумных частиц на поверхности минерального зерна. На минеральных частицах размером от 100-10нм ориентированный слой битума отсутствует, битумная

пленка представляет собой сольватную оболочку из жидких углеводородов. Расчетная толщина такой оболочки на частицах известняка размеров 10нм составляет 1,55нм[6,9]. Минеральные частицы размером от 10-1нм, возможно, адсорбируются на поверхности крупных битумных частиц, увеличивая размеры надмолекулярных образований.

Введение в асфальтовяжущее волокнистых добавок приводит к увеличению битумоудерживающей способности от 5-13% при содержании добавок 3% (таблица 3.8). Целлюлозные волокнистые добавки удерживают битум в процессе набухания волокон и проникания компонентов битума в межфибрилярное пространство и фиксации внутри набухших волокон, которые равномерно распределены между зернами минерального порошка в асфальтовяжущем. Минеральная волокнистая добавка Хризотоп удерживает битум благодаря прониканию жидких компонентов битума внутрь полых волокон, а также адсорбции на поверхности волокон – цилиндров с образованием ориентированного слоя битума. Добавка РТЭП в асфальтовяжущем не образует битумоудерживающих структур и не приводит к увеличению битумоудерживающей способности асфальтовяжущего. Резиновый порошок «УНИРЕМ-001» увеличивает битумоудерживающую способность асфальтовяжущего на 5% благодаря структурирующим воздействиям на битум инициатора гелеобразования и структурирующего агента.

Таблица 3.8

Битумоудерживающая способность стабилизирующих добавок в асфальтовяжущем

№ п/п	Состав асфальтовяжущего, (без битума) %	Оптимальное количество битума в смеси $B_{\text{опт.}}, \%$	Коэффициент битумоудерживающей способности $K_{\text{бв}}$
1	Мин. порошок – 100	12,4	1
2	Мин. порошок – 97, Viator 66 – 3	14	1,129

3	Мин. порошок – 97, СД-1 – 3	14	1,129
4	Мин. порошок – 97 СД-3 – 3	14	1,129
5	Мин. порошок – 97, ANTROCEL – 3	13	1,048
6	Мин. порошок – 97, TOPCEL – 3	13	1,048
7	Мин. порошок – 97, РТЭП – 3	12,5	1,008
8	Мин. порошок – 97, ХРИЗОТОП – 3	13,5	1,089
9	Мин. порошок – 97, УНИРЕМ-001 – 3	13	1,048
10	Мин. порошок – 97, РТЭП – 3, АМДОР-10 – 3% от массы битума	12,5	1,008
11	Мин. порошок – 94, РТЭП – 3, Viator 66 – 3	15	1,21
12	Мин. порошок – 94, РТЭП – 3, Viator 66 – 3, АМДОР-10 – 3 от массы битума	14,5	1,17
13	Мин. порошок – 97, УНИРЕМ-001 – 3, СД-3 – 3	14	1,129
12	Мин. порошок – 97, ВОКСИЛ 100 – 3	12,5	1,008

### 3.3 Выводы по 3 главе

1. Установлено, что исследуемые добавки при введении в битум увеличивают его вязкость, снижают растяжимость при 25°C, повышают теплостойкость, понижают температуру хрупкости кроме РТЭП и УНИРЕМ-001, т.е. оказывают структурирующее действие.

2. Рассмотрены условия взаимодействия различных стабилизирующих добавок с битумом, предложены механизмы структурообразования битума с добавками при технологической температуре.

3. Для волокнистых целлюлозных добавок особенностью механизма

структурообразования является набухание волокон, для Хризотоп – распушивание волокон, расщепление их на микроволокна и капиллярные процессы, для РТЭП – расплавление и неактивное взаимодействие с битумом, для УНИРЕМ-001 – взаимодействие большого числа компонентов добавки с битумом и геле - и структурообразующие процессы при взаимодействии её компонентов с битумом.

4. Предложен и обоснован метод определения битумоудерживающей способности добавок в асфальтовяжущем с определением коэффициента битумоудерживающей способности.

5. Определены коэффициенты битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок. Наибольшей битумоудерживающей способностью обладают волокнистые целлюлозные и минеральные добавки, а также добавка УНИРЕМ-001. Битумоудерживающая способность добавки РТЭП и волластонитового минерального порошка незначительна.

6. Добавление целлюлозных волокнистых добавок к добавкам РТЭП и УНИРЕМ-001 увеличивает их битумоудерживающую способность. Введение адгезионной добавки «АМДОР-10» в асфальтовяжущее, содержащие добавки РТЭП или УНИРЕМ-001 приводит к повышению физико-механических показателей, несколько снижает битумоудерживающую способность.

7. Предложен механизм взаимодействия добавок с битумом в асфальтовяжущем. Особенностью взаимодействия является то, что взаимодействия происходят в битумных прослойках между зернами минерального порошка, а частицы и волокна добавок находятся в зоне действия поверхностных сил частиц минерального порошка.



## ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДОБАВОК

### 4.1 Оценка структура волокнистых, порошковых и полимерных добавок.

Для получения пригодных для анализа изображений предварительно получали от 10 до 15 микрофотографий при разном увеличении, чтобы наглядно получить микроизображение объекта исследования в проходящем свете.

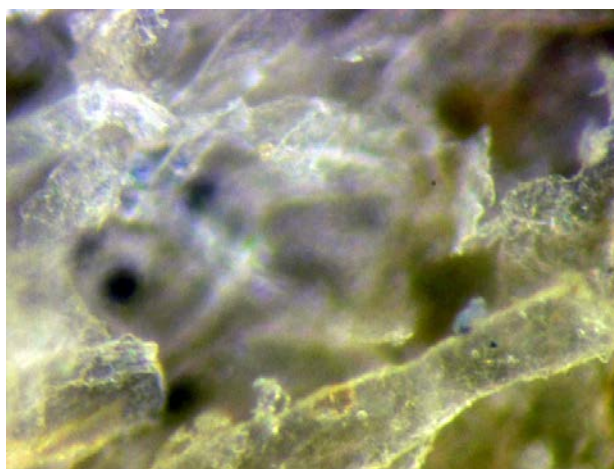


Рисунок 4.1. – Микрофотография СД-1 увеличение X 400

Стабилизирующая добавка СД-1 представляет собой гранулы светло-коричневого цвета, изготовленные из волокон сульфатной небеленой целлюлозы. Согласно СТО 77142208-001-2007 содержание волокон длиной от 0,2 до 2,0 мм не менее 85%. Насыпная плотность добавки 0,55-0,65 г/см<sup>3</sup>, влажность по массе не более 8,0%. Оптимальное количество битума, т.е. битумоемкость асфальтовяжущего с добавкой СД-1, составляет 14% [80].

На рисунке 4.1. представлена микрофотография волокон СД-1. Переплетаясь между собой волокна, образуют пространственную структуру. Волокна имеют форму тонких пластинок и среднюю длину 1,4 мм, средняя толщина и ширина отдельно взятого волокна по его длине различная. На основании статистической обработке результатов измерений получены

усредненные значения параметров волокон для СД-1: длина волокна 1,7 мм, ширина 0,05 мм, толщина 0,016 мм.



Рисунок 4.2. – Микрофотография Торсел увеличение X 200

Добавка Торсел представляет собой спрессованные гранулы «Technocel 1004» серого цвета из целлюлозы по ТУ 5711-001-38956563-2003. Волокна целлюлозы модифицированы 10-15% парафиновых углеводородов и имеют длину 30-800 мкм. Насыпная плотность 0,35-0,40 г/см<sup>3</sup>, влажность 6%. Для асфальтовяжущего с добавкой Торсел битумоемкость составила 13%[80].

На микрофотографии (рис. 4.2.) отчетливо видны хаотично извивающиеся длинные ленты волокон Торсел. В пространственной структуре отдельно взятых волокон на цветных микрофотографиях заметен красящий пигмент (поз. 1,2), что указывает на их происхождение (вторичная переработка бумажных изделий). На волокнах заметны отблески воска (поз. 3). По микрофотографиям установили среднестатистические микроскопические параметры волокон: средняя длина волокна 0,9 мм, средняя ширина 0,05 мм, средняя толщина 0,012 мм.

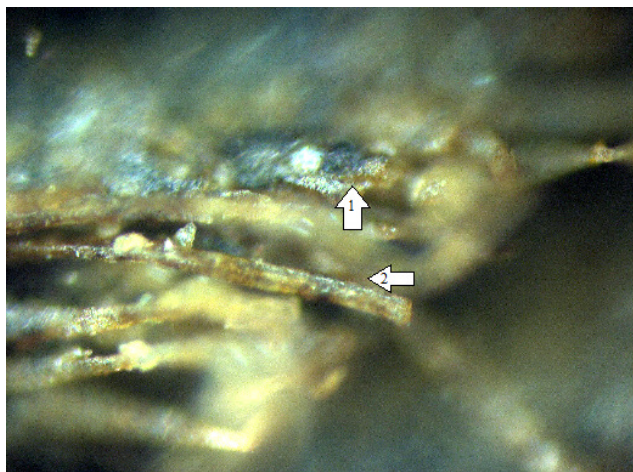


Рисунок 4.3. – Микрофотография  
Viator 66 увеличение X 200



Рисунок 4.4. – Микрофотография  
Viator 66 в галогеновом освещении  
увеличение X 500

Стабилизирующая добавка Viator 66 представляет собой гранулированную смесь из примерно 67% технической целлюлозы и 33% битума, насыпная плотность 0,480 – 0,530 г/см<sup>3</sup> по ТУ 5718-001-18268513-01. Средняя длина волокон 1,1 мм, средняя толщина 0,045 мм. Для асфальтовяжущего с добавкой Viator 66 битумоемкость составила 14%[80].

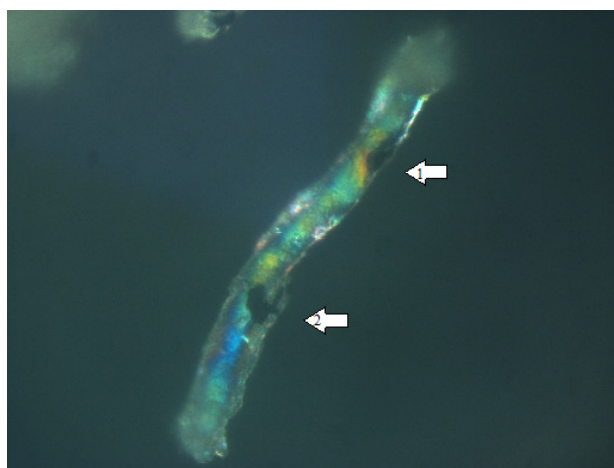


Рисунок 4.5. – Микрофотография волокна СД–3 в поляризованных лучах  
увеличение X 500

На рисунке 4.3. представлена микрофотография среза гранулы Viator 66, а на рисунке 4.4. микрофотография отдельного волокна. На рисунке 4.3. наиболее

четко в светлом поле контрастного света заметны волокна, имеющие на поверхности пятна с темным жирным блеском (рис. 4.3., поз. 1,2) т.е. вкрапления битума. Процентное содержание битума на волокнах различное в зависимости от степени обработки и находится в пределах от 5 до 30%. Волокна Viator 66 (рис. 4.3., 4.4.) имеют вид длинных плоских пластин. На отдельном целлюлозном волокне Viator 66 можно увидеть (рис. 4.4, поз. 1) поверхностную микросетку, образованную битумом. В данном случае битум не проник вглубь волокна, а адсорбировался на его поверхности. На основании полученных микрофотографий были определены среднестатистические размеры волокон целлюлозы: длина 1,7 мм, толщина 0,018 мм, ширина 0,05 мм.

Добавка СД-3 представляет собой добавку СД-1, обработанную 15-20% битума. Значения насыпной плотности добавки СД -1 равны 0,55-0,65 г/см<sup>3</sup>, влажность по массе не более 8,0%. Для асфальтовяжущего с добавкой СД-3 битумоемкость составила 14% [80].

Микрофотография волокна СД-3 (рис. 4.5.) в поляризованных лучах контрастного света позволяет увидеть структурные особенности отдельно взятого волокна. Капли битума заметны на отдельном волокне (рис. 4.5, поз. 1,2) которые определены на фотографии как оттенки темного цвета, сливающегося с окружающим фоном. В поляризованных лучах света на волокне отражаются цвета: зеленый, синий и желтый. Это говорит об объемной поверхности волокна и неоднородной пространственной структуре, образованной элементарными фибриллами. Для СД-3 определены усредненные значения параметров: средняя длина волокна 1,5 мм, средняя ширина 0,048 мм, средняя толщина 0,016 мм.





Рисунок 4.6. – Микрофотография  
Хризотоп увеличение X 100

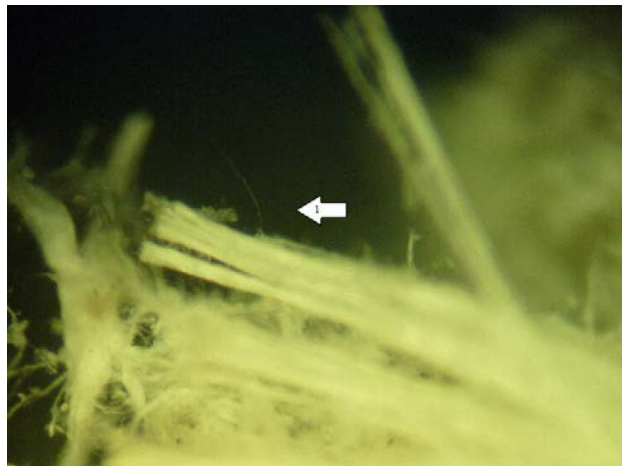


Рисунок 4.7. – Микрофотография  
Хризотоп увеличение X 100

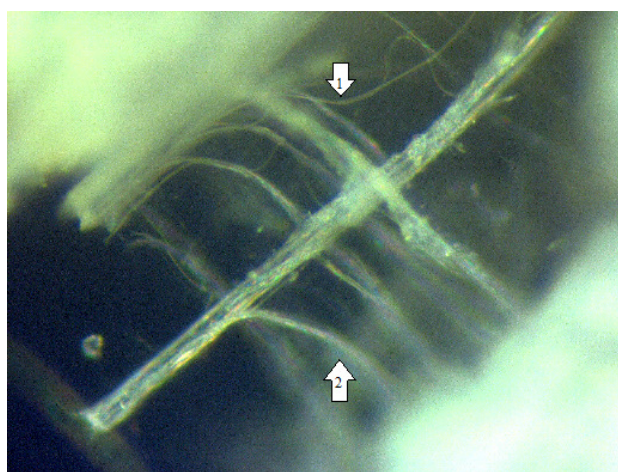


Рисунок 4.8. – Микрофотография Хризотоп увеличение X 500

Далее была исследована добавка Хризотоп по ТУ 5718-001-0281476, которая является продуктом переработки минерала хризотил-асбеста. Насыпная плотность Хризотоп составляет  $0,95 \text{ г/см}^3$ , влажность не более 3%, содержание технологической мелочи не более 3,5%. Минерал змеевиковый хризотил-асбест входит в группу серпентинита и представляет собой водный силикат магния, имеющий длинноволокнистую структуру. Его волокна – это тончайшие полые трубки диаметром  $2,6 \cdot 10^{-5} \text{ мм}$ , характеризующиеся повышенной прочностью. Удельная поверхность волокон хризотил-асбеста  $2000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Из-за жестких связей в гранулах Хризотоп недостаточно хорошо обволакивается битумом, т.к. волокна плохо отделяются друг от друга при перемешивании с битумом. После предварительного распушивания у Хризотоп проявляется достаточная

битумоудерживающая способность. Битумоемкость его в асфальтовяжущем составляет 13,5%[80].

При подготовки проб для исследования гранулы Хризотоп были также распушены. На рис. 4.6, 4.7, 4.8 представлены микрофотографии Хризотоп в проходящем свете на темном фоне. Из рис. 4.6 видно, что структура Хризотоп представляет собой распушенные пучки микроволокон. Волокна располагаются параллельно друг другу. Кроме больших пучков микроволокон (рис. 4.6) могут быть пучки поменьше, состоящие из 10-15 микроволокон (рис. 4.7, поз. 1). На рис. 4.8. представлена микрофотография исходного микроволокна цилиндрической формы и имеющего ответвления (рис. 4.8., поз. 1, 2). По микрофотографиям установили геометрические параметры волокон и пучков: пучки имеют диаметр около 0,15 мм. В пучке может находиться от 10 до 250 штук микроволокон с диаметром около 0,003 мкм. Средняя длина волокон составляет 2,8 мм.

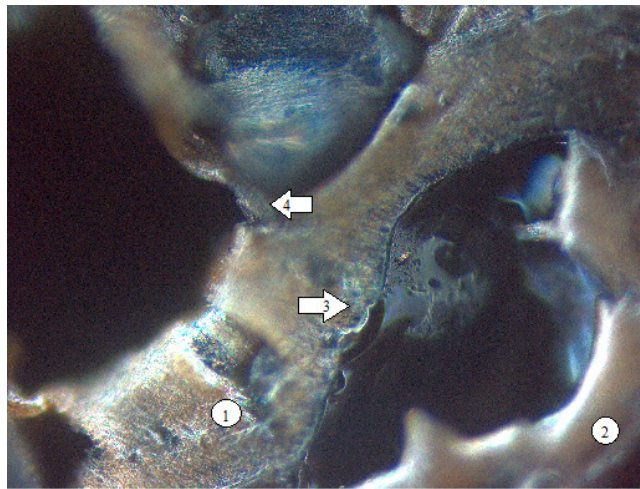


Рисунок 4.9. – Микрофотография фрагмента среза РТЭП увеличение X 200

Резиновый термоэластопласт РТЭП по ТУ 5718-001-79259416-2006 представляет собой сферические гранулы черного цвета, внутри находится полимер класса полиолефинов, снаружи гранула покрыта битумом. Средний диаметр гранул 4 мм, насыпная плотность 0,347 г/см<sup>3</sup>. Для асфальтовяжущего с РТЭП битумоемкость составила 12,5%[80].

Исследовался плоский срез гранулы толщиной 1,7 мм. На срезе (рис. 4.9.) отчетливо заметен полиолефиновый полимерный носитель (поз. 1,2) имеющий на снимке коричневый цвет, битум черного цвета с отблесками (поз. 3). Также на срезе видны пустоты, составляющие примерно 20% площади среза (поз. 4), которые образовались из-за вовлеченного в добавку воздуха при изготовлении.

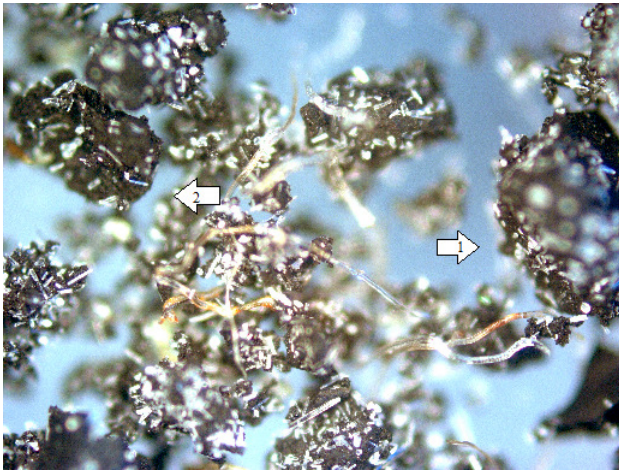


Рисунок 4.10. – Микрофотография «УНИРЕМ-001» увеличение X 50

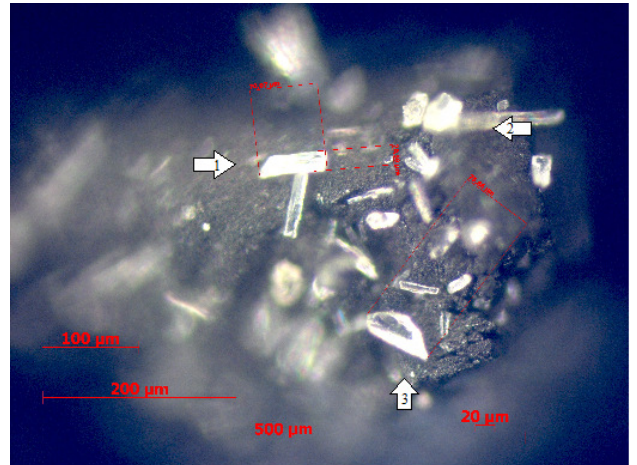


Рисунок 4.11. – Микрофотография «УНИРЕМ-001» увеличение X 200

Порошковая добавка «УНИРЕМ-001» по ТУ 2519-0001-74145205-08 представляет собой модифицирующую композицию, содержащую активный резиновый порошок с размером частиц не более 0,1 – 0,8 мм, полученный путем термомеханического измельчения резинового вулканизата, гелеобразующего адгезионного агента, ускорителя набухания резины в битуме и структурирующего агента. Насыпная плотность – 0,47 г/см<sup>3</sup>, удельная поверхность 5000 см<sup>2</sup>/г. Битумоемкость добавки «УНИРЕМ-001» в асфальтовяжущем составила 13%[81].

Для получения микрофотографий на предметное стекло наносилось небольшое количество резинового порошка, затем делались микрофотографии. На микрофотографиях «УНИРЕМ-001» видны частицы дробленой резины (рис. 4.10., поз. 1,2) различного размера в диапазоне от 0,1 до 1,0 мм с минеральными включениями продолговатой игольчатой формы (рис. 4.11., поз. 1,2,3). Можно предположить, что это частицы метасиликата игольчатой структуры[66]. Размеры этих минеральных частиц находятся в диапазоне 0,005 – 0,1 мм. Как показали



измерения, количество метасиликата составляет примерно 15% по массе от общей площади всех частиц.

Добавка в виде минерального порошка Воксил-100 представляет собой измельченный минерал волластонита, который является природным метасиликатом кальция ( $\text{CaSiO}_3$ ) с характерной игольчатой структурой кристаллов, при раскалывании которых образуются зерна игольчатой формы. Твердость по Моосу волластонита равна 4,5-5,5, анизотропия частиц волластонита 3-20 L/D. Удельная поверхность зерен волластонитового порошка 1000-4000  $\text{см}^2/\text{г}$ , плотность 2,8-2,9  $\text{г}/\text{см}^3$ . Битумоемкость волластонитового порошка в асфальтовяжущем с 4% его содержанием составила 12,5% [82]. Для сравнения был взят также доломитовый минеральный порошок, используемый для приготовления асфальтобетонных смесей, с битумоемкостью в асфальтовяжущем 11%.

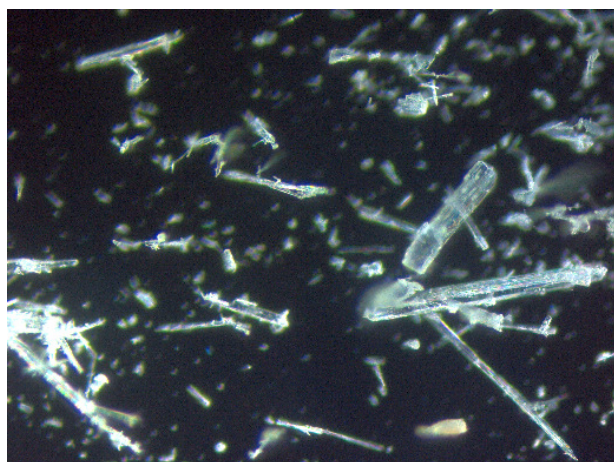


Рисунок 4.12. – Микрофотография волластонитового минерального порошка увеличение X 200

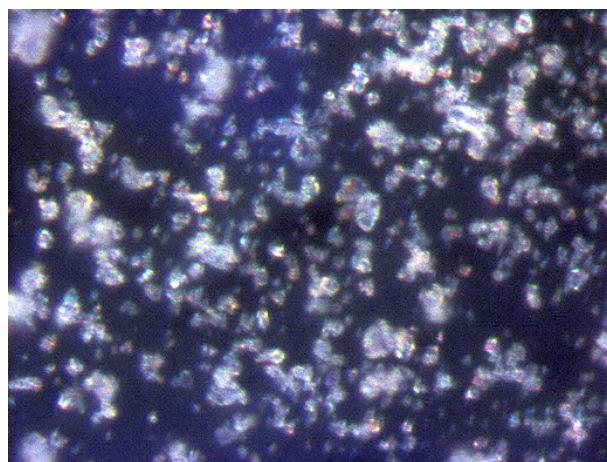


Рисунок 4.13. – Микрофотография доломитового минерального порошка увеличение X 200

Для анализа микроструктуры на предметное стекло рассеивалось небольшое количество волластонитового и доломитового порошка. Затем предметное стекло с образцом помещалось под объектив микроскопа для микрофотографирования. Из рис. 4.12., 4.13. видно, что Воксил-100 в отличие от доломитового минерального порошка имеет большое количество частиц игольчатой формы. Частицы доломитового порошка имеют кубовидную форму, поэтому и



характеризуется более плотной упаковкой в смеси. Удельная поверхность доломитового минерального порошка  $3770 \text{ см}^2/\text{г}$ , волластонитового  $1000 - 4000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Согласно исследованиям [45] волластонит марки Воксил-100 характеризуется высоким содержанием частиц удлиненной формы. Степень игольчатости исходного волластонитового порошка составляет 30%. Это значение степени игольчатости было подтверждено нами путем статического подсчета частиц удлиненной формы в ограниченном поле микроскопа и соотношении полученного результата с общим количеством видимых частиц в этом же поле.

В таблице 4.1 представлен зерновой состав резинового порошка добавки «УНИРЕМ-001», волластонитового порошка добавки Воксил-100 и доломитового минерального порошка, используемого как компонент в асфальтобетонных смесях, в том числе в щебеночно-мастичных. Зерновой состав был определен путем отсева на стандартных ситах по ГОСТ Р 52129-2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия». Из таблицы 4.1 видно, что Воксил-100 содержит 71,3% частиц мельче 0,071 мм, а доломитовый минеральный порошок – 73,9%. Возможно, на результаты отсева на ситах повлияло большое количество частиц игольчатой формы, часть из которых не прошла через сито 0,071 мм. Наибольшее количество частиц мельче 0,071 мм содержит добавка «УНИРЕМ-001» – 79,6%, однако в ней присутствует примерно 7% частиц крупнее 0,315 мм, которых нет в добавках Воксил-100 и в минеральном порошке.

Таблица 4.1

Зерновой состав порошковых добавок

№ п/п	Зерновой состав, % по массе	Название добавки			Значения по ГОСТ 52129- 2003
		УНИРЕМ- 001	Воксил- 100	Минеральный порошок	
1	1	2	3	4	5
1	Мельче 1,25 мм	100	-	-	Не менее 100
2	-“- 0,315 мм	93,22	100	100	Не менее 90
3	-“- 0,071 мм	79,6	71,3	73,9	От 70 до 80

В таблице 4.2 приведены параметры микроструктуры порошковых добавок. Диаметр резиновых частиц УНИРЕМ-001 находится в пределах от 0,03 до 0,4 мм, для минерального порошка диаметр 0,035 – 0,018 мм. Входящие в состав добавки УНИРЕМ-001 игловатые частицы имеют размеры 0,03x0,012x0,006 мм, Воксил 100 имеет схожие значения 0,02x0,004x0,006 мм. Степень игольчатости Воксил-100 равна 32%.

Таблица 4.2

Параметры микроструктуры порошковых добавок

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра для различных добавок		
		УНИРЕМ-001	Воксил-100	Минеральный порошок
1	2	3	4	5
1	Диаметр частиц, мм	от 0,1 до 1,0	от 0,057-0,026	от 0,035 до 0,018
2	Размеры игловатых частиц, мм длина толщина ширина	0,03 0,012 0,006	0,02 0,004 0,006	-
3	Доля частиц мельче 0,071 мм, %	79,6	71,3	73,9
4	Степень игольчатости, %	-	32	-

В таблице 4.3 представлены параметры микроструктуры волокнистых добавок, определенные с помощью микроскопа Axioskop 2 MAT. Как видно из таблицы, самые длинные волокна имеют добавки Хризотоп – 4,1 мм, длина волокон добавок СД-1 и СД-3 меньше примерно в 2,5 раза и составляет 1,5–1,7 мм. Волокна добавок Torcel и Viatop 66 самые короткие 0,9 – 1,0 мм. Средняя толщина волокон примерно одинакова для всех добавок и составляет 0,042 – 0,05 мм, средняя ширина также примерно одинакова для всех добавок и составляет 0,012 – 0,018 мм. Строение волокон асбестовой добавки Хризотоп отличается от строения волокон целлюлозных добавок по форме и по расположению волокон в пространстве. Волокна целлюлозных добавок – это тонкие длинные пластинки, которые могут иметь лентообразные формы. Волокна добавки Хризотоп – это тонкие цилиндрические нити, которые образуют микропучки и пучки.

Параметры микроструктуры волокнистых добавок

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра для волокнистых добавок				
		СД-1	TOPCEL	СД-3	Viatop 66	Хризотоп
1	2	3	4	5	6	7
1	Средняя длина волокна, мм	1,7	0,9	1,5	1,0	-
2	Средняя ширина волокна, мм	0,05	0,05	0,048	0,042	-
3	Средняя толщина волокна, мм	0,016	0,012	0,016	0,018	-
4	Длина волокон и микроволокон, мм	-	-	-	-	4,1
5	Диаметр пучка микроволокон, мм	-	-	-	-	0,048
6	Диаметр микроволокна, мм	-	-	-	-	0,003
7	Расположение волокон в пространстве	взаимное переплетение и образование пространственной структуры	взаимное переплетение и образование пространственной структуры	утопленные в битум волокна с контактом через битумную прослойку	утопленные в битум волокна с контактом через битумную прослойку	пучки и микропучки волокон
8	Форма волокон	тонкие длинные пластины	лентообразные формы	тонкие длинные пластины	тонкие длинные пластины	тонкие нити цилиндрической формы

В таблице 4.4 приведены показатели свойств добавок и исходных материалов. Насыпная плотность гранул целлюлозных добавок изменяется от 0,25 г/см<sup>3</sup> у добавки Topcel до 0,55-0,65 г/см<sup>3</sup> у добавки СД-1, СД-3 и Viator 66. У резинового порошка УНИРЕМ-001 насыпная плотность равна 0,465 г/см<sup>3</sup>, а насыпная плотность хризотил-асбестовой добавки Хризотоп составляет 0,95 г/см<sup>3</sup>. Насыпная плотность минеральных порошков существенно выше: 1,3 – 1,4 г/см<sup>3</sup> у волластонитового порошка Воксил-100 и 1,27 у доломитового порошка. Удельная поверхность целлюлозных добавок на порядок ниже, чем у порошковых добавок и добавки Воксил-100, однако в асфальтовяжущем целлюлозные добавки обладают большей битумоудерживающей способностью даже при незначительном их содержании 3%, чем минеральные добавки, а также добавки УНИРЕМ-001 и РТЭП. Это можно объяснить особым механизмом распределения целлюлозных волокон в битуме и наличием сильно разветвленной пространственной микроструктурой волокон целлюлозных добавок в сравнении с другими добавками.

Таблица 4.4

Показатели свойств добавок и исходных материалов

№ п/п	Наименование добавки	Вид исходного материала	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	Битумоемкость в асфальтовяжущем, %
1	2	3	4	5	6
1	СД-1	целлюлоза	0,55-0,65	100[47]	14
2	TOPCEL	целлюлоза	0,25	100	13
3	СД-3	целлюлоза	0,55-0,65	100	14
4	Viator 66	целлюлоза	0,55-0,65	100	14
5	Хризотоп	хризотил-асбест	0,95	2000[22]	13
6	УНИРЕМ-001	резина	0,465	5000[66]	13
7	Воксил 100	волластонит	1,3-1,4	1000-4000[47]	12,5
8	Минеральный порошок	доломит	1,27	3770	11
9	РТЭП	полимерный материал класса полиолефинов	0,3–0,4	-	12,5

## **4.2. Влияние параметров микроструктуры добавок на характер их распределения в битуме и ЩМАС**

Процесс распределения целлюлозных волокнистых добавок в битуме можно представить следующим образом. Под действием температуры и вследствие проникновения компонентов битума внутрь гранул они набухают и при механическом перемешивании распадаются. Процесс набухания состоит в пропитывании волокон битумом. Способность целлюлозы к набуханию определяется её составом и строением. Целлюлоза является природным полимером и представляет собой волокнистое вещество фибриллярной капиллярно-пористой структуры. В процессе перемешивания структурные элементы битума реагируют с макромолекулами волокон и вступают с ними в адсорбционное взаимодействие внутри волокон на свободных поверхностях элементарных фибрилл. Минеральная волокнистая добавка Хризотоп также как и целлюлоза не растворяется в битуме. Змеевиковый хризотил-асбест является минералом группы серпентинита, представляет собой водный силикат магния, имеющий длиноволокнистую структуру. Его волокна характеризуются повышенной прочностью и большим количеством микропучков волокон. Из-за того, что хризотил-асбест не обладает такой же пористой структурой как целлюлоза, он в меньшей степени обладает битумоудерживающей способностью [80]. Причиной набухания при введении битума является распределение компонентов битума по поверхности и внутрь микропучков волокон, каждое волокно в пучке покрывается битумной пленкой, объем микропучков увеличивается.

Хорошо известна подвижность макромолекул целлюлозы, которая при взаимодействии с водой обеспечивает её увеличение в объеме, т.к. целлюлоза способна набухать. При взаимодействии с битумом имеющим температуру 140 – 160°С волокна целлюлозы увеличиваются в объеме, битум проникает внутрь волокон. Благодаря перемешиванию и однородному распределению образуется битумо-целлюлозная микроструктура в асфальтовяжущем. Набухшие

целлюлозные волокна, наполненные битумом, образуют разветвленные пространственные структуры, расположенные между зернами минерального порошка, что обеспечивает удержание ориентированного и объемного битума.

Минеральные добавки Воксил-100, Хризотоп при перемешивании с горячим битумом распределяются в нем и образуют ориентируемый слой битума на поверхности частиц и волокон. Волокна добавки Хризотоп также образуют разветвленную пространственную структуру, чтобы удерживать и объемный и ориентированный битум. При использовании добавок УНИРЕМ-001 битумоудерживающая способность появляется вследствие увеличения вязкости битума при структурировании битума, структурообразующим компонентом добавки УНИРЕМ-001, а также, возможно, процессами взаимодействия резиновых частиц с битумом. При использовании добавки РТЭП битумоудерживающая способность обусловлена увеличением вязкости битума при расплавлении гранул добавки в битуме и перемешивании, что приводит к увеличению битумных пленок на минеральных зернах.

#### **4.3. Определение технологических свойств добавок**

Технологические свойства характеризуют поведение материала при технологических процессах обработки и переработки. По технологическим свойствам судят о возможности переработки и получения доброкачественной продукции из исходных материалов по принятой технологии и имеющемуся технологическом оборудовании[52]. Технологические свойства стабилизирующих добавок при их хранении, транспортировании, перегрузке, дозировании могут быть охарактеризованы гигроскопичностью, набухаемостью, влажностью, сыпучестью (транспортирующей способностью), агрегируемостью, аутогезией и липкостью при повышенной температуре, агломерацией, термостойкостью.

Гигроскопичность определялась для целлюлозных и минеральных волокнистых добавок, набухаемость и термостойкость для целлюлозных волокнистых добавок, сыпучесть для волокнистых порошковых и полимерных

гранулированных, липкость и аутогезия – для полимерных гранулированных, агломерация – для добавок на основе резинового порошка (таблица 4.5).

Таблица 4.5

## Определение технологических свойств добавок

№ п/п	Название технологического свойства	Показатель, характеризующий технологические свойства	Наименование нормативного документа или источника по методике определения показателей	Для каких добавок определяются технологические свойства
1	2	3	4	5
1	Гигроскопичность	Относительная влажность, ее изменение при выдерживании во влажной среде	ГОСТ 16483.32-77	Целлюлозные и минеральные волокнистые
2	Набухаемость	Степень набухания, линейное расширение	ГОСТ 7516-75	Целлюлозные волокнистые
3	Сыпучесть	Скорость истечения	ГОСТ 25139-93	Волокнистые, порошковые и полимерные гранулированные
4	Термостойкость	Изменение массы при прогреве	ГОСТ 31015-2002	целлюлозные
5	Липкость и аутогезия	Температура проявления свойств	-	Полимерные гранулированные
6	Агломерация	Индекс агломерации	СТО 61595504-002-2010 ООО «Уником»	Для добавок на основе резинового порошка

Гигроскопичность (сорбционная влажность) – свойство материала поглощать водяные пары из воздуха и удерживать их вследствие капиллярной конденсации.

В таблице 4.6 приведены значения относительной влажности волокнистых добавок.

Таблица 4.6

## Относительная влажность волокнистых добавок

Время, сутки	Относительная влажность, %					
	Viator 66	Хризотоп	Topcel	Antrocel	СД-1	СД-3
1	2	3	4	5	6	7
1	1,329	0,275	1,838	1,192	1,851	1,275
2	1,597	0,296	2,044	1,434	2,572	1,563
3	1,666	0,312	2,206	1,776	2,574	1,712
4	1,838	0,322	2,273	1,833	2,601	1,876
5	1,917	0,327	2,281	1,852	2,623	1,928

Из данных таблицы 4.6 можно сделать вывод, что добавки Viator 66 и Antrocel, в меньшей степени поглощают влагу, что объясняется наличием адсорбированного битума на поверхности. Наибольшая гигроскопичность у добавок СД-1 и Topcel, так как гранулы СД-1 не имеют обработки, Topcel имеет слабую спрессованность гранул переработанной целлюлозы и не полноценную парафиновую обработку поверхности волокон.

В таблице 4.7 приведены данные по степени набухания целлюлозных добавок.

Таблица 4.7

## Степень набухания целлюлозных добавок

Время, час	Степень набухания, % по массе				
	Viator 66	Topcel	Antrocel	СД-1	СД-3
1	2	3	4	5	6
1	10,6	14,3	11,8	14,9	10,8



Из таблицы видно, что максимальную степень набухания за 1 час имеют добавки Topcel и СД-1. Обоснование полученных данных приведено выше при определении относительной влажности.

Линейное расширение целлюлозы – это показатель качества технической целлюлозы, характеризующий способность ее к набуханию.

В таблице 4.8 приведены данные по линейному расширению гранул целлюлозных добавок.

Таблица 4.8

Линейное расширение гранул целлюлозных добавок

Время, час	Линейное расширение, %				
	Viator 66	Topcel	Antrocel	СД-1	СД-3
1	2	3	4	5	6
1	43,2	71,9	58	54,7	46,5

Из таблицы 4.8 видно, что наибольшее линейное расширение у добавок Topcel, СД-1, минимальное у добавки Viator 66. Обоснование полученных данных приведено выше при определении относительной влажности.

Внешний вид исходных и набухших образцов целлюлозных добавок СД-1, TOPCEL, ANTROCEL, представлен на рис. 4.14.



а)



б)



б)



z)



д)



e)

Рис. 4.14. Внешний вид целлюлозных добавок до и после набухания:  
*a, в, д* – внешний вид СД-1, TOPCEL, ANTROCEL с естественной влажностью,  
*б, z, e* – внешний вид СД-1, TOPCEL, ANTROCEL после 5 сут. набухания.

Из рис. 4.14. видно, что набухшие гранулы целлюлозных добавок распадаются на пучки, из-за слабой связи внутри гранул. Процесс набухания обуславливает хорошее распределение целлюлозных добавок в битуме, однако резко ухудшает транспортирующую способность.

Сыпучесть (транспортирующая способность) – состояние материала, при котором между его частицами отсутствует сплошная материальная связь. Степень сыпучести характеризуется количеством материала, проходящего через единицу площади выпускного отверстия в единицу времени.

В таблице 4.9 приведены результаты определения скорости истечения добавок через бункерное отверстие (рис. 2.3) в зависимости от массы добавок.

Таблица 4.9

## Скорость истечения добавок через бункерное отверстие

Масса добавк и, кг	Время, сек.								
	Viator 66	Хриз отоп	Topcel	Antrocel	СД-1	СД-3	РТЭП	УНИР ЕМ- 001	Воксил 100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	0,4	0,6	1,0	0,4	0,8	0,5	1,0	1,0	0,9
1	1,2	1,2	1,8	1,1	1,8	1,3	1,5	1,6	1,7
1,5	1,5	1,8	2,6	1,6	2,8	1,6	2,4	2,5	2,4
2,0	2	2,4	3,2	2,1	3,2	2,2	3,1	3,4	3,6
2,5	2,4	3,0	3,8	2,6	4,2	2,7	3,4	4,5	4,6
3,0	2,9	3,6	4,7	3,0	4,9	3,1	4,8	5,2	5,1
3,5	3,2	4,2	5,5	3,3	5,7	3,4	5,4	5,9	5,8
4,0	3,7	4,8	6,2	4,1	6,4	3,9	6,1	6,5	6,4

Скорость истечения определяется не только свойствами добавки, но и массой материала, размерами и формой выпускного отверстия и другими факторами. По этой причине скорость истечения является относительной величиной. По результатам испытаний можно отметить, что гранулированные добавки Viator 66, Хризотоп, Topcel, Antrocel, СД-1, СД-3 текут равномерно. Добавки РТЭП и порошки УНИРЕМ-001, Воксил 100 текут прерывисто.

Термостойкость – способность веществ сохранять жесткость при повышении температуры.

Значения термостойкости стабилизирующих добавок представлены в таблице 4.10.

Термостойкость целлюлозных стабилизирующих добавок

Термостойкость при t 220 °С по изменению массы при прогреве, %				
Viatop 66	Topcel	Antrocel	СД-1	СД-3
1	2	3	4	5
6,50	7,0	6,75	7,05	6,63

Согласно ГОСТ 31015-2002 термостойкость при температуре 220°С по изменению массы при прогреве должна быть не более 7%. Все испытываемые добавки соответствуют требованиям.

Липкость – способность добавки при соприкосновении прилипать к поверхности твёрдого материала. Липкость характеризует адгезионную активность при взаимодействии с поверхностью инородного твёрдого материала.

Аутогезия – способность материалов, одинаковых по химическому составу, при контакте, под давлением или без него, образовывать прочные соединения на молекулярном уровне. Аутогезия в значительной степени зависит от температуры. Однако повышение температуры влияет на аутогезию только до достижения температуры перехода материала в вязкотекучее состояние. Добавка РТЭП уже при температуре 30°С проявляют склонность к аутогезии и слипанию, что ухудшает её способность к транспортированию.

Агломерация – стихийное или направленное сближение частиц тонкодисперсных материалов, благодаря которому увеличиваются размеры зерен, и повышается плотность структуры массы. Добавка УНИРЕМ-001 получила качественную оценку индекса агломерации в 8 баллов – блок разрушается при легком нажатии пальцами, что соответствует требованиям СТО 61595504-002-2010.

#### **4.4 Технологические особенности добавок в производственных условиях**

При пневмоподаче добавки УНИРЕМ-001 периодически происходит уплотнение порошка в зоне действия сжатого воздуха в нижней части приемного бункера, т.е. добавка перестает поступать в трубопровод пневмоподачи. В этом случае приходится механическими средствами разуплотнять уплотнившийся порошок. Применение гранулированного резинового порошка УНИРЕМ-002 вместо УНИРЕМ-001 устраняет это нежелательное явление.

При использовании шнековой подачи стабилизирующих добавок из приемного бункера в дозатор уплотнения резинового порошка УНИРЕМ-001 не происходит, транспортировка осуществляется без сбоев. Однако следует отметить, что при шнековой подаче происходит распушивание необработанной целлюлозной добавки СД-1, что приводит к зависанию СД-1 в дозаторе и сбоям в его работе. Таким образом, использование необработанных целлюлозных добавок при шнековой подаче нежелательно.

При использовании полимерной добавки РТЭП, обработанной битумом, в летний период, когда температура воздуха поднимается выше 30°C, наблюдается слипание сферических гранул добавки в таре для транспортировки и хранения, а при шнековом транспортировании наблюдается налипание гранул РТЭП на стенки транспортирующей трубы и шнек, возникновение и увеличение реологических сопротивлений при транспортировании и остановка шнека. В этом случае следует использовать совместно с добавкой РТЭП минеральную гранулированную добавку ХРИЗОТОП для уменьшения реологических сопротивлений при транспортировании и увеличения битумоудерживающей способности РТЭП.

#### **4.5 Выводы по 4 главе**

1. Получены цветные микрофотографии стабилизирующих добавок, на основе которых определена их микроструктура и взаиморасположение элементов микроструктуры в пространстве.

2. Произведена оценка параметров микроструктуры волокнистых, порошковых и полимерных добавок. Особенностью целлюлозных волокнистых добавок является ленточный вид волокон и их хаотичное расположение в пространстве. Особенностью хризотил-асбестовой добавки Хризотоп является то, что отдельные волокна представляют собой пучки микроволокон.

3. При анализе микрофотографий установлено, что минеральный известняковый порошок представлен частицами квадратной и прямоугольной формы, а волластонитовый минеральный порошок содержит значительное количество частиц игловатой формы.

4. Предложен перечень технологических свойств добавок и методы их определения.

5. Определены технологические свойства стабилизирующих добавок. Установлено, что волокнистые целлюлозные добавки, обработанные органическим вяжущим, в меньшей степени поглощают влагу и набухают. Гранулированные волокнистые добавки быстрее проходят через бункерное отверстие, чем УНИРЕМ-001 и РТЭП.

6. Описаны технологические особенности добавок в производственных условиях. Установлено, что при шнековой подаче происходит распушивание необработанных целлюлозных добавок, приводящее к зависанию в дозаторе и сбоям в его работе. При температуре воздуха выше 30°C наблюдается налипание гранул РТЭП на стенки транспортирующей трубы и шнек.

## ГЛАВА 5. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЩМА И ОПЫТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

### 5.1 Физико-механические свойства и показатель стекания ЩМА с добавками VIATOR 66, СД-1, СД-3, ANTROCEL, TORCEL, ХРИЗОТОП, УНИРЕМ-001, РТЭП

Результаты определения физико-механических показателей свойств ЩМАС-15 с различными стабилизирующими добавками приведены в таблицах 5.1 и 5.2. Расход стабилизирующих добавок – 0,42%, РТЭП+Viator 66 по – 0,42% от массы минеральной части.

Как видно из таблицы 5.1, основные показатели свойств ЩМА-15 со стабилизирующими добавками существенно не отличаются. Предел прочности на растяжение при расколе при 0°С для ЩМА с добавками РТЭП и Viator 66 несколько выше, чем для ЩМА с другими добавками, а самое низкое значение этого показателя (3,3МПа) имеет ЩМА с добавкой Хризотоп. Значения показателя стекания вяжущего согласно ГОСТ 31015-2002 должны быть не более 0,20% по массе, а при подборе состава смеси рекомендуется, чтобы показатель стекания находился в пределах от 0,07% до 0,15% по массе. Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь с добавкой РТЭП имеет повышенное значение показателя стекания – 1,25%, ЩМАС с добавкой Хризотоп имеет значение показателя стекания 0,20, т.к. гранулы Хризотопа плохо распушиваются на волокна. После предварительного разрушения гранул с помощью фарфоровой ступки вручную до распушенного состояния показатель снижается до 0,07%.

Для ЩМАС с целлюлозными добавками значение показателя стекания составляет 0,16-0,18%, что соответствует требованиям ГОСТ 31015-2002.

В таблице 5.2 приведены результаты определения показателей свойств ЩМАС при введении стабилизирующих добавок непосредственно в смеситель без предварительного распределения в битуме. Показатели физико-механических свойств ЩМАС с добавками РТЭП, Viator 66, и РТЭП+Viator 66 примерно

одинаковы за исключением показателя стекания. ЩМАС с добавкой РТЭП имеет показатель стекания 1,33, с добавкой Viator 66 – 0,13%, а с комплексной добавкой РТЭП+Viator 66 с расходом по 0,42% массы минеральной части каждая показатель стекания составляет 0,07%

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Стабилизирующие добавки существенно не влияют на свойства ЩМАС, за исключением показателя стекания. По показателю стекания к стабилизирующим добавкам следует отнести целлюлозные и хризотил-асбестовые добавки. Добавка РТЭП не обеспечивает требуемого значения показателя стекания и работает в ЩМАС как структурирующая полимерная модифицирующая добавка.



Физико-механические показатели свойств ЩМА-15 с различными стабилизирующими добавками

Наименование показателей	Показатели свойств								Требования ГОСТ 31015- 2002
	Без добавок	С использованием стабилизирующих добавок							
		РТЭП	VIATOR 66	Хризото п	СД-1	TOPCEL	ANTRO CEL	РТЭП + VIATOR 66	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Средняя плотность, г/куб. см	2,40	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,37	-
Пористость минерального остова, %	17	17	17	17	17	17	17	17	15-19
Остаточная пористость, %	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	1,5-4,5
Водонасыщение, % по объему	2,52	2,8	2,77	2,86	3,0	2,8	2,96	2,8	1,0-4,0
Предел прочности при сжатии, МПа									
при температуре: 20 °С	5,01	5,83	5,26	4,93	4,50	5,44	5,18	5,38	Не менее 2,2
при температуре: 50 °С	1,46	1,61	1,57	1,86	1,46	1,41	1,66	1,67	Не менее 0,65
Коэффициент внутреннего трения	0,93	0,96	0,95	0,93	0,93	0,94	0,95	0,94	Не менее 0,93
Сцепление при сдвиге, МПа	0,26	0,29	0,28	0,35	0,28	0,26	0,30	0,30	Не менее 0,18
Прочность на растяжение при расколе при 0 °С, МПа	3,72	5,6	5,09	3,3	3,46	4,7	4,32	5,02	2,5-6,0
Стекание вяжущего, %	0,88	1,23	0,161	0,20 (0,07)	0,176	0,159	0,18	0,07	Не более 0,2
Водостойкость	0,94	0,89	0,96	0,92	0,92	0,92	0,90	0,99	-

## **5.2. Физико-механические свойства и показатель стекания ЦМА с добавкой ВОКСИЛ 100**

Результаты определения физико-механических показателей свойств ЦМАС-15 с различным количеством добавки ВОКСИЛ 100 приведены в таблице 5.2. Согласно ГОСТ 31015-2002 значения показателя стекания вяжущего должен быть не более 0,20% по массе, а при подборе состава смеси рекомендуется, чтобы показатель стекания вяжущего находился в пределах от 0,07% до 0,15% по массе. Из таблицы видно, что по показателю стекания только смесь с Viator 66 удовлетворяет требованиям ГОСТ 31015-2002, т.е. стекание менее 0,2. Смесь с добавкой ВОКСИЛ 100 в количестве 0,42% имеет показатель стекания выше требуемого в 4,5 раза, а при его содержании в смеси 0,72% показатель стекания выше в 4,3 раза. Таким образом, можно сделать вывод, что добавка ВОКСИЛ 100 в ЦМАС не проявляет битумоудерживающих свойств. Добавка ВОКСИЛ 100 ведет себя как обычный минеральный порошок, что видно по физико-механическим показателям свойств ЦМАС-15, приведенным в таблице 5.2.

Физико-механические показатели свойств ЦМАС-15

№ п/п	Состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси, %	Физико-механические показатели							
		Стекание В, %	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Водонасы щение, в % по объёму	Предел прочности при сжатии, (МПа)				Водо стойк ость
					при 20°С в водонасыщен -ном состоянии	при 20°С	при 50°С	при 0°С	
1	Щебень гранит. фр. 10-15мм - 42%, щебень гранит. фр. 5-10мм - 30%, Отсев гранитн. фр. 0-5мм - 15%, известняковый минеральный порошок – 12,58%, Viator 66 – 0,42%, битум – 5,5% от массы мин. части	0,16	2,38	2,77	5,26	5,46	1,57	7,18	0,96
2	Щебень гранит. фр. 10-15мм - 42%, щебень гранит. фр. 5-10мм - 30%, Отсев гранитн. фр. 0-5мм - 15%, известняковый минеральный порошок – 13%, битум – 5,5% от массы мин. части	0,88	2,40	2,52	4,69	5,01	1,46	6,48	0,94
3	Щебень гранит. фр. 10-15мм - 42%, щебень гранит. фр. 5-10мм - 30%,	0,89	2,39	3,05	4,79	4,99	1,49	6,12	0,96

	отсев гранитн. фр. 0-5мм - 15%, известняковый минеральный порошок – 12,58%, волластонитовый минеральный порошок – 0,42%, битум – 5,5% от массы мин. части								
4	Щебень гранит. фр. 10-15мм - 42%, щебень гранит. фр. 5-10мм - 30%, отсев гранитн. фр. 0-5мм - 15%, известняковый минеральный порошок – 12,28%, волластонитовый минеральный порошок – 0,72%, битум – 5,5% от массы мин. части	0,85	2,41	2,42	4,75	4,76	1,36	6,53	0,998
5	Требования ГОСТ 31015-2002	Не более 0,2	-	1,0-4,0	-	Не мен ее 2,2	Не мен ее 0,65	-	-

### **5.3 Физико-механические свойства и показатель стекания ЩМА с добавками УНИРЕМ-001, СД-3 и АМДОР-10**

При приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси кроме добавок УНИРЕМ-001 и СД-3 для повышения однородности распределения добавок в смеси применялась адгезионная азотсодержащая добавка АМДОР-10[101]. Расход добавки УНИРЕМ-001 составлял 0,62%, СД-3 – 0,42% от массы минеральной части, а расход добавки АМДОР-10 – 1% от массы битума.

Для получения ЩМАС №1 щебень и отсев загружали вручную в смеситель и перемешивали, далее загружали минеральный порошок и перемешивали, вводили битум и перемешивали 30 секунд, затем вводили УНИРЕМ-001 и перемешивание продолжалось в течении 3 минут до образования однородной смеси. Общее время перемешивания составляло 4,5 минуты.

При получении ЩМАС №2 щебень и отсев загружали вручную в смеситель и перемешивали, далее загружали минеральный порошок и перемешивали, затем одновременно вводили добавки УНИРЕМ-001 и СД-3 перемешивали 30 секунд, далее вводили битум, и перемешивание продолжалось в течение 3 минут, до образования однородной смеси. В разогретый до 155°С битум предварительно было добавлено требуемое количество АМДОР-10. Общее время перемешивания составляло 4,5 минуты. Далее ЩМАС выдерживалось перед изготовлением образцов в течении 30 минут при температуре 160°С.

Результаты испытаний асфальтобетонных образцов приведены в таблице 5.3. Из данных таблицы 5.3 следует, что стекание вяжущего для ЩМАС № 1 с добавкой УНИРЕМ-001 значительно превосходит допустимые значения. Введение в эту смесь добавок СД-3 (ЩМАС №2) и АМДОР-10 приводит к снижению показателя стекания до допустимых пределов, увеличению водостойкости при длительном водонасыщении и позволяет получить более однородную структуру ЩМАС и распределения в битуме добавок, получить более однородные битумные пленки.

Физико-механические показатели свойств ЦМАС-15

№ п/п	Наименование показателей	Значения показателей		
		Для ЦМАС №1	Для ЦМАС №2	По СТО 61595504-003-2010
1	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	2,44	2,47	-
2	Водонасыщение, в % по объёму	3,0	2,15	1,0–4,0
3	Пористость минеральной части, %	18,4	17,6	15-19
4	Остаточная пористость, %	3,7	3,5	1,5-4,0
5	Предел прочности при сжатии, МПа при температуре 20°С	3,6	3,8	не менее 2,2
	при температуре 50°С	1,30	1,40	не менее 0,8
6	Сдвигоустойчивость: коэффициент внутреннего трения	0,93	0,97	не менее 0,92
	Сцепление при сдвиге при температуре 50°С, МПа	0,36	0,38	не менее 0,18
7	Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0°С, МПа	4,2	4,5	2,5-6,0
8	Водостойкость при длительном водонасыщении	0,94	1,03	не более 0,9
9	Стекание вяжущего, % по массе	1,08	0,14	не более 0,15
10	Однородность смеси: коэффициент вариации предела прочности при сжатии при температуре 50°С, МПа	0,16	0,13	-

#### **5.4. Физико-механические свойства и показатель стекания ЩМАС с добавками РТЭП, VIATOR 66 и АМДОР-10**

Недостатком щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси (ЩМАС) с добавкой РТЭП является недостаточная устойчивость к расслаиванию в процессе транспортирования и загрузки-выгрузки, определяемая по показателю стекания вяжущего в соответствии с ГОСТ 31015-2002. После введения в ЩМАС дополнительно к РТЭП волокнистых стабилизирующих добавок показатель стекания соответствует требованиям ГОСТ 31015-2002, но однородность ЩМАС, оцениваемая по коэффициенту вариации показателя предела прочности при сжатии при температуре 50°С и по значениям средней плотности становится низким, что снижает длительную водостойкость и долговечность покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА). Для увеличения однородности ЩМАС вводилась адгезионная азотсодержащая добавка АМДОР-10. Расход гранулированной добавки РТЭП и Viator 66 в ЩМАС-15 составляло 0,42% от массы минеральной части, а содержание адгезионной добавки АМДОР-10 составляло 1,5% от массы битума.

Для получения ЩМАС №1 щебень и отсев загружали вручную в смеситель и перемешивали, далее загружали минеральный порошок и перемешивали, вводили добавку РТЭП и перемешивали 30 секунд, затем вводили битум и перемешивание продолжалось в течение 3 минут до образования однородной смеси. Общее время перемешивания составляло 4,5 минут.

При получении ЩМАС №2 в состав ЩМАС №1 одновременно с добавкой РТЭП вводилась дополнительно добавка Viator 66. Последовательность введения компонентов, температурный режим и время перемешивания было аналогично ЩМАС №1.

При получении ЩМАС №3 использовался состав ЩМАС №2 с изменением, а именно: в разогретый до  $t=155^{\circ}\text{C}$  битум добавлялось предварительно требуемое количество добавки «АМДОР-10».

Последовательность введения компонентов, температурный режим и время перемешивания были аналогичны составам ЩМАС №1 и ЩМАС №2.

Результаты испытаний образцов приведены в таблице 6.4. Из данных таблицы 5.4. следует, что стекание вяжущего для ЩМАС № 1 с добавкой РТЭП значительно превосходит допустимые значения. Введение в эту смесь добавки Viator 66 (ЩМАС №2) приводит к снижению показателя стекания до допустимых пределов и увеличению водостойкости при длительном водонасыщении. Введение в ЩМАС №2 добавки «АМДОР-10» приводит к увеличению водостойкости при длительном водонасыщении и незначительному снижению показателя стекания вяжущего. Однородность смеси ЩМАС №1 снижается при введении в нее добавки Viator-66 (смесь ЩМАС №2). Введение добавки «АМДОР-10» позволяет повысить однородность ЩМАС №3 по сравнению со смесями ЩМАС №1 и ЩМАС №2.

Таблица 5.4

## Показатели физико-механических свойств ЩМАС

№ п/п	Наименование показателей	Значения показателей			
		для ЩМАС №1	для ЩМАС№ 2	для ЩМАС №3	По ОДМ 218.3.001- 2006
1	Средняя плотность, г/см <sup>2</sup>	2,50	2,49	2,49	-
2	Водонасыщение, % по объему	1,87	2,84	2,70	1,0-4,0
3	Пористость минеральной части, %	16,45	16,78	16,30	15-19
4	Остаточная пористость, %	3,20	3,60	3,40	1,5-4,5
5	Предел прочности при сжатии, МПа при температуре 20°С	3,30	3,43	3,60	не менее 2,7
	при температуре 50°С	1,29	1,00	1,27	не менее 0,75
6	Сдвигоустойчивость: коэффициент внутреннего трения	0,93	0,94	0,94	не менее 0,93
	сцепление при сдвиге при температуре 50°С, МПа	0,26	0,31	0,30	не менее 0,22



7	Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при температуре 0°С, МПа	4,6	4,0	3,8	2,5-6,0
8	Водостойкость при длительном водонасыщении	0,94	0,98	1,02	не менее 0,85
9	Стекание вяжущего, % по массе	2,69	0,13	0,11	не более 0,3
10	Однородность смеси: коэффициент вариации предела прочности при сжатии при температуре 50°С, МПа	0,16	0,18	0,13	не более 0,16
11	Расхождение по значениям средней плотности	0,03	0,04	0,02	не более 0,03 г/см <sup>2</sup>

### **5.5. Процессы распределения добавок в ЩМАС при перемешивании и взаимодействие между компонентами смеси**

Исследователями установлено [5,10,18], что перемешивание полидисперсных компонентов минеральной части асфальтобетонной смеси и дальнейшее перемешивание с битумом состоит из трех процессов: перенос групп смежных частиц из одного участка массы в другой – конвективное перемешивание; распределение частиц по вновь образованной поверхности – перемешивание рассеиванием, диффузией; образование скользящих плоскостей внутри смешиваемого материала – перемешивание сдвигом.

Получение однородной полидисперсной смеси при «сухом» перемешивании происходит в основном за счет конвективных процессов, которые осуществляются при получении извне импульсов движения, т.е. принудительно, и определяются интенсивностью внешних механических воздействий. Диффузионные процессы заключаются в том, что поверхность частиц щебня и песка покрывается слоем тонкодисперсных частиц минерального порошка, пылеватыми частицами из щебня и песка. При этом происходит перенос тепловой

энергии от зерен щебня и песка к зернам минерального порошка, его нагрев и выравнивание температуры минеральной смеси. В процессе «сухого» перемешивания слой тонкодисперсных частиц меняет свою толщину: часть частиц переходит в «свободное» состояние, т.е. отрываются от поверхности крупных частиц, другие тонкодисперсные частицы занимают их место.

Образование двухфазной сыпучей полидисперсной системы существенно отличается по характеру протекающих процессов от системы, в которой появляются битумные прослойки, т.е. при введении в полиминеральную и полидисперсную смесь битумного вяжущего. В начальный период происходит конвективное перемешивание, а затем доминирующим становится перемешивание сдвигом.

В результате принудительно осуществляемого конвективного процесса перемешивания происходит макрораспределение битума в смеси: битум, попадая на минеральный материал, переносится лопатками смесителя или стенками барабана с группой минеральных частиц на другой участок. Конвективные процессы доминируют в начале перемешивания, благодаря им становится возможным проявление сдвиговых процессов, которые являются основными в дальнейшем распределении битума внутри локального объема. Диффузионные процессы при перемешивании проявляются с момента попадания битумной капли на поверхность минерального зерна и относятся в большей степени к физико – химическим явлениям, т.к. протекают на границе раздела поверхностей и определяются не только интенсивностью протекания конвективных процессов, но и условиями на границе раздела фаз (температурой минерального материала и битума; видом и дисперсностью минерального материала, состоянием его поверхности; составом, физическими и химическими свойствами битума), что проявляется в различной скорости смачивания и растекания, обволакивания минеральных частиц битумом и образованием пленки вяжущего различной толщины, когезионной и адгезионной прочности.

Стабилизирующие добавки вводятся в асфальтосмеситель, как правило, после того, как щебеночные и песчаные фракции минерального материала уже

перемешались с частицами минерального порошка и до ввода битума осталось 3-4 секунды. За это оставшееся время «сухого» перемешивания происходит диспергирование, «распушивание» гранул волокнистых добавок до волокон и распределение волокон в объеме минеральной смеси. Это первый этап процесса перемешивания. Полимерные гранулы РТЭП в результате сдвиговых процессов деформируются и переходят в виде прослоек на поверхности минеральных материалов. Резиновые частицы распределяются в объеме минеральной смеси, часть компонентов УНИРЕМ-001 переходит в пленочное состояние.

На втором этапе перемешивания, при введении битума в асфальтосмеситель происходит смачивание и растекание битума по поверхности компонентов смеси, начинаются процессы взаимодействий на границе раздела фаз. В результате конвективных и диффузионных процессов битум попадает на поверхность стабилизирующих добавок. Когда предварительное распределение битума закончилось и появились прослойки между минеральными частицами, наступает третий, заключительный, этап перемешивания, в котором основным процессом деформирования является перемешивание сдвигом по битумным прослойкам. Сдвиговые процессы обеспечивают перераспределение битума в приповерхностном его слое на крупных щебеночных частицах. Фактически это слой мастики, в состав которой кроме битума входят частицы минерального порошка, песка и стабилизирующей добавки. Приповерхностный слой битума на крупных щебеночных частицах формируется в результате проявления силовых полей дальнедействующих поверхностных сил щебеночных частиц, а также особенностей протекания сдвиговых процессов и образования плоскостей скольжения в зернистых смесях с жидкими прослойками. На этом этапе происходит набухание целлюлозных волокон и образование на их поверхности и в межфибрилярном пространстве битумных прослоек с сольватными оболочками; дальнейшее расщепление волокон хризотил-асбеста с образованием на их поверхности ориентированных битумных слоев и капиллярными явлениями; окончательный переход в пленочное состояние и распределение в битумной прослойке полимерной добавки РТЭП; процессы структурообразования

и взаимодействия с битумом компонентов добавки УНИРЕМ-001, с окончательной фиксацией резиновых частиц и образованием сольватных оболочек на их поверхности. Следует отметить, что вышеперечисленные процессы сопровождаются изменением структуры и компонентного состава битумного вяжущего. Битумные прослойки могут находиться под влиянием сразу нескольких силовых полей близлежащих частиц, компоненты стабилизирующих добавок будут изменять структуру и свойства прослойки. Введение адгезионной азотсодержащей добавки в битум будет изменять растворяющую способность углеводородной дисперсионной среды битумной дисперсной системы. Молекулы и мицеллы азотсодержащих ПАВ частично будут адсорбироваться на поверхности дисперсных битумных частиц (асфальтенов и их ассоциатов), частично находиться в углеводородной дисперсионной среде. В процессе перемешивания РТЭП или УНИРЕМ-001 и волокнистой добавки с битумом часть молекул и мицелл азотсодержащих ПАВ, а также битумные частицы с адсорбированным слоем ПАВ будут адсорбироваться на поверхности надмолекулярных структур полимерных компонентов РТЭП или УНИРЕМ-001 и на поверхности волокон стабилизирующей (битумоудерживающей) добавки, блокируя полярные группы, что приведет к уменьшению межмолекулярного взаимодействия и облегчит распределение полимерных компонентов РТЭП резиновых частиц УНИРЕМ-001 и волокон в битуме.

### **5.6. Устройство покрытия из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси**

Устройство асфальтобетонного покрытия из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМАС производилось ОАО «Орелдорстрой» на автомобильных дорогах «Таврово – Соломино – Разумное», «Белгород – Шебекино», «Белгород – Шебекино – Волоконовка», М-2 «Крым».

В сентябре-октябре 2011 года было выпущено 2121т. ЩМАС-15 и уложены участки на а/д «Таврово – Соломино – Разумное» на следующих пикетах: ПК

90+50 ÷ ПК 95+50 (левое направление); ПК 51+63 ÷ ПК 46+07 (правое направление), ПК 51+63 ÷ ПК 46+07 (левое направление), ПК 51+63 ÷ ПК 54+00 (правое направление), ПК 45+87 ÷ ПК 46+07 (левое и правое направление) На а/д «Белгород – Шебекино» было устроено покрытие из ЩМАС-15 на ПК 0+00 ÷ ПК 8+60 правого направления, полоса укладки ближняя к оси. ЩМАС-15 производилась на асфальтосмесительной установке SPECО TSAP 2000P на АБЗ Ф ОАО «Орелдорстрой» СУ-831 в аэропорту г. Белгорода. Акт об использовании добавки УНИРЕМ-001 при устройстве асфальтобетонного покрытия приведен в приложении И.

В июле-октябре 2012 году было выпущено 44827т. ЩМАС-15 и устроено покрытие на автомобильной дороге «Белгород – Шебекино – Волоконовка» км 8+500 – км 26+225 в Белгородском и Шебекинском районе Белгородской области. ЩМАС-15 производилась на двух асфальтосмесительных установках SPECО TSAP 2000 P (установках СУ-816 и СУ-831) на АБЗ СУ-816 в п. Разумное Белгородского р-на, Белгородской области. Акт об использовании добавки УНИРЕМ-001 совместно с добавками VIATOR 66 и АМДОР-10 при устройстве асфальтобетонного покрытия из ЩМАС-15 приведен в приложении Л.

Для приготовления ЩМАС-15 использовались следующие материалы:

1. Щебень гранитный фр. 5-15 мм – ЗАО «Кировоградгранит»;
2. Отсев гранитный фр. 0-5 мм – ККУ «Кварц»;
3. Минеральный порошок – ОАО «Доломит»;
4. Стабилизирующие добавки – УНИРЕМ-001, УНИРЕМ-002, Viator 66;
5. Адгезионная добавка АМДОР-10;
6. Битум БНД 60/90 – Московского НПЗ.

Состав щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЩМАС-15 следующий: гранитный щебень фр. 5-15 мм – 72%, отсев гранитный фр. 0-5 мм – 15%, известняковый минеральный порошок – 13%, стабилизирующая добавка – 0,84%, Оптимальное количество битума в смеси составляло 5,8-6% от массы минеральной части. Содержание в ЩМАС-15 добавок «УНИРЕМ-001»

составляло 0,42%, Viator 66 – 0,42% от массы минеральной части, а содержание адгезионной добавки «АМДОР-10» составляло 1% от массы битума.

Состав ЩМАС-15 изготовленной для автомобильной дороги «Белгород – Шебекино – Волоконовка» такой же, как и приведен выше, отличительной особенностью является то, что помимо применения в составе добавки УНИРЕМ-001 (расход – 0,42% от массы минеральной части), применялась добавка УНИРЕМ-002 (расход – 0,2% от массы минеральной части). Viator 66 – 0,2% или 0,42%, соответственно 0,62% от массы минеральной части.

Состав щебеночно-мастичного асфальтобетона соответствовал требованиям ГОСТ 31015-2002.

ЩМАС-15 производилась на асфальтосмесительных установках СПЕСО TSAP 2000P на АБЗ в аэропорту г. Белгорода и в п. Разумное. Приготовление осуществлялось по следующей технологической схеме. Инертные материалы из бункеров хранения подавались в сушильный барабан, где происходило их просушивание и нагрев до заданной температуры, затем материалы по горячему элеватору поступали на разгрохотку на виброгрохоте и хранились в горячих бункерах в зависимости от размера их фракций. Затем, после взвешивания, из дозатора материалы подавались в смеситель. Из ёмкости хранения по шнековому питателю и элеватору минеральный порошок подавался в дозатор, откуда высыпался в смеситель. Из битумной емкости с помощью битумного насоса горячий битум подавался в дозатор, после дозирования через форсунку происходило распыление битума в смеситель. Пыль, образовавшаяся в результате нагрева и просушивания материалов, проходила через 1-й этап «сухой циклон», поступала в коллектор пыли и через дозатор пыли подавалась в смеситель. Очищенный воздух выбрасывался в атмосферу. Инертные материалы, минеральный порошок, пыль, битум подавались в смеситель, где происходил процесс смешивания, затем через разгрузочные заслонки готовая смесь выгружалась в автосамосвал.

Подача стабилизирующих добавок на установках СПЕСО предусмотрена сжатым воздухом (рис. 5.5.). Гранулированная стабилизирующая добавка

загружалась погрузчиком из мешков массой 500кг. в приемный бункер 1, далее поступала в бункер предварительного накопления добавки перед пневмотранспортированием 2 и далее в пневмопровод 3. Периодически включаемый компрессор 4 сжатым воздухом транспортировал стабилизирующую добавку снизу вверх в бункер предварительного накопления добавки перед дозированием 5 и далее в дозатор 6. В дозаторе 6 происходило накопление необходимого количества стабилизирующей добавки для одного замеса в асфальтосмесителе. В процессе перемешивания материалов в асфальтосмесителе отдозированное количество стабилизирующей добавки из дозатора 6 по трубопроводу 7 поступало в асфальтосмеситель. Стабилизирующая добавка подавалась в смеситель после подачи инертных материалов и минерального порошка, перемешивалась вместе с ними 10-15 секунд, затем в смеситель подавался горячий битум.



Рисунок 5.5. – Внешний вид линии дозирования и подачи гранулированных добавок для ЩМА.

1 – приемный бункер; 2 – бункер предварительного накопления добавки перед пневмотранспортированием; 3 – пневмопровод подачи добавки к дозатору; 4 – компрессор; 5 – бункер предварительного накопления добавки перед дозированием; 6 – дозатор; 7 – трубопровод подачи добавки в асфальтосмеситель.

Для совместной подачи добавок был предложен и смонтирован дополнительный приемный бункер на основе устройства для механического транспортирования сыпучих продуктов имеющий в своем составе гибкий рабочий орган марки ШС2-ХМЖ. (рис 5.6.). Добавки «УНИРЕМ-001» с Viator 66, или РТЭП с СД-3 засыпались отдельно в разделенный на две части металлической перегородкой бункер. Перегородка располагалась вдоль шнека (рис. 5.7.) Из приемного бункера линии подачи стабилизирующие добавки транспортировались шнековым питателем к дозирующему устройству.

Линия подачи стабилизированных добавок (рис. 5.6.-5.8.) состоит из загрузочного узла, к торцевому фланцу которого крепится одноступенчатый цилиндрический мотор-редуктор РС090-2.2квт. С противоположной стороны к загрузочному узлу приварена труба L=100мм. Разгрузочный узел представляет собой трубу L=300мм с разгрузочным патрубком диаметром 90мм, L=200мм для разгрузки продукта. На конце разгрузочного узла закреплена подшипниковая опора с валом. Корпус транспортера состоит из двух отводов и прямого участка трубы. Трасса трубопровода собирается встык при помощи стяжных хомутов. Рабочая спираль закрепляется на валах загрузочного и разгрузочного узлов. Подача добавок к асфальтосмесителю осуществляется следующим образом. Добавки попадают в узел загрузки и при вращении рабочей спирали перемещаются по трубопроводу через узел разгрузки, одновременно перемешиваясь друг с другом, попадают в емкость дозирующего устройства. Не «доходя» определенной массы для обеспечения более точного дозирования транспортное устройство переключается на пониженную скорость подачи. После точного набора материала происходит отключение подачи. После набора материала добавок в дозатор автоматически открывается клапан выгрузки добавки в асфальтосмеситель. После выгрузки добавки клапан закрывается, включается транспортное устройство и производит набор материала добавки для следующего цикла. Сухое перемешивание добавки



УНИРЕМ-001 и VIАТОР 66 с минеральным материалом составляло 10-12с, с битумом 40-45с.



Рисунок 5.6. – Внешний вид дополнительного приемного бункера со шнековой подачей добавок



Рисунок 5.7. – Дополнительный приемный бункер подачи добавок, разделенный на две части (вид сверху).

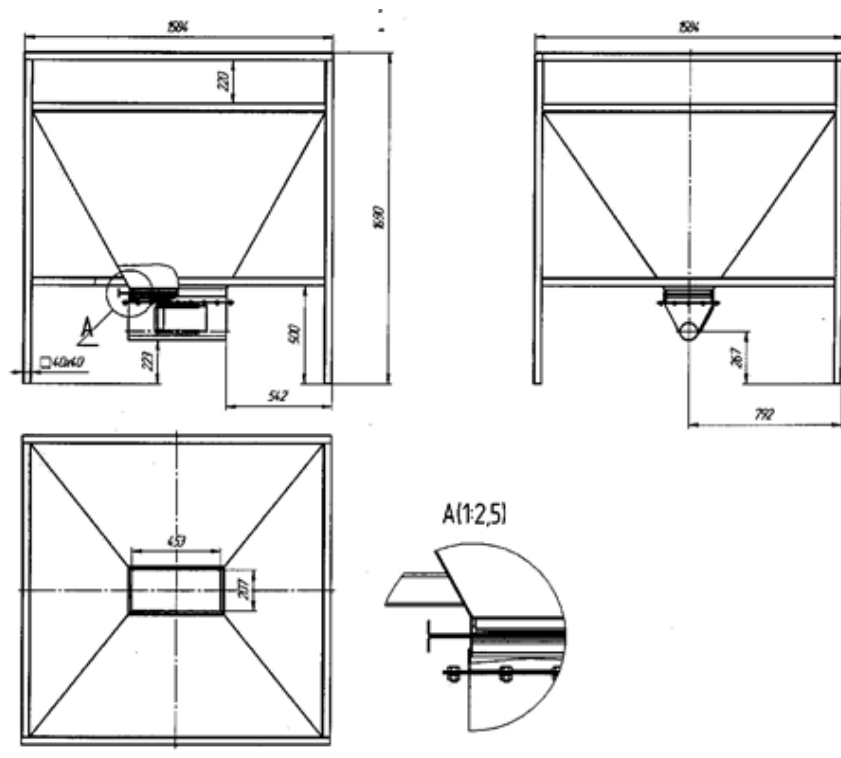


Рисунок 5.8. – Схема дополнительного приемного бункера подачи добавок.

Добавка «АМДОР-10» транспортировалась на АБЗ в 200-литровых металлических бочках. Технологическая схема введения адгезионной добавки «Амдор-10» представлена на рис. 5.9. Перед сливом в приемное корыто 1 добавка разогревается до 40-60°C. Далее по трубопроводу 2 битумным насосом 3 через загрузочное отверстие 4 добавка сливается в битумную емкость из расчета расхода «Амдор-10» 0,8 — 1% от массы битума. Перемешивание добавки с битумом производится циркуляцией, создаваемой насосом-смесителем 5 в течение 30 минут. Из битумной емкости 6 готовая смесь битума с добавкой подается насосом в дозатор битума и далее в асфальтосмеситель.

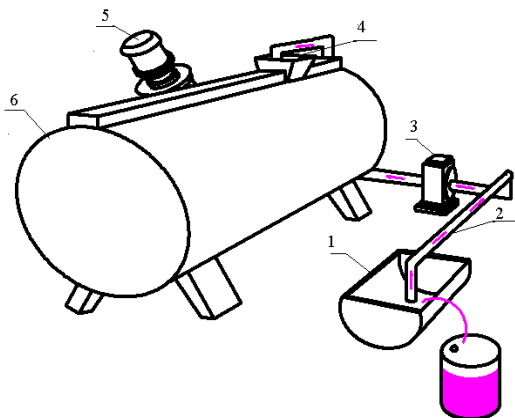


Рисунок 5.9. – Технологическая схема введения адгезионной добавки «Амдор-10» в битум.

1 - приемная емкость для жидких добавок; 2 - трубопровод; 3 - битумный насос; 4 - загрузочное отверстие; 5 - насос-смеситель; 6 - битумная цистерна.

При выгрузке из накопительного бункера или непосредственно из асфальтосмесителя в кузова автомобилей смесь выглядела однородной без каких-либо признаков сегрегации и расслоения. Температура ЩМАС при выгрузке составляла 165–175°C. ЩМАС загруженная в автомобили-самосвалы, закрывалась на период транспортирования защитными тентами. Расслоение вяжущего в кузовах автомобилей в момент выгрузки не наблюдалось. Показатель стекания битума в смеси, которая поставлялась к месту укладки, колебался в пределах 0,04 – 0,15%.

Укладка и уплотнение щебеночно-мастичного асфальтобетона осуществлялась по традиционной технологии. На подготовленное основание разливалась битумная эмульсия из расчета 0,3 л/м<sup>2</sup>. Укладку смеси производили с помощью асфальтоукладчиков ТИТАН 8820 на гусеничном ходу (рис. 5.10.). Температура ЩМАС в начале укладки составляла 150-175°C.



Рисунок 5.10. – Укладка ЩМАС-15 асфальтоукладчиком ТИТАН 8820.

Предварительное уплотнение ЩМА смеси осуществляется трамбуемым брусом асфальтоукладчика с частотой 800-1000 ударов/мин и ходом бруса 4мм. Для окончательного уплотнения применяются гладковальцовые вибрационные тандемные катки весом 8-11т, работающие в статическом режиме (рис. 5.11.). Уплотнение ЩМАС производилось в температурном интервале от 165 до 120°С катками, которые двигались по возможности короткими захватками со скоростью не менее 5-6 км/ч, приближаясь как можно ближе к асфальтоукладчику. Уплотнение слоя производили 4-6 проходами катков по одному следу. Следует отметить, что при температуре смеси около 120-130°С ЩМАС-15 с УНИРЕМ-001 и УНИРЕМ-002 плохо уплотняется, поэтому количество проходов увеличивалось до 8. В процессе уплотнения катки двигались по укатываемой полосе челночно от ее краев к оси дороги, а затем от оси к краям, перекрывая каждый след на 20-30 см. Первый проход катка производили, отступив от края покрытия на 10 см. Края уплотняли после первого прохода катка по всей длине захватки.



Рисунок 5.11. – Уплотнение ЩМАС-15 гладковальцовыми вибрационными тандемными катками.

В июле-октябре 2012 году было выпущено 46543т ЩМАС-10 и устроено покрытие при ремонте автомобильной дороги М-2 «Крым» км 304+831 – км 318+000; км 318+000 – км 329+343 и капитальном ремонте автомобильной дороги М-2 «Крым» км 329+343 – км 354+320 в Орловской области. Акт об использовании добавки РТЭП совместно с добавками СД-3 и АМДОР-10 при устройстве асфальтобетонного покрытия из ЩМАС-10 приведен в приложении И.

Для приготовления ЩМА смеси использовались следующие материалы:

1. Щебень гранитный фр. 5-10 мм – ЗАО «Кировоградгранит»
2. Отсев гранитный фр. 0-5 мм – ККУ «Кварц»
3. Минеральный порошок – ОАО «Доломит»;
4. Стабилизирующая добавка – РТЭП, СД-3;
5. Адгезионная добавка АМДОР-10;
6. Битум БНД 60/90 – Московского НПЗ.

Состав смеси следующий: гранитный щебень фр. 5-10 мм – 74%, отсев гранитный фр. 0-5 мм – 13%, известняковый минеральный порошок – 13%, стабилизирующая добавка – 0,52%, Оптимальное количество битума в смеси составляло 5,6-5,8% от массы минеральной части. Содержание в ЩМАС-10 РТЭП



составляло 0,32%, СД-3 – 0,2% от массы минеральной части, а содержание адгезионной добавки «АМДОР-10» составляло 1% от массы битума.

Состав щебеночно-мастичного асфальтобетона соответствовал требованиям ГОСТ 31015-2002.

ЩМАС-10 производилась на двух асфальтосмесительных установках: ДС-168 на промбазе «Лужки» СУ-812 в г. Орле и МІС 75 на промбазе п. Подмокрое СУ-831 в Мценском р-не, Орловской области. Сухое перемешивание добавки РТЭП и СД-3 с минеральным материалом составляло 8-10с, с битумом 35-40с. Приготовление, укладка, уплотнение ЩМАС-10 осуществлялось по технологическим схемам, описанным выше.

Визуальные наблюдения за состоянием проезжей части опытных участков показал достаточную однородность поверхности покрытия и отсутствие дефектов.

Качество ЩМА оценивалось как непосредственно при устройстве покрытия, так и по результатам испытаний кернов (рис. 5.12).



Рисунок 5.12 – Отбор кернов из покрытия ЩМА-15.

В таблице 5.5 – 5.8 представлены физико-механические показатели ЩМА-15, ЩМА-10 из отобранных проб смеси и физико-механические показатели кернов, отобранных из покрытия.

Таблица 5.5

Физико-механические показатели свойств ЩМАС-15 выпущенной на асфальтосмесительной установке СПЕСО ТSАР 2000Р на АБЗ СУ-831 в аэропорту г. Белгорода, для устройства покрытия на а/д «Таврово – Соломино – Разумное», «Белгород – Щебекино» (2011г.)

№ п/п	Наименование показателей	Фактические показатели	Требования ГОСТ 31015-2002
1	Средняя плотность, г/куб. см	2,38	-
2	Пористость минерального остова, %	15,27	2,0-4,5
3	Остаточная пористость, %	2,6	1,5-4,0
4	Водонасыщение, % по объему	1,90	Не более 4,0
5	Предел прочности при сжатии, Мпа при температуре: 20 °С при температуре: 50 °С	3,46	Не менее 2,5
		1,52	Не менее 0,70
6	Коэффициент вариации R <sub>50</sub>	0,11	Не менее 0,18
7	Сцепление битума с минеральной частью а/б смеси	выдерживает	выдерживает
8	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении (15сут.)	0,89	Не менее 0,75
9	Прочность на растяжение при расколе при 0 °С, МПа	3,87	3,0-6,5
10	Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения tg	0,94	Не менее 0,93
11	Сцепление при сдвиге при температуре 50°С, МПа	0,31	Не менее 0,20
12	Стекание вяжущего, %	0,15	Не более 0,20

Физико-механические показатели свойств ЦМАС-15 выпущенной на асфальтосмесительной установке SPECО TSAP 2000P на АБЗ СУ-816 в п. Разумное Белгородского р-на для устройства покрытия на а/д «Белгород – Шебекино – Волоконовка».

№ п/п	Наименование показателей	Фактические показатели	Требования ГОСТ 31015-2002
1	Средняя плотность, г/куб. см	2,38	-
2	Пористость минерального остова, %	16,52	2,0-4,5
3	Остаточная пористость, %	2,8	1,5-4,0
4	Водонасыщение, % по объему	1,95	Не более 4,0
5	Предел прочности при сжатии, Мпа при температуре: 20 °С при температуре: 50 °С	3,67	Не менее 2,5
		1,42	Не менее 0,70
6	Коэффициент вариации R <sub>50</sub>	0,12	Не менее 0,18
7	Сцепление битума с минеральной частью а/б смеси	выдерживает	выдерживает
8	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении (15сут.)	0,94	Не менее 0,75
9	Прочность на растяжение при расколе при 0 °С, МПа	3,94	3,0-6,5
10	Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения tg	0,93	Не менее 0,93
11	Сцепление при сдвиге при температуре 50°С, МПа	0,29	Не менее 0,20
12	Стекание вяжущего, %	0,14	Не более 0,20



Таблица 5.7

Физико-механические показатели свойств ЦМАС-10 выпущенной на асфальтосмесительной установке ДС-168 на промбазе «Лужки» СУ-812 в г. Орле для устройства покрытия на а/д М-2 «Крым»

№ п/п	Наименование показателей	Фактические показатели	Требования ГОСТ 31015-2002
1	Средняя плотность, г/куб. см	2,40	-
2	Пористость минерального остова, %	16,12	2,0-4,5
3	Остаточная пористость, %	3,4	1,5-4,0
4	Водонасыщение, % по объему	2,1	Не более 4,0
5	Предел прочности при сжатии, Мпа при температуре: 20 °С при температуре: 50 °С	3,42	Не менее 2,5
		1,16	Не менее 0,70
6	Коэффициент вариации R <sub>50</sub>	0,12	Не менее 0,18
7	Сцепление битума с минеральной частью а/б смеси	выдерживает	выдерживает
8	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении (15сут.)	0,94	Не менее 0,85
9	Прочность на растяжение при расколе при 0 °С, МПа	4,22	3,0-6,5
10	Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения tg	0,93	Не менее 0,93
11	Сцепление при сдвиге при температуре 50°С, МПа	0,26	Не менее 0,20
12	Стекание вяжущего, %	0,14	Не более 0,20

Как видно из таблиц 8.1-8.3, показатели свойств отобранных проб ЦМА-10, ЦМАС-15 соответствуют требованиям ГОСТ 31015-2002.

Физико-механические показатели свойств кернов отобранных из покрытия ЩМА-10, ЩМА-15.

№ п/п	Наименование показателей	Фактические показатели			Требования ГОСТ 31015- 2002
		а/д «Тавросово – Соломино – Разумное» ПК 94+30	а/д «Белгород – Шебекино – Волоконовка» км 23+362	а/д М-2 «Крым» км 327+432	
1	Толщина слоя, см	5	5	4	-
2	Средняя плотность, г/куб. см	2,31	2,42	2,36	-
3	Водонасыщение, % по объему	1,95	2,06	1,95	Не более 4,0
4	Предел прочности при сжатии, Мпа при температуре: 50 °С	1,48	1,33	1,41	Не менее 0,70
5	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении (15сут.)	0,94	0,94	0,94	Не менее 0,85

Как видно из таблицы 5.8 показатели свойств ЩМА-10 и ЩМА-15 в отобранных кернях из покрытия соответствуют требованиям ГОСТ 31015-2002.

Анализ результатов производственного использования ЩМА с введением гранулированных добавок Viator 66, РТЭП, СД-3, «УНИРЕМ-001» и АМДОР-10 показал, что совместное использование добавок позволяет снизить показатель стекания до допустимых пределов, увеличить водостойкость при длительном водонасыщении и повысить однородность ЩМАС.

### **5.7 Определение показателей однородности щебеночно-мастичной асфальтобетонной смесей.**

Показатели качества щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси - это статистические величины. Под влиянием большого количества производственных факторов происходят колебания состава, температуры, однородности щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Эти колебания наблюдаются от замеса к замесу, от массы к массе, находящейся в кузовах автомобилей[35].

Вариация качества асфальтобетонных смесей неизбежна даже при налаженном и стабильном производственном процессе. Степень вариации показателей качества щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей зависит от стабильности характеристик исходных материалов, совершенства технологического оборудования, налаженности технологического процесса, стабильности производственных условий.

Снижение вариации качества щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей является одной из важнейших задач дорожно-строительного производства. Чем меньше вариация качества, тем выше однородность смеси и больше долговечность покрытия.

Однородность оценивали на основе выборочных испытаний, и по степени рассеяния физико-механического показателя щебеночно-мастичного асфальтобетона - предела прочности при сжатии при 50°С.

Количество опытов, необходимых для исследования физико-механических свойств асфальтовяжущего и ЩМАС определяли в соответствии с ГОСТ 27.502-83.

Таблица 5.9

Показатели предел прочности при сжатии при 50°С

№ испытания	ЩМАС-15 с УНИРЕМ-001+СД- 1+Амдор10	ЩМАС-10 с УНИРЕМ-001+СД- 1+Амдор10	Асфальтовяжущее с УНИРЕМ-001+СД- 1+Амдор10
1	1,52	1,16	1,93
2	1,42	1,22	2,14
3	1,30	1,36	2,09
4	1,40	1,18	1,96
5	1,42	1,40	1,82
6	1,56	1,14	2,22
7	1,69	1,26	1,96
8	1,27	1,56	1,75
9	1,61	1,42	1,87
10	1,35	1,13	2,18
11	1,89	1,61	2,01
12	1,56	1,23	1,63
13	1,96	1,45	1,97
14	1,32	1,38	1,84
15	1,57	1,19	1,63
16	1,69	1,36	2,15
17	1,29	1,55	2,19
18	1,36	1,23	2,31
19	1,49	1,34	1,99
20	1,53	1,39	1,78
21	1,85	1,18	1,69
22	1,72	1,59	1,93
23	1,64	1,67	2,05
24	1,23	1,52	2,09

25	1,65	1,39	2,18
26	1,71	1,22	2,24
27	1,42	1,37	1,89

Таблица 5.10

Показателей однородности щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей

Показатели	ЩМАС-15 с УНИРЕМ- 001+СД- 1+Амдор10	ЩМАС-10 с УНИРЕМ- 001+СД- 1+Амдор10	Асфальтовяжущ ее с УНИРЕМ- 001+СД- 1+Амдор10
Среднее арифметическое $a$	1,53407	1,35185	1,98111
Степень рассеяния $S_j^2$	0,00384	0,02480	0,03599
Средне квадратическое отклонение $S_j$	0,1962	0,1575	0,1897
Коэффициент вариации $V$	0,0554	0,0862	0,0646

Коэффициент вариации может изменяться от 0 до 1. Чем меньше коэффициент вариации  $V$ , тем больше однородность смеси.

### 5.8 Расчет экономического эффекта применения стабилизирующих добавок

Щебеночно-мастичный асфальтобетон предусматривает его укладку тонкими слоями. Поэтому ЩМА более рентабелен по сравнению с традиционными материалами для верхних слоев дорожных покрытий, хотя и содержит в своем составе более дорогие и качественные компоненты.

В таблицах 5.11 и 5.12 рассчитана стоимость устройства ЩМА-10 с добавками VIATOR 66, УНИРЕМ-001 и АМДОР-10.

Таблица 5.11

Стоимость ЦМА-10 с добавкой Viator 66														
№ п/п	Шифр норматива	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.					Стоимость, руб.				
					Всего	в том числе:				Всего	в том числе:			
						ОЗП	Экспл. машин	в т.ч. з/п маш.	Материалы		ОЗП	Экспл. машин	в т.ч. з/п маш.	Материалы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	27-10-004-3	Приготовление мелкозернистой плотной (с плотностью каменных материалов 3 т/м3 и более) смеси щебнемастичной асфальтобетонной	100 т	1	41179,45	217,09	16870,91	1360,87	24 091,45	41 179	217	16 871	1 361	24 091
		Накладные расходы (НР) :		66	%					1 041				
		Сметная прибыль (СП) : 65% *0.8 =		52	%					821				
		<b>Итого с НР и СП</b>								<b>43 041</b>				
	Код ресурса	Наименование учетного ресурса	Ед. изм.	Норматив	Поправка	Расход ед.	Объем	Цена	Стоим. ед.	Всего				
	1-3.3-2010-57	Затраты труда рабочих (средний разряд работы 3.3)	чел.-ч	24,31		24,31	24,31	8,93	217,09	217,09				
								<b>ОЗП:</b>	<b>217,09</b>	<b>217</b>				
	030101	Автопогрузчики 5 т	маш.-ч	3,39		3,39	3,39	88,42	299,74	299,74				
								9,71	32,92	32,92				
	120651	Заводы асфальтобетонные с дистанционным управлением 50 т/ч	маш.-ч	5,63		5,63	5,63	2 943,37	16 571,17	16 571,17				
								235,87	1 327,95	1 327,95				
								<b>Итого:</b>	<b>16 870,91</b>	<b>16 871</b>				
									<b>1 360,87</b>	<b>1 361</b>				
	101-1555	Битумы нефтяные дорожные марки БНД-60/90, БНД 90/130, сорт высший	т	6,5		6,5	6,5	1 780,62	11 574,03	11 574,03				
	101-1804	Порошок минеральный	т	15		15	15	146,02	2 190,30	2 190,30				
	101-2193	Волокно целлюлозное типа «Виатоп-66»	т	0,35		0,35	0,35	6 556,77	2 294,87	2 294,87				
	408-0005	Щебень из природного камня для строительных работ марка 1200, фракция 5(3)-10 мм	м3	31,25		31,25	31,25	143,00	4 468,75	4 468,75				

	408-0006	Щебень из природного камня для строительных работ марка 1200, фракция 10-20 мм	м3	12,5		12,5	12,5	132,00	1 650,00	1 650,00				
	408-0061	Материалы из отсевов дробления осадочных горных пород для строительных работ I класса, фракция до 10 мм, марка 800	м3	7,58		7,58	7,58	252,44	1 913,50	1 913,50				
								<b>Итого:</b>	<b>24 091,45</b>	<b>25 091</b>				
2	сцп3-3-15-1	Перевозка грузов автомобилями-самосвалами (работающими вне карьеров) на расстояние 15 км (Класс груза 1)	т	100	20,22	0	20,22	0	0	2 022	0	2 022	0	0
		<b>Итого по локальной смете:</b>								<b>43 041</b>	<b>217</b>	<b>18 893</b>	<b>1 361</b>	<b>24 091</b>
		<b>Накладные расходы (сумма)</b>								<b>1 041</b>				
		<b>Сметная прибыль (сумма)</b>								<b>821</b>				
		<b>Итого с НР и СП</b>								<b>45 063</b>				
		<b>Коэффициент перевода в тек. Цены 3 кв. 2011 г</b>								4,92				
										221 710				
		<b>на 2012</b>								1,073				
										237 895				
		<b>стоим. 1 тн</b>								2 378,95				

Таблица 5.12

Стоимость ЦМА-10 с добавками Виатор 66+Унирем-001+Амдор-10														
№ п/п	Шифр норматива	Наименование работ и затрат	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.					Стоимость, руб.				
					Всего	в том числе:				Всего	в том числе:			
						ОЗП	Экспл. машин	в т.ч. з/п маш.	Материалы		ОЗП	Экспл. машин	в т.ч. з/п маш.	Материалы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	27-10-004-3	Приготовление мелкозернистой плотной (с плотностью каменных материалов 3 т/м3 и более) смеси щебнемастичной асфальтобетонной	100 т	1	42825,3	217,09	16870,91	1360,87	28032,17	45 120	217	16 871	1 361	28 032
		Накладные расходы (НР) :		66	%					1 041				
		Сметная прибыль (СП) : 65% *0.8 =		52	%					821				
		<b>Итого с НР и СП</b>								<b>46 982</b>				
	Код ресурса	Наименование учтенного ресурса	Ед. изм.	Норматив	Поправка	Расход ед.	Объем	Цена	Стоим. ед.	Всего				
	1-3.3-2010-57	Затраты труда рабочих (средний разряд работы 3.3)	чел.-ч	24,31		24,31	24,31	8,93	217,09	217,09				
								<b>ОЗП:</b>	<b>217,09</b>	<b>217</b>				
	030101	Автопогрузчики 5 т	маш.-ч	3,39		3,39	3,39	88,42	299,74	299,74				
								9,71	32,92	32,92				
	120651	Заводы асфальтобетонные с дистанционным управлением 50 т/ч	маш.-ч	5,63		5,63	5,63	2 943,37	6 571,17	16 571,17				
								235,87	1 327,95	1 327,95				
								<b>Итого:</b>	<b>16 870,91</b>	<b>16 871</b>				
									<b>1 360,87</b>	<b>1 361</b>				
	101-1555	Битумы нефтяные дорожные марки БНД-60/90, БНД 90/130, сорт высший	т	6,5		6,5	6,5	1 780,62	1 574,03	11 574,03				
	101-1804	Порошок минеральный	т	15		15	15	146,02	2 190,30	2 190,30				
	101-2193	Волокно целлюлозное типа «Виатоп-66»	т	0,35		0,35	0,35	6556,77	2 294,87	2 294,87				
	101-2193	Унирем-001	т	0,35		0,35	0,35	6556,77	2 294,87	2 294,87				
	101-2194	Добавка ПАВ катонного типа (АМДОР-10)	т	0,05		0,05	0,05	32 917,00	1 645,85	1 645,85				



	408-0005	Щебень из природного камня для строительных работ марка 1200, фракция 5(3)-10 мм	м3	31,25		31,25	31,25	143,00	4 468,75	4 468,75				
	408-0006	Щебень из природного камня для строительных работ марка 1200, фракция 10-20 мм	м3	12,5		12,5	12,5	132,00	1 650,00	1 650,00				
	408-0061	Материалы из отсевов дробления осадочных горных пород для строительных работ I класса, фракция до 10 мм, марка 800	м3	7,58		7,58	7,58	252,44	1 913,50	1 913,50				
								<b>Итого:</b>	28032,17	<b>28 032</b>				
2	сцп3-3-15-1	Перевозка грузов автомобилями-самосвалами (работающими вне карьеров) на расстояние 15 км (Класс груза 1)	т	100	20,22	0	20,22	0	0	2 022	0	2 022	0	0
		<b>Итого по локальной смете:</b>								<b>46 982</b>	<b>217</b>	<b>18 893</b>	<b>1 361</b>	<b>28 032</b>
		<b>Накладные расходы (сумма)</b>								<b>1 041</b>				
		<b>Сметная прибыль (сумма)</b>								<b>821</b>				
		<b>Итого с НР и СП</b>								<b>49 004</b>				
		<b>Коэффициент перевода в тек. Цены 3 кв. 2011 г</b>								4,92				
										241 100				
		<b>на 2012</b>								1,073				
										258 700				
		<b>стоим. 1 тн</b>								2 587,00				

Использование дополнительно добавок Унирем-001 и Амдор-10 приводит к удорожанию смеси. При расчете эффективности следует учитывать такие показатели как: годовые затраты в сфере эксплуатации дорожного покрытия и сроки службы покрытия.

Определим экономический эффект от совместного применения добавок VIATOR 66, УНИРЕМ-001 и АМДОР-10 при приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси для устройства асфальтобетонного покрытия.

Применение ЩМА с добавками VIATOR 66 УНИРЕМ-001 и АМДОР-10 позволяет увеличить срок службы покрытия, сократить затраты по эксплуатации дорожного покрытия.

В качестве эталона принимается устройство щебеночно-мастичного асфальтобетонного покрытия с добавкой VIATOR 66.

Таблица 5.13

Показатели	Единица измерения	Устройство покрытия	
		с ЩМА-10 с VIATOR 66	с ЩМА-10 с VIATOR 66+ УНИРЕМ-001+ АМДОР-10
1. Годовой объем работ с применением новой конструкции	км	100	100
Показатели на 1 км дорожного покрытия			
2. Себестоимость строительно-монтажных работ по устройству покрытия	руб.	13268	12754
3. Капитальные вложения в производственные фонды строительной организации	»	2580	1720
4. Годовые затраты в сфере эксплуатации дорожного покрытия	»	230	175
5. Сроки службы покрытия	год	20	25

Годовой экономический эффект от применения дорожного покрытия из ЩМА с добавками VIАТОР 66 УНИРЕМ-001 и АМДОР-10 определяется по формуле

$$\mathcal{E} = [(Z_1 + Z_{c1})\varphi + \mathcal{E}_3 - (Z_2 + Z_{c2})] A_2 \quad (5/1)$$

$Z_1$  и  $Z_2$  равны нулю, так как все затраты по изготовлению конструкций дорожного покрытия производятся на строительной площадке:

$$Z_{c1} = 13268 + 0,15 \cdot 2580 = 13655 \text{ руб.};$$

$$Z_{c2} = 12754 + 0,15 \cdot 1720 = 13012 \text{ руб.}$$

Коэффициент учета изменения сроков службы составит:

$$\varphi = \frac{0,1815}{0,1602} = 1,13.$$

Величины 0,1815 и 0,1602 приняты в соответствии с прил. 2.

Экономический эффект в сфере эксплуатации определяется по формуле (3б)

$$\mathcal{E}_3 = \frac{(I_1 - I_2)}{P_2 + E_n}; \quad (5.2)$$

$$\mathcal{E}_3 = \frac{230 - 175}{0,1602} = 343,3 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E} = (13655 \cdot 1,13 + 343,3 - 13012) \cdot 100 = 276,1 \text{ тыс. руб.}$$

Экономический эффект в сфере эксплуатации от совместного применения добавок VIАТОР 66, УНИРЕМ-001 и АМДОР-10 при приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси для устройства асфальтобетонного покрытия составляет 276,1 тыс руб.

## 5.9. Выводы по 5 главе

1. Использование различных стабилизирующих добавок в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях (ЩМАС) с постоянным составом не приводит к значительным изменениям физико-механических свойств. Существенно может изменяться показатель стекания, т.е. битумоудерживающая способность ЩМАС.

2. При использовании волластонитового минерального как стабилизирующей добавки не удается добиться требуемых значений показателя стекания. Таким образом, можно сделать вывод, что волластонитовый порошок не обладает битумоудерживающей способностью.

3. Введение в ЩМАС, содержащую добавку РТЭП или УНИРЕМ-001, волокнистых целлюлозных добавок, позволяет получить требуемое значение показателя стекания, а введение адгезионной добавки АМДОР-10 позволяет улучшить однородность распределения добавок и получить однородную структуру ЩМАС.

4. Описаны процессы распределения добавок в ЩМАС при перемешивании, а также механизмы взаимодействия между компонентами ЩМАС на трех этапах ее приготовления.

5. Приведено описание технологии приготовления ЩМАС с приемным бункером для шнековой подачи двух стабилизирующих добавок.

6. Приведено описание технологии устройства асфальтобетонных покрытий на участках опытного строительства с использованием двух стабилизирующих добавок и адгезионной добавки АМДОР-10.

7. Показатели свойств ЩМАС и кернов, отобранных из покрытия на участках опытного строительства, свидетельствует о соответствии нормативным требованиям ЩМАС и ЩМА, полученным по предложенным составам с двумя стабилизирующими добавками и предложенным способом.

8. Рассчитан экономический эффект в сфере эксплуатации от совместного применения добавок VIАТОР 66, УНИРЕМ-001 и АМДОР-10 при приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси для устройства асфальтобетонного покрытия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана классификация стабилизирующих добавок для ЩМАС по вещественному составу, физическому состоянию и товарной форме, и по наименованию основных составляющих веществ, химических соединений и активных компонентов.

2. Произведена оценка параметров микроструктуры и взаиморасположение элементов микроструктуры в пространстве волокнистых, порошковых и полимерных добавок. Особенностью целлюлозных волокнистых добавок является ленточный вид волокон и их хаотичное расположение в пространстве. Особенностью хризотил-асбестовой добавки Хризотоп является то, что отдельные волокна представляют собой пучки микроволокон.

3. Рассмотрены условия взаимодействия различных стабилизирующих добавок с битумом, предложены и раскрыты механизмы структурообразования битума с добавками при технологической температуре. Предложен механизм взаимодействия добавок с битумом в асфальтовяжущем. Особенностью взаимодействия является то, что взаимодействия происходят в битумных прослойках между зернами минерального порошка, а частицы и волокна добавок находятся в зоне действия поверхностных сил частиц минерального порошка. Описаны процессы распределения добавок в ЩМАС при перемешивании, а также раскрыты механизмы взаимодействия между компонентами ЩМАС на трех этапах ее приготовления.

4. Впервые разработан метод определения битумоудерживающей способности добавок в асфальтовяжущем с определением коэффициента битумоудерживающей способности. Определены коэффициенты битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок, наибольшей битумоемкостью обладают волокнистые целлюлозные и минеральные добавки, а также добавка УНИРЕМ-001. Битумоудерживающая способность добавки РТЭП и волластонитового минерального порошка незначительна. Добавление целлюлозных волокнистых добавок к добавкам РТЭП и УНИРЕМ-001

увеличивает их битумоудерживающую способность. Введение адгезионной добавки «АМДОР-10» в асфальтовяжущее, содержащие добавки РТЭП или УНИРЕМ-001 приводит к повышению физико-механических показателей, несколько снижает битумоудерживающую способность.

5. Использование различных стабилизирующих добавок в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (ЩМАС) с постоянным составом не приводит к значительным изменениям физико-механических свойств. Существенно может изменяться показатель стекания, т.е. битумоудерживающая способность ЩМАС. Введение в ЩМАС, содержащую добавку РТЭП или УНИРЕМ-001, волокнистых целлюлозных добавок, позволяет получить требуемое значение показателя стекания, а введение адгезионной добавки АМДОР-10 позволяет улучшить однородность распределения добавок и получить однородную структуру ЩМАС. Установлено, что исследуемые добавки при введении в битум увеличивают его вязкость, снижают растяжимость при 25°C, повышают теплостойкость, понижают температуру хрупкости кроме РТЭП и УНИРЕМ-001, т.е. оказывают структурирующее действие.

6. Разработан перечень технологических свойств добавок и методы их определения. Волокнистые целлюлозные добавки, обработанные органическим вяжущим, в меньшей степени поглощают влагу и набухают. Гранулированные волокнистые добавки быстрее проходят через бункерное отверстие, чем УНИРЕМ-001 и РТЭП. Описаны технологические особенности добавок в производственных условиях. Установлено, что при шнековой подаче происходит распушивание необработанных целлюлозных добавок, приводящее к зависанию в дозаторе и сбоям в его работе.

7. Разработан способ получения ЩМАС и технологическая линия введения двух стабилизирующих добавок в приемный бункер для шнековой подачи.

8. Произведено устройство асфальтобетонных покрытий из ЩМАС на участках опытного строительства с использованием двух стабилизирующих добавок и адгезионной добавки АМДОР-10. Показатели свойств ЩМАС и кернов,

отобранных из покрытия на участках опытного строительства, свидетельствует о соответствии нормативным требованиям ЩМАС и ЩМА, полученным по предложенным составам с двумя стабилизирующими добавками и предложенным способом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулич А.В. Структура и свойства дисперстно-армированных асфальтобетонов.: Дисс. канд. тех. наук.: – Минск: – 1987. – 169 с.
2. Аминов Ш.Х. Битум, полимер, адгезив. Особенности производства и применения композиций [Тест] / Ш.Х. Аминов, И.Б. Струговец, З.Г. Теляшев, Ю.А. Кутьин// Автомобильные дороги. – 2010. – №1. – С. 55-57.
3. Арутюнов В., Кирюхин Г., Юмашев В. Первый опыт строительства покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона в России // Дороги России, № 3, 2002, с. 58-61.
4. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб., – 1999. – 628 с.
5. Бардаев С.В. Исследование рабочего процесса асфальтосмесителя непрерывного действия.: Автореферат дис. канд. техн. наук. – Харьков, 1980. – 25с.
6. Батуева И.Ю. Химия нефти/ Батуева И.Ю., Гайле А.А., Поконова Ю.В. и др. – Л.: Химия, 1984. – 360с.
7. Бенуэлл К. Основы молекулярной спектроскопии. М., 1985. 384 с.
8. Броницкий Е.И., Гуменюк Ю.Е., Комиков А.В. Использование щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при капитальном ремонте участков автомобильной дороги Москва - Санкт-Петербург (км. 47 – км. 62, км. 72 – км. 85) // Научно-технический информационный сборник, вып. 1, М.: Информавтодор, 2003 с. 22-32.
9. Бодан А.Н. Поликвазисферическая структура нефтяных битумов//Химия и технология топлив и масел. – 1982. №12. – С.22-24.
10. Бочаров В.С. Исследование процесса перемешивания битумогрунтовых материалов в лопастных смесителях при устройстве дорожных одежд. Дис... канд. техн. наук. – Аллие – Ата: Казахский филиал СоюздорНИИ, 1972. – С.23-25.



11. Волков М. М. Некоторые вопросы теории асфальтобетона. / М. М. Волков // Труды МАДИ. – М., 1958. – Вып. 23. – С. 31-36.
12. Временные рекомендации по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта. [Текст]. – М.: ГП «Информавтодор». – 2002. – 25с.
13. Гамеляк И.П. Разработка методики рационального конструирования дорожных одежд со слоями из дисперсно-армированного асфальтобетона: Автор. Дис. ...к-та техн. наук. – М.,1992.–21с.
14. Гельмер В.О. Асфальтобетон. - Харьков: ДНТВУ, 1936. - 91 с.
15. Гончаров Ю.И. Минералогия и петрография сырья для производства строительных материалов и технической керамики: Учебное пособие [Текст]/ Ю.И. Гончаров, В.С. Лесовик, М.Ю. Гончарова, В.В. Строкова. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ.- 2001. – 181с.
16. Гофман Л.М., Давыдова К.И. Влияние класса полимеров на свойства полимерно-битумных, вяжущих // Полимерные материалы в строительстве покрытий автомобильных дорог. Тр. СоюздорНИИ. - М, 1981. - С.5-12.
17. Горелышев Н.В., Лобзова К.Я. Некоторые результаты опытного устройства покрытий с шероховатой поверхностью // Автомобильные дороги № 3, 1964.
18. Гольдштейн А.Ю. Исследование процесса приготовления битумоминеральных смесей в двухвальных лопастных смесителях периодического действия в целях его интенсификации: Автореферат дис... канд. техн. наук. – Балашиха, 1971. – 23с.
19. ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия».
20. ГОСТ Р 52056-2003 Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блок-сополимеров типа СБС. Технические условия./Госстрой России. – М.:2003.

21. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. /Госстрой России.– М.: 1998.

22. ГОСТ 12871-93 Асбест хризотилковый – хризотил. Общие технические условия. /Госстандарт России. – Минск.: 1993.

23. Донцов Г.И. Исследование отходов асбестоцементных изделий при приготовлении асфальтобетонных смесей. Автомобильные дороги, №12, 1971,с 24-25.

24. Дубина С.И. Приготовление щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси на асфальтосмесительной установке непрерывного действия // Труды СоюздорНИИ «Проектирование, строительство, эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов», вып. 205, М., 2004, с. 94-103.

25. Заявка № 441938 (Швеция) МКИ Е 01 С 7/26, 1985.

26. Задорожний Д. В. Устройство защитных слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона, модифицированного комплексной добавкой. Дисс. канд. тех. наук.: – Ростов-на-Дону: – 2004. – 173 с.

27. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтенов. Харьков: Вища школа, 1977. - 114 с.

28. Золотарев В.А. Оценка структурного типа дорожных битумов.//Автомобильные дороги.-1992 .-№ 4.-с .4-6.

29. Золотарев В. А. Влияние температуры и группового состава на растяжимость битумов. / В. А. Золотарев // "Наука и техника в дорожной отрасли". — № 2. — 2000. — С. 12-13.

30. Зяблов С.Ф. Устройство шероховатых слоев плюса из открытых битумоминеральных смесей на автомобильных дорогах Красноярского края. // Автомобильные дороги.: ОИ НТИС. - 2001. - №2. - с.20-27.

31. Илиополов С.К., Лндриади ЮГ., Мардиросова И.В. Улучшение качества вяжущего полимерной добавкой / МНПК, Ростов-на-Дону.: РГСУ, 1997.- С. 35-36.

32. Илиополов С.К., Андриади Ю.Г., Баранова Е.М. Комплексная модификация битумов / 1-ая МНПК «Современные проблемы дорожно-транспортного комплекса» г. Ростов-на-Дону.: РГСУ, 1998,- С. 12-14.

33. Илиополов С.К., Андриади Ю.Г., Мардиросова И.В., Углова Е.В.: Процессы структурообразования и свойства битумов, модифицированных раствором высокомолекулярного каучука, // Известия вузов, Строительство, Новосибирск: 1997.-№ N.-С.33-37.

34. Илиополов С.К., Кучеров В.А., Шитиков С.В. Асфальтобетонное покрытие с учетом полимер-армированных смесей / Материалы МНИК, г. Ростов-на-Дону; РГСУ, 2000. - С.8-9.

35. Кирюхин Г.Н., Смирнов Е. А. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. М.: ООО «Издательство “Элит”». – 2009. 176 с.

36. Кирюхин Г.Н. Влияние добавок дисперсной арматуры на свойство асфальтобетонов различных структур// Автомобильные дороги. 1991. - №9.- с. 16-18.

37. Кирюхин Г.Н., Балашов С.Ф., Сокальская М.Б. Устройство слоев износа из горячих щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей // Труды СоюздорНИИ. Юбилейный выпуск. М., 2001, с. 76-84.

38. Кирюхин Г.Н. Контроль плотности покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона // Наука и техника в дорожной отрасли, № 1, 2005, с. 15-17.

39. Кирюхин Г.Н. Асфальтобетонные покрытия повышенной сдвигоустойчивости и шероховатости // Транспортное строительство. №7, М., 1999, с. 22-25. Кирюхин Г.Н., Юмашев В.М., Сокальская М.Б. Условия обеспечения однородности верхнего слоя покрытия // Наука и техника в дорожной отрасли, 1998 (1), с.13-15.

40. Кирюхин Г.Н., Юмашев В.М. Повышение сдвигоустойчивости асфальтобетона добавками полимеров // Автомобильные дороги. 1992. № 7-8, с.12-14.

41. Кирюхин Г.Н. Сдвигоустойчивость асфальтобетона в покрытиях дорог // Труды СоюздорНИИ «Вопросы проектирования и строительства автомобильных дорог», М., 1993, с. 79-91.
42. Карпентер С.Г., Луттон Р.Л. Прогноз трещинообразования в нежестких дорожных одеждах. - " Transp. Res. Rec", 1978, № 671, с. 39-46.
43. Казарновская Э.А. К вопросу о характеристиках прочности асфальтобетона. В кн. «Доклады и сообщения на научно-техническом совещании по строительству автомобильных дорог». – М.: 1963. – С.289-299.
44. Коробин Ю., Быстров Н. Колея // Автомобильные дороги. № 4, 2003, с. 15-17.
45. Коробщикова Т.С., Орлова Н.А. Оценка влияния способа и продолжительности измельчения волластонита на его фактор анизотропии [Текст]// Тезисы и доклады IV-Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Прикладные аспекты химической технологии, полимерных материалов и наносистем» (Полимер-2010): Сб. тез. докл. – 2010. – С. 79 – 83.
46. Ковалевич Л.В. Влияние добавок карбоксиламинов на структуру битумов. - В кн.; Строительство и эксплуатация дорог и мостов. Киев, Будивельник, 1975, с. 76-80.
47. Клесов А.А. Древесно-полимерные композиты [Текст]// – М.: Издательство НОТ. – 2010. – С. 736.
48. Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. – М.: Транспорт, – 1973. – 264 с.
49. Кортен К.Т. Механика разрушений композитов. Кн.: «Разрушение», т.1 (перевод с английского). -М.: Мир, 1976. - С.331-334.
50. Кочерга В.Г., Ляпин А.А., Кораблева Т.А., Кучеров В.А. Компьютерный подбор состава асфальтобетонной смеси с использованием программы «Состав». Тезисы докладов 1-ой международной научно-

практической конференции "Современные проблемы дорожно-транспортного комплекса" (24 – 26 сентября 1998г. в г. Ростове-на-Дону), 1998 – 20с.

51. Коробко В.Ф. Дорожный асфальтовый бетон с применением асбесто-цементных минеральных порошков: Автор. дис. к-та техн. наук. – Киев, 1973. – 20 с.

52. Королёв И. В. Дорожный тёплый асфальтобетон. – Киев: Вища школа, – 1975. – 155с.

53. Королев И.В. Тонкие слои покрытий из битумных и битумощебёночных мастик для ремонта дорог. – М: Автомобильные дороги, 1993, № 2, с. 14-16.

54. Королев И.В. Особенности взаимодействия компонентов в битумоминеральных системах [Текст] / И.В. Королев, А.Б. Соломенцев // Химия и технология топлив и масел. – 1993. – С.26-28.

55. Королев И. В. Модель строения битумной пленки на минеральных зернах в асфальтобетоне [Текст]// И.В. Королев// Известия вузов. Строительство и архитектура. – Новосибирск. – 1981. – №8. – С.63-67.

56. Компьютерная программа подбора оптимальных составов асфальтобетонных смесей (АСФПРО). М., фирма «Дорекс», 1997-2001.

57. Красновская О.А. Исследование резинобитумного вяжущего для гидроизоляционных материалов рулонного и мастичного типа: Автор. Дис. К-та тех. Наук. – М., 1974.с. – 25 с.

58. Краткая химическая энциклопедия [Текст], т.4. – М.: Советская энциклопедия, 1965. – С. 199.

59. Куцына Н.П. Щебеночно-мастичный асфальтобетон на основе техногенного сырья: Автореф. дис. канд. техн. наук БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгород, 2007. 152 с.

60. Кудряшова В.И. Минералы: Силикаты с линейными трехчленными группами, кольцами и цепочками кремнекислородных тетраэдров. Справочник, т. III, вып. 2, [Текст]. – М.: Наука. – 1981. – 616с.

61. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из многощепенистых асфальтобетонов с повышенной плотностью. СоюздорНИИ. М., 1986.

62. Методические рекомендации по применению битумов разных марок в асфальтобетонных смесях различного гранулометрического состава. СоюздорНИИ. - М., 1981, – 15 с.

63. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА). СоюздорНИИ. – М., 2002. – 36 с.

64. Оев А.Е. Тонкослойные покрытия из битумощебеночной мастики для условий сухого жаркого климата Дисс. канд. тех. наук.: – Ташкент: – 1994. – 184 с.

65. ОДМ 218.3.001-2006. Методические рекомендации по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта (РТЭП) [Текст]. – М.: Издательство ФГУП «Информавтодор», 2006. – 30 с.

66. Пат. 2377262 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> С 08 L 17/00, С 08 J 11/06, С 04 В 26/26. Полимерная композиция для асфальтобетонных смесей и способ получения модифицированной асфальтобетонной смеси. Горелик Р. А., Балыбердин В. Н., Слепая Б.М., Лернер М.И.; заявитель и патентообладатель ООО «Уником». – № 2008129422/04; заявл. 24.03.2008; опубл. 27.12.2009 г.

67. Пат. 2149848 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> С1 С04В26/26, С04В111:20, С08L 95/00. Асфальтобетонная смесь Илиополов С.К., Безродный О.К., Мардиросова И.В., Углова Е.В., Хуртакова В.А., Кучеров В.А. заявитель и патентообладатель Ростовский государственный строительный университет заявл. 30.09.1998; опубл. 27.05.2000 г.

68. Пат. 2186044 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> С1 С04В26/26, С08L95/00, С08L 95/00. Вяжущее для дорожного строительства. Илиополов С.К., Болдырев В.И., Мардиросова И.В., Углова Е.В., Котов В.Л., Задорожний Д.В. заявитель и

патентообладатель Ростовский государственный строительный университет заявл. 17.11.2000; опубл. 27.07.2002 г.

69. Пат. 2377262 Российская Федерация МПК<sup>7</sup> C08L17/00, C08J11/06, C04B26/26. Полимерная композиция для асфальтобетонных смесей и способ получения модифицированной асфальтобетонной смеси Горелик Р.А., Балыбердин В. Н., Слепая Б.М., Лернер М.И.; заявитель и патентообладатель ООО «Уником». – № 2008129422/04; заявл. 24.03.2008; опубл. 27.12.2009 г.

70. Патент № 2476397 РФ, МПК<sup>7</sup> C04B 26/26, C04B 16/02, C04B 24/12. Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь и способ ее получения. Соломенцев А.Б. Колодезный В.П., Старчак А.П., Баранов И.А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Орелдорстрой», - №2011120847/03; заявл. 25.05.2011; опубл. 27.02.2013 г.

71. Петропавловский Г.А. Гидрофильные частично замещенные эфиры целлюлозы и их модификация путем химического сшивания. [Текст]/ Г.А. Петропавловский. – Л.: Наука, 1988. – 298с.

72. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. - М.: Высш. шк., 1969, 396 с.

73. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. - М.: Высш. шк., 1978, с. 310.

74. Руденский А.В., Руденская И.М. Реологические свойства битумоминеральных материалов. – М.: Транспорт, 1971. – 129с.

75. Стебаков А., Кирюхин Г., Гопин О. Щебеночно-мастичный асфальтобетон - будущее российских дорог // Строит, техника и технологии. 2002. № 3, с. 68-70.

76. Смирнов Е. Щебеночно-мастичный асфальтобетон // Автомобильные дороги. 2001, № 11.

77. Смирнов М.М. Асфальтобетонные смеси с добавкой асбоволокна// Автомобильные дороги. 1991. – №I. – с.18-19.

78. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. – М.: ЦИПТ Госстроя СССР. – 1985. – 112с.

79. Соломенцев А.Б. Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битумов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. - №1. – С. 14-15.
80. Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Оценка битумоудерживающей способности стабилизирующих добавок для щебеночно-мастичного асфальтобетона в асфальтовяжущем [Текст] // Строительство и реконструкция. – 2010. – №4(30). – с. 53-58.
81. Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Влияние добавки УНИРЕМ-001 на свойства асфальтовяжущего и щебеночно-мастичного асфальтобетона // Материалы 5-й Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством образования, продукции и окружающей среды»: Сб. тез. докл. – Бийск: Изд-во БТИ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 29 сентября – 1 октября 2011. – С. 159 – 164.
82. Соломенцев А.Б., Баранов И.А. Жаринов Ю.Б. Оценка возможности использования волластонитового минерального порошка в качестве стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона [Текст] // Строительство и реконструкция. – 2011 (январь – февраль). – №1(33). – С. 70 – 75.
83. Сюняев З.И. Нефтяные дисперсные системы. Р.З. Сюняева, Р.З Сафиева, – М.:Химия,1990. – 226с.
84. Сюняев З.И. Нефтяные дисперсные системы. – М.: МИНХ и ГП им. И. М. Губкина, 1981, – 84с.
85. СТО ГК «Трансстрой» 007-2007 Асфальтобетон. Метод оценки устойчивости к образованию колеи пластичности.
86. СТО ГК «Трансстрой»-009-2007. Щебень узких фракций кубовидной формы. Требования, технология получения и контроль качества. - М., 2007.
87. СТО 77142208-001-2007. Стабилизирующая добавка СД-1 ГБЦ для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Стандарт организации.
88. СТО 77142802-003-2011. Стабилизирующая добавка СД-3 ГБЦ для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Стандарт организации [Текст].



89. СТО 61595504-002-2010. Материал композиционный «УНИРЕМ-001» на основе активного резинового порошка. Технические условия [Текст].
90. СТО 5718-58528024-002-2007 Смеси резиноасфальтобетонные и резиноасфальтобетоны на основе композиционных вяжущих БИТРЕК. Технические условия.
91. Тарчевский И.А. Биосинтез и структура целлюлозы [Текст]/ И.А. Тарчевский, Г.Н. Марченко. – М.: Наука, 1985. – 280с.
92. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М., – 1968. – 536 с.
93. ТУ 5718-001-58528024-04\* с изм.№1 от 05.07.2005 г. «БИТРЭК битумнорезиновые экологически чистые композиционные материалы. Технические условия».
94. ТУ 5774-009-17925162-2002 Материал рулонный кровельный и гидроизоляционный наплаваемый битумно-полимерный "Вестопласт"
95. ТУ 5718-001-18268513-01. Стабилизирующая добавка VIАТОР 66. Технические условия.
96. ТУ 5711-001-38956563-2003 Добавки стабилизирующие «TECHNOCEL 1004» и «TOPCEL» для смесей щебёночно-мастичных асфальтовых. Технические условия.
97. ТУ 218 РСФСР 601-83 «Смеси битумоминеральные открытые для устройства макрошероховатых слоев дорожных покрытий». – Введ. 01.05.89 до 01.05.94. –М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. – 28 с.
98. ТУ5718.030.01393697-99 «Смеси асфальтобетонные щебеночно-мастичные и асфальтобетон. Технические условия». - М.: СоюздорНИИ, 1999. - 20 с.
99. ТУ 5718-002-04000633-2006. «Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон. Технические условия». - М., 2007.
100. ТУ 5718-011-0281476-2004. Гранулированный стабилизатор «Хризотоп». Технические условия [Текст].

101. ТУ 0257-003-35475596-96 Присадка адгезионная дорожная «АМДОР». Технические условия [Текст].
102. ТУ 5718-001-79259416-2006 Термоэластопласт резиновый «РТЭП». Технические условия [Текст].
103. ТУ 5718-005-05204773-03 Добавка для бетона Гасцел гранулированный. Технические условия [Текст].
104. Ульмгрен Н., Дымов С. Зарубежный опыт применения щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (на примере шведского концерна NCC) / Каталог-справочник «Материалы и Конструкции, октябрь 2003: Норма, Санкт-Петербург.
105. Фенглер В. Древесина (химия ультраструктура, реакции). [Текст]/В. Фенглер, Г. Вегенер. – М.: Лесная промышленность. – 1988. – 512с.
106. Финские нормы на асфальт 2000: Совещательная комиссия по покрытиям PANK ry, Хельсинки.
107. Хергерт Г.Л. ИК-спектры лигнина // Лигнины / Под ред. К.В. Сарканена и К. Х. Людвиг. М., 1975. 632 с.
108. Химическая энциклопедия, Т.1 [Текст]. – М.: Советская энциклопедия. – 1988. – 623с.
109. Хойберг А.Дж. Битумные материалы: асфальты, смолы, пеки. М., Химия, 1974 – 248 с.
110. Худякова Т.С. Об использовании продуктов переработки автопокрышек в составе дорожных покрытий // Дорожная техника. - 2010. - с. 77
111. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М., Мир, 1972.
112. Шур А.М. Высокомолекулярные соединения: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М., 1981. 650 с.
113. Энциклопедия полимеров. Т.1 [Текст]. – М.: «Советская энциклопедия». – 1972. – С. 1224.
114. Энциклопедия полимеров Т.2 [Текст]. – М.: «Советская энциклопедия». – 1974. – 1032с.

115. Энциклопедия полимеров. Т.3 [Текст]. – М.: «Советская энциклопедия», 1977. – С. 853-854.
116. Юмашев В.М. Исследование шлифуемости каменных материалов, применяемых в покрытиях автомобильных дорог: Автореф. дисс. .канд. техн. наук. - М., 1974. - 31 с.
117. Huschek, S. Einfluß des Verdichtungsgrades auf das Verformungsverhalten von Asphalt. / Schriftenreihe des Lehrstuhls Straßenbau, Heft 7, Dresden, 1998, S. 23-33.
118. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements. - Carl Woodman (Asst Director, Construction Branch, Metro Transportation), Robert Burlie\* (Project Manager, Construction Branch, Metro Transportation) & John Emery\* (President, John Emery Geotechnical Engineering Ltd.), CTAА Conference - Edmonton November 17-20, 1996.
119. Superpave Mix Design. Asphalt Institute Superpave Series № 2 (SP-2), Printing. - 1996. - s.117.
120. Splittmastixasphalt,-Dr.-Ing. K.H. Kolb die Herren H. Erhard, F. Hoggenmuller, O. Kast und andere. / LEITFADEN. Deutscher Asphaltverband (DAV), 27 s.
121. Standard Practice for Designing Stone Matrix Asphalt (SMA). AASHTO Designation: PP 41-02.
122. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements. - John Emery, Carl Woodman, Robert Burlie. // XIII IRF World Meeting, Toronto, Ontario, Canada 1997.
123. NAPA (National Asphalt Pavement Association) Designing and Constructing SMA Mixtures - State of the Practice. QIP 122 1999 r.
124. Schroder I., Kluge H.J. Erfahrungen mit Splittmastixasphalt. //Bitumen 4, 1992.

125. Großhans D., Pohlmann P., Reuter H-R. Ursachen für Verformungen in Asphaltbefestigungen mit Splittmastixasphaltdeckschichten am Beispiel des Autobahnnetzes in Brandenburg. // Bitumen № 2, 1998, s. 50-59.

126. EN 12697-22:2003 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 22: Wheel tracking.

127. The draft European standard for SMA prEN 13108-6.

128. Louay N. Mahammad, Zheng Z. Tan, Baoshan Huang. Fundamental Properties of SMA and CMHB Mixes. - Proceedings BCRA'98, Norway, 1998. – V.2.

129. Los diversos métodos de modificación de los betunes asfálticos para carreteras/ Mira H.M. Santos S. – Bol. Inf.Lab.carret, y geotecn. 1983, № 159, 31–37.

130. Serfass J.-P., Mahe de la Villegle B. Revêtement et complexes antifissures à base d'enrobés avec fibres. // Revue Generale des Routes et Aerorodromes. № 752, 1997, p.29-32.

131. Hushek S. Die Griffigkeitsprognose mit der Verkehrssimulation nach Wehner / Schulze. // Bitumen 1/2, S. 14-18.

132. Wolterek G. Erfahrungen mit Splittmastixasphalt auf Bayerischen Autobahnen // Bitumen.4997. - № 2. - s. 50-53.

133. Prithvi S. Kandhal, Sanjoy Evaluation of Voids in the Mineral Aggregate for HMA Paving Mixtures: CTAA Conference - Edmonton November 17-20, 1996.

134. Asphaltstraßen. ZTV Asphalt - StB 94.



## Приложение А

**СИСТЕМА ДОБРОВОЛЬНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ В СФЕРЕ ДОРОЖНОГО  
ХОЗЯЙСТВА (СИСТЕМА «РОСДОРСТРОЙСЕРТИФИКАЦИЯ»)**

Зарегистрирована в едином реестре зарегистрированных систем  
добровольной сертификации за № РОСС RU.3550.04ХУ00

**А Т Т Е С Т А Т**  
**ПОДТВЕРЖДЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ**  
**ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ**

№ РОСДОР RU. 0152 ПК 00215

Зарегистрирован в реестре 20 августа 2012 г.

Действителен до 20 августа 2016 г.

Аттестат не действителен без отметки о подтверждении действия (см. на обороте)

**Руководящий орган Системы «Росдорстройсертификация»  
удостоверяет, что**

**центральная испытательная лаборатория  
Открытого акционерного общества  
«Орелдорстрой»**

**(302028, г. Орёл, ул. Салтыкова-Щедрина, 22)**

**соответствует требованиям к компетентности, предъявляемым  
ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009,**

**и подтверждает компетентность лаборатории в проведении испытаний в  
соответствии с прилагаемой областью подтверждения компетентности**

Область подтверждения компетентности приведена в приложении,  
являющемся неотъемлемой частью настоящего аттестата. Без данного  
приложения аттестат подтверждения компетентности не действителен.

Аттестат выдан на основании Отчета от 28 июня 2012 г. «Отчет  
комиссии Руководящего органа Системы «Росдорстройсертификация»  
по результатам оценки соответствия требованиям к компетентности  
(по ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009) центральной испытательной лаборатории  
Открытого акционерного общества «Орелдорстрой» и решения  
Руководящего органа Системы от 20 августа 2012 г. № ИЛ-44-пк.

Председатель  
Руководящего органа Системы «Росдорстройсертификация»

С.А. Маринич

Сертификат № ИЛ-44-00755

Срок действия, не завершая Руководящим органом Системы «Росдорстройсертификация», является не действительной.



## Приложение Б

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ  
И ИСПЫТАНИЙ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ»



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

ОБ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ (АТТЕСТАЦИИ) В ЛАБОРАТОРИИ

№ 1118-11

Выдано 29.11.2011г.

Действительно до 29.11.2014 г.

Настоящим удостоверяется наличие в испытательной лаборатории отдела контроля качества ОАО «Орелдорстрой» условий, необходимых для выполнения измерений и испытаний в закрепленной за лабораторией области деятельности.

Приложение: перечень объектов и контролируемых показателей на 2-х листах.

Заместитель директора  
по метрологии



В.С.Полехин



Приложение к свидетельству  
№ 1118-11 от 29.11.2011 г.

## Перечень объектов и контролируемых параметров

№ п/п	Наименование объектов	Контролируемые показатели
1	2	3
1.	Песок для строительных работ	Зерновой состав и модуль крупности Содержание пылевидных и глинистых частиц Насыпная плотность Влажность Коэффициент фильтрации
2.	Щебень(гравий)	Зерновой состав Содержание пылевидных и глинистых частиц Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы Марка щебня по прочности (дробимости) Истираемость Насыпная плотность Истинна плотность Влажность
3.	Щебеночно-песчаная смесь	Зерновой состав Насыпная плотность Содержание пылевидных и глинистых частиц
4..	Минеральный порошок	Зерновой состав Влажность Плотность Гидрофобность
5.	Битумы нефтяные дорожные вязкие	Глубина проникания иглы Сцепление с мрамором и песком

Заместитель директора по метрологии



В.С.Полехин



1	2	3
		Температура размягчения по кольцу и шару Растяжимость Условная вязкость Температура вспышки
6.	Полимерно-битумные вяжущие	Глубина проникания иглы Сцепление с мрамором и песком Температура размягчения по кольцу и шару Растяжимость Эластичность Однородность
7.	Эмульсия битумная дорожная	Содержание вяжущего с эмульгатором Устойчивость при перемешивании с минеральными материалами Остаток на сите Условная вязкость Устойчивость при хранении Сцепление с минеральными материалами
8.	Асфальтобетонная смесь и асфальтобетон	Средняя плотность Пористость минеральной части Водонасыщение Предел прочности при сжатии Трещиностойкость Сдвигоустойчивость Зерновой состав Коэффициент водостойкости Коэффициент уплотнения
9.	Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные	Пористость минеральной части Остаточная пористость Водонасыщение Предел прочности при сжатии Трещиностойкость Сдвигоустойчивость Водостойкость при длительном водонасыщении Устойчивость смеси к расслаиванию

Заместитель директора по метрологии



В.С.Полехин



Приложение к свидетельству  
№ 1118-11 от 29.11.2011 г.

## Перечень объектов и контролируемых параметров

1	2	3
10.	Грунты	Гранулометрический (зерновой) состав Влажность Граница текучести Граница раскатывания Максимальная плотность
11.	Смеси бетонные	Удобоукладываемость Плотность Марка прочности на сжатие и изгиб Морозостойкость
12.	Растворы строительные	Подвижность Плотность Предел прочности при сжатии
13.	Цемент	Тонкость помола Нормальная густота, сроки схватывания, равномерность изменения объема Предел прочности при изгибе и сжатии
14.	Кирпич силикатный Кирпич керамический	Геометрические размеры Предел прочности при сжатии и изгибе Водопоглощение Морозостойкость
15.	Известь строительная	Влажность Содержание негасившихся зерен
16.	Контроль устройства земляного полотна, дополнительных слоев оснований	Плотность грунта (материала слоя) Коэффициент уплотнения

Заместитель директора по метрологии



В.С.Полехин



1	2	3
17.	Измерение параметров дорожной одежды	Ширина, толщина, длина Уклоны Ровность

Заместитель директора по метрологии



В.С.Полехин



## Приложение В

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,  
МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ»**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО  
О ПОВЕРКЕ**  
№ 1550 / 032383

Действительно до  
« 16 » июля 20 13 г.

Средство измерений Весы лабораторные электронные  
наименование, тип

**Vibra AJ 2200 CE**

серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

заводской номер 064210015

принадлежащее ОАО «Орелдорстрой»  
наименование юридического (физического) лица, ИНН

**ИНН 5753001002**

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки  
признано пригодным к применению.

Поверительное клеймо




Начальник отдела МИ А. А. Кравцов  
должность руководителя подразделения (подпись) (инициалы, фамилия)

Поверитель С.С. Будаев  
(подпись) (инициалы, фамилия)

« 16 » июля 201 2 г.



## Приложение Г


**Федеральное агентство по  
Техническому регулированию и метрологии**  
**ФБУ РОСТЕСТ-МОСКВА**  
Федеральное бюджетное учреждение  
«Государственный региональный центр стандартизации,  
метрологии и испытаний в г. Москве»

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ**

№ 361913 / 442 Действительно до  
« 18 » декабря 2013 г.

Эталон (средство измерений) Пирометр OPTRIS SIGHT MS  
наименование, тип (если в состав  
диапазон измерений температуры (-32...420) °С  
средства измерений входят несколько автономных блоков, то приводят их перечень)

Серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер  
имеются) отсутствуют

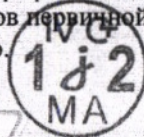
заводской номер (номера) MS08013238

принадлежащее ОАО «Орелдорстрой»  
наименование юридического (физического) лица, ИНН  
ИНН 5753001002

поверено в соответствии с МП «Пирометры SIGHT, модификации MS,  
MS Plus, MS Pro, LS, LS DCI, P20LT, P20 1M, P20 2M. Методика поверки»  
наименование и номер документа на  
методику поверки

с применением эталонов: АЧТ М1010 II-го разряда № 5000;  
наименование, заводской номер, разряд, класс или  
АЧТ М 315X II-го разряда № В50128  
погрешность


в следующих значениях влияющих факторов: приводят перечень  
 $T_{\text{окр.возд}} = 21,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; Отн. влажность = 60,2%; Атм. давление = 101,4 кПа  
влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений  
и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано  
пригодным к применению.

Поверительное клеймо 

Начальник лаборатории №442 С.Н. Ненашев  
должность руководителя подразделения подпись инициалы, фамилия

Поверитель В.В. Крылова  
подпись инициалы, фамилия

« 18 » декабря 2012 г.





## Приложение Д

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ,  
МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ»**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО  
О ПОВЕРКЕ**

№ 2214/040119

Действительно до  
«21» сентября 2013 г.

Средство измерений Пресс гидравлический  
наименование, тип

П – 50  
Серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

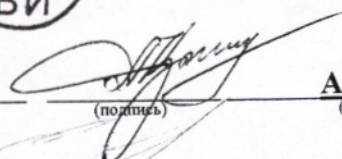
заводской номер 1937

принадлежащее ОАО «Орелдорстрой»  
наименование юридического (физического) лица, ИНН

ИНН 5753001002

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным к применению.

Поверительное клеймо  

Начальник отдела МИ  
должность руководителя подразделения  А.А. Кравцов  
(подпись) (инициалы, фамилия)

Поверитель  М.А. Сонин  
(подпись) (инициалы, фамилия)

«21» сентября 2012 г.

## Приложение Е

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,  
МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ»**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО  
О ПОВЕРКЕ**

№ 2616/046663

Действительно до  
«15» ноября 2013 г.

Средство измерений Пресс гидравлический  
наименование, тип

**ИП - 100**  
серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)

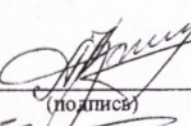
заводской номер 2175

принадлежащее ОАО «Орелдорстрой»  
наименование юридического (физического) лица, ИНН

**ИНН 5753001002**

поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным к применению.

Поверительное клеймо 

**Начальник отдела МИ**  **А. А. Кравцов**  
должность руководителя подразделения (подпись) (инициалы, фамилия)

Поверитель  **С.С. Будаев**  
(подпись) (инициалы, фамилия)

«15» ноября 2012 г.

ООО «Перелетчик», 302030, г. Орел, ул. Пушкина, д. 20 а; тел./факс (4862) 55-01-54



## Приложение Ж

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И  
МЕТРОЛОГИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
СТАНДАРТИЗАЦИИ  
МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ»**

**СЕРТИФИКАТ №320  
о калибровке средств измерений**

Действителен до  
«03» августа 2013 г.

Средство измерений Датчик мощности  
бистабильный ДМФ-1480

заводской номер №06

принадлежащее ОАО Орелсервис  
Наименование юридического (физического) лица  
ИИН 5753001002

На основании результатов калибровки признано пригодным к  
применению ГОСТ 11505-75

Оттиск  
Печати  
(штамп)

Начальник отдела поверки  
и калибровки ТТН В.И. Виноградов  
должность руководителя подразделения (подпись) (Ф.И.О.)

Поверитель И.А. Аржанов  
(подпись) (Ф.И.О.)

«03» августа 2012 г.

## Приложение 3

030001

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,  
МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В-ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ»**

**СВИДЕТЕЛЬСТВО  
О ПОВЕРКЕ**

№ 1984/050464

Действительно до  
« 31 » октября 20 13 г.

Средство измерений Вискозиметр  
наименование, тип

**ВУБ-1Ф**


серия и номер клейма предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)  
№ 40

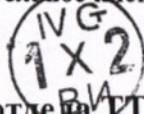
заводской номер \_\_\_\_\_

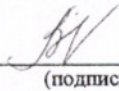
принадлежащее ОАО « Орелдорстрой»  
наименование юридического (физического) лица, ИНН

ИНН5753001002

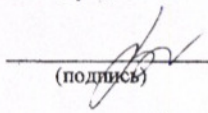
поверено и на основании результатов первичной (периодической) поверки  
признано пригодным к применению.

Доверительное клеймо 

  
**Нач отдела ГТИ**  
должность руководителя подразделения

  
(подпись)

**В. И. Васюкова**  
(инициалы, фамилия)

**Поверитель**   
(подпись)

**И. А. Вороничева**  
(инициалы, фамилия)


« 31 » октября 20 13 г.

ООО «Переплетчик»; 302030, г. Орел, ул. Пушкина, д. 20 а, тел./факс (4862) 55-01-54



## Приложение И

УТВЕРЖДАЮ  
 Главный инженер  
 ГУ «Управление автомобильных  
 дорог общего пользования и транспорта  
 Белгородской области»  
 С. В. Евтушенко  
 «02» ноября 2011г.



### АКТ

об использовании добавки УНИРЕМ-001  
 при устройстве асфальтобетонного покрытия

г. Белгород

01.11.2011г.

Мы, нижеподписавшиеся, начальник научно-технического отдела ГУ «Управление автомобильных дорог общего пользования и транспорта Белгородской области» Калюжный А. Н., начальник отдела инженерного сопровождения строительства Филоненко А. И., начальник центральной лаборатории Рудичева Г. И., начальник отдела контроля качества ОАО «Орелдорстрой» Соломенцев А.Б. составили настоящий акт в подтверждение использования добавки УНИРЕМ-001 при устройстве асфальтобетонного покрытия из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЦМАС-15 на а/д «Таврово-Соломино-Разумное».

ЦМАС-15 производилась на асфальтосмесительной установке СПЕСО TSAP 2000P на АБЗ ФООО «Орелдорстрой» СУ-831 в аэропорту г. Белгорода. Кроме УНИРЕМ-001 (расход - 0,42% от массы минеральной части) вводились добавки Viator-66 (расход - 0,42% от массы минеральной части) и АМДОР-10 (расход – 1% от массы битума). Добавки УНИРЕМ-001 и Viator-66 засыпались отдельно в разделенный на две равные части приемный бункер линии подачи стабилизирующих добавок и далее транспортировались шнековым питателем к дозирующему устройству. Добавка АМДОР-10 вводилась предварительно в разогретый до технологической температуры битум в рабочем котле.

**27.09.2011г.** уложено 125т ЦМАС-15 на ПК 90+50 ÷ ПК 95+50 (левое направление);

**20.10.2011г.** уложено 600т на ПК 51+63 ÷ ПК 46+07 (правое направление);

**21.10.2011г.** уложено 564т на ПК 51+63 ÷ ПК 46+07 (левое направление);

**26.10.2011г.** - 136т на ПК 51+63 ÷ ПК 54+00 (правое направление);

**27.10.2011г.** - 176т на ПК 45+87 ÷ ПК 46+07 (левое и правое направление); на ПК 51+63 ÷ ПК 56+00 – 208т;

**28.10.2011г.** – 312т на а/д Белгород-Шебекино ПК 0+00 ÷ ПК 8+60 (правое направление, полоса укладки ближняя к оси). Всего ЦМАС-15 уложено 2121т, израсходовано 8,5 тонн УНИРЕМ-001.

Отобранные пробы ЦМАС-15 и керны из покрытия соответствуют требованиям ГОСТ 31015-2002. На 2012г. и последующие годы запланировано проведение мониторинга состояния с добавками УНИРЕМ-001, Viator-66 и АМДОР-10 асфальтобетонного покрытия.



А. Н. Калужный



А. И. Филоненко



Г. И. Рудичева



А. Б. Соломенцев



## Приложение К

Утверждаю:



Первый заместитель  
генерального директора  
ОАО «Орелдорстрой»  
А.П. Старчак  
2013г.

### АКТ

об использовании добавки РТЭП совместно с добавками СД-3 и АМДОР-10 при устройстве асфальтобетонного покрытия из ЦМАС на объектах ремонта и капитального ремонта а/д М-2 «Крым»

г.Орел

28.01.2013г.

Мы, нижеподписавшиеся, начальник отдела контроля качества ОАО «Орелдорстрой» Соломенцев А.Б., директор СУ-812 ФООО «Орелдорстрой» Целинко С.В., директор СУ-831 ФООО «Орелдорстрой» Солодухин В.В. составили настоящий акт в подтверждение использования добавки РТЭП совместно с добавками СД-3 и АМДОР-10 при устройстве асфальтобетонного покрытия из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЦМАС-10 при ремонте а/д М-2 «Крым» км 304+831 — км 318+000, км 318+000 - км 329+343 и капитальном ремонте а/д М-2 «Крым» км 329-343 - км 354+320 в Орловской области.

ЦМАС-10 производилась на двух асфальтосмесительных установках: ДС-168 на промбазе «Лужки» СУ-812 в г. Орле и МПС 75 на промбазе п. Подмокрое СУ-831 в Мценском р-не, Орловской области. Добавка РТЭП (расход - 0,32% от массы минеральной части) вводилась при приготовлении а/б смеси в асфальтосмеситель на минеральный материал с добавкой СД-3 (расход - 0,2% от массы минеральной части), а АМДОР-10 (расход — 1,0% от массы битума) — в битум. Добавки РТЭП и СД-3 засыпались отдельно в разделенный на две части приемный бункер линии подачи стабилизирующих добавок и далее транспортировались шнековым питателем к дозировочному устройству. Добавка АМДОР-10 вводилась предварительно в разогретый до технологической температуры битум в рабочем котле.

В июне-октябре 2012 года было выпущено и уложено 46 543 тн ЦМАС-10 с вышеназванными добавками. Отобранные пробы ЦМАС-10 и керны из покрытия соответствуют требованиям ГОСТ 31015-2002. В настоящее время асфальтобетонное покрытие на участках ремонта и капитального ремонта а/д М-2 «Крым» находится в хорошем состоянии, дефектов и разрушений нет.

А.Б. Соломенцев

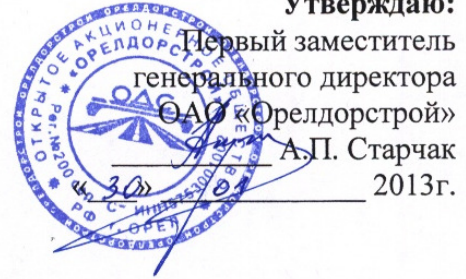
С.В. Целинко

В.В. Солодухин



## Приложение Л

Утверждаю:



Первый заместитель  
генерального директора  
ОАО «Орелдорстрой»  
А.П. Старчак  
2013г.

## АКТ

об использовании добавки УНИРЕМ-001 (УНИРЕМ-002) по СТО 61595504-002-2010 совместно с добавками Viator 66 и АМДОР-10 при устройстве асфальтобетонного покрытия из ЦМАС-15 на а/д «Белгород-Шебекино-Волоконовка»

г.Орел

28.01.2013г.

Мы, нижеподписавшиеся, начальник отдела контроля качества ОАО «Орелдорстрой» Соломенцев А.Б., директор СУ-816 ФООО «Орелдорстрой» Шамрин И.Е., директор СУ-831 ФООО «Орелдорстрой» Солодухин В.В. составили настоящий акт в подтверждение использования добавки УНИРЕМ-001 (УНИРЕМ-002) совместно с добавками Viator 66 и АМДОР-10 при устройстве асфальтобетонного покрытия из щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЦМАС-15 на а/д «Белгород-Шебекино-Волоконовка» км 8+500 — км 26+225 в Белгородском и Шебекинском районе Белгородской области.

ЦМАС-15 производилась на двух асфальтосмесительных установках СПЕСО TSAP 2000 P (установках СУ-816 и СУ-831) на АБЗ СУ-816 в п. Разумное Белгородского р-на, Белгородской области. Добавка УНИРЕМ-001 (расход — 0,42% от массы минеральной части) или добавка УНИРЕМ-002 (расход — 0,2% от массы минеральной части) вводилась при приготовлении а/б смеси в асфальтосмеситель на минеральный материал с добавкой Viator 66 (расход — 0,2% — 0,42% от массы минеральной части), а АМДОР-10 (расход — 1,0% от массы битума) — в битум. Добавки УНИРЕМ-001 (УНИРЕМ-002) и Viator 66 засыпались раздельно в разделенный на две части приемный бункер линии подачи стабилизирующих добавок и далее транспортировались шнековым питателем к дозирующему устройству. Добавка АМДОР-10 вводилась предварительно в разогретый до технологической температуры битум в рабочем котле.

В июле-октябре 2012 года было выпущено и уложено 44 827 тн ЦМАС-15 с вышеназванными добавками. Отобранные пробы ЦМАС-15 и керны из покрытия соответствуют требованиям ГОСТ 31015-2002. В настоящее время асфальтобетонное покрытие участка а/д «Белгород-Шебекино-Волоконовка» после реконструкции находится в хорошем состоянии, дефектов и разрушений нет.



А.Б. Соломенцев



И.Е. Шамрин



В.В. Солодухин