

АННОТАЦИЯ

Илле О.Е. Модифицированный щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий – Челябинск: ЮУрГУ, СМиИ, 2020, 91с., 12 ил., 18 табл.

Библиографический список – 99 наименований.

В выпускной квалификационной работе представлены результаты исследований применения различных модифицирующих добавок в составе щебеночно-мастичного асфальтобетона.

					08.04.01.2020.075.00.00.ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Дата</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Модифицированный щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий	<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Разработ.	Илле О.Е.					ВКР	4	91
Проверил	Кирсанова А.А.					ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «Строительные материалы и изделия»		
Нормоконтр.	Черных Т.П.							
Зам. каф.	Орлов А.А.							

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	
1.1 Щебеночно-мастичный асфальтобетон.....	8
1.2 Цель и задачи исследования	26
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	
2.1 Сырьевые материалы.....	28
2.2 Методы исследования	33
2.2.1 Стандартные методы испытаний	34
2.2.2 Приготовление битума с добавками для испытаний.....	36
2.2.3 Приготовление щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси с добавками для испытаний.....	37
2.2.4 Методы определения технологических свойств добавок.....	38
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО СОСТАВА ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	
3.1 Производственные составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей	40
3.2 Влияние добавок VIATOR66, ХРИЗОТОП, РТЭП на свойства битума	48
3.3 Оценка битумоудерживающей способности добавок	55
3.4 Выводы по 3 главе	60
ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК.....	62
4.1 Выводы по 4 главе	69
ГЛАВА 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	70
ВЫВОДЫ.....	80
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	82

ВВЕДЕНИЕ

Щебеночно-мастичный асфальтобетон был разработан в 60-х годах XX века в Германии и быстро распространился по всему миру. Возросшая интенсивность колееобразования, разрушение дорожного покрытия вследствие роста числа транспортных средств, а также активного использования шипованных автомобильных шин (также изобретенных в 60-х годах), положили начало разработкам и испытаниям нового дорожно-строительного материала[1,2].

На начальном этапе борьбы с разрушением асфальтированных покрытий проблемы решались заливкой дефектных участков специальной мастикой с последующей присыпкой щебнем и уплотнением. Несмотря на высокую степень износостойкости, технология имела ряд недостатков. Последующие решения о переносе процесса приготовления смеси на стационарный асфальтобетонный завод, а также применение стабилизирующей добавки на основе целлюлозных волокон, позволили повысить производительность при более низкой стоимости работ, за счет меньшего объема ручного труда[3-5]. Покрытия из асфальтобетона составляют большую часть от протяженности всех автомобильных дорог, имеющих твердое покрытие [2].

В России за последние десять лет при устройстве покрытий дорог высокой грузонапряженностью щебеночно-мастичный асфальтобетон находит все более широкое применение. Популярность этого материала обусловлена его специфическими транспортно-эксплуатационными показателями, включая комфортабельные и безопасные ездовые качества, сопротивляемость внешним воздействиям, стабильность и долговечность слоя и пр. Увеличению объемов использования способствовали положительные заключения авторитетных комиссий из представителей ДСД «Центр», «Центрдорконтроль», ФГУП «Союздорпроект», ФГУП «Союздорнии», АО «Центродорстрой» и др., подтверждающие технологические и эксплуатационные преимущества покрытий из ЩМА в сравнении с традиционными асфальтобетонами. Выводы о хорошем состоянии покрытий из ЩМА были сделаны на основании результатов

регулярных обследований состояния автомагистралей, работающих в тяжелых условиях эксплуатации[3].

С учетом положительного опыта Росавтодором РФ принято решение о расширенном применении щебеночно-мастичного асфальтобетона на федеральных дорогах России при условии обязательного научно-технического сопровождения строительства. За истекший период накоплен богатый зарубежный и отечественный опыт применения щебеночно-мастичных асфальтобетонов при устройстве верхних слоев дорожных покрытий с шероховатой поверхностью. В данном дипломном проекте отражены наиболее важные аспекты этого весьма перспективного направления развития дорожной технологии [3].

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Щебеночно-мастичный асфальтобетон

Объемы производства асфальтовых материалов занимают одно из ведущих мест среди всех видов строительных материалов. Около 80 % выпускаемой в России асфальтобетонной смеси используется для устройства дорожных покрытий, остальные 20 % применяются в промышленном и гражданском строительстве [1]. Покрытия из асфальтобетона составляют большую часть от протяженности всех автомобильных дорог, имеющих твердое покрытие [2]. Для обеспечения надежного функционирования дорожных сетей и строительства новых необходимо улучшение качества дорожных покрытий, снижение стоимости производства и укладки асфальтобетонов, повышение долговечности, увеличение межремонтных сроков и сокращение расходов на ремонт и содержание автомобильных дорог.

Асфальтобетон – это материал, полученный в результате уплотнения асфальтобетонной смеси, приготовленной в смесителях в нагретом состоянии из щебня или гравия, песка, минерального порошка и битума, подобранных в рациональных соотношениях [3-5].

Изучению теории, структуры, свойств, составов и технологии асфальтобетонов посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых. В работах Богуславского А.М., Волкова М.И., Гезенцевя Л.Б., Горельшева Н.В., Королева И.В., Печеного Б.Г., Ребиндера П.А., Руденского А. В., Рыбьева И.А., Сахарова П.В. и других ученых раскрываются вопросы проектирования составов, технологии производства и применения асфальтобетонов в дорожном, промышленном и гражданском строительстве, а также разработаны основополагающие принципы теории асфальтобетона [4, 6-26].

Свойства асфальтобетона определяются его структурой. Изучению структуры асфальтобетона и его свойств, а также установлению их взаимосвязи посвящены работы Ковалева Я.Н., Котлярского Э.В., Рыбьева И.А. и др. [27-29]. Согласно исследованиям процессов изменения свойств материалов, обладающих

конгломератным типом структуры, Рыбьевым И.А. [27] были выдвинуты основные положения структурообразования искусственных строительных конгломератов. Одно из этих положений гласит, что существует «закономерность в общем виде между прочностными показателями искусственного конгломерата и его вяжущим веществом при оптимальных структурах». К одному из преимуществ оптимальных структур можно отнести их подобие между собой. Если соблюдено условие оптимальности структур, то закономерность, обоснованная в отношении какого-либо материала, может быть распространена и на другие. При рационально подобранном составе (при котором структура является оптимальной) возможно запроектировать материал, свойства которого вполне будут отвечать требуемым характеристикам в современных условиях производства и эксплуатации [30, 31].

Структура асфальтобетона, ее признаки, характеризующие строение, расположение компонентов в смеси относительно друг друга в пространстве, механизм взаимодействия между ними, зависят от плотности и пористости минерального остова и непосредственно самого асфальтобетона, структуры и количества вяжущего вещества. Структура минерального остова определяется расположением отдельных минеральных частиц, их текстурой, размером и формой. Все предложенные методы расчета оптимальных структур и составов минеральной части асфальтобетона сводятся к единой цели – создание более плотных асфальтобетонных смесей, имеющих минимальный объем пор, заполняющихся асфальтовой мастикой [32-36].

Структура асфальтобетона зависит от количества и формы порового пространства. Учитывая, что асфальтобетон имеет несколько фаз по однородности, он не может считаться конгломератом с однородным типом структуры [27, 32, 37].

В работе В.И. Соломатова структура композиционных материалов представлена как состоящая из нескольких структур (начиная с грубых макроструктур, заканчивая молекулярными и атомарными), которые перетекают из одной в другую по принципу «структура в структуре» [38]. Данный способ

эффективен для определения источников возникновения неоднородностей в микроструктуре асфальтобетона [39].

Процесс образования битумоминеральных структур во многом зависит от характера взаимодействия битума с минеральной частью (заполнителем и наполнителем) [40-44]. Составляющие части асфальтобетона в процессе формирования в единую монолитную конструкцию сохраняют свои изначальные свойства, так как взаимодействие твердых и жидких компонентов происходит на границе раздела фаз [37].

Асфальтобетон – это композиционный материал, составляющие компоненты которого могут быть представлены в виде самостоятельных систем [45-47]. Можно выделить три типа структур в конгломерате: макроструктура (щебень + асфальтовый раствор), мезоструктура (песок + асфальтовязущее), микроструктура (минеральный порошок + битум). Данная классификация позволяет установить, какое влияние оказывают щебень и вяжущее на образование структуры асфальтобетона и его прочность, а также выявить три типа макроструктуры: базальную, поровую и контактную [45-47].

По мнению Ребиндера П.А. и Михайлова Н.В. стабильность структуры органоинеральных композиций зависит от качества энергетической связи на границе раздела фаз твердых и жидких компонентов. Следовательно, структуру асфальтобетонов по характеру взаимодействия связей между отдельными составляющими можно разделить на коагуляционную, конденсационную и кристаллизационную.

Характер структуры асфальтобетона зависит не только от структур минерального остова и битума, но и от механизма их влияния друг на друга, от плотности асфальтобетона, специфики его капиллярно-поровой структуры [34]. На формирование структуры асфальтобетона влияют количество и соотношение щебня, песка и минерального порошка. Отличия в структуре существенным образом изменяют свойства асфальтобетона. Контролируя гранулометрический состав и структуру асфальтобетона, вполне возможно регулировать и его свойства, изменяя их в широких пределах [48, 49].

Н.В. Горелышев [50], рассматривая соотношение компонентов в минеральной части асфальтобетонной смеси, разделил структуру асфальтобетона на типы: каркасный, полукаркасный и бескаркасный.

Большую роль для получения оптимальной структуры асфальтобетона играет пространственная упаковка зерен. В работе [51] отмечено, что создание максимально плотного асфальтобетона возможно путем использования в его составе зерен щебня по форме близкой к гексагональной и, в этом случае, каждая частица щебня контактирует с двенадцатью другими.

Получение заданных технологических и строительно-технических свойств асфальтобетона, по мнению И.В. Королева [33], возможно при соблюдении следующих принципов: разрушение начальных атомных связей между минеральными частицами и обволакивание их пленкой битума заданной толщины; строгое соблюдение заданной вязкости системы на всех стадиях структурообразования; выбор технологии, при которой в исходном материале уменьшилось бы количество «природных» дефектов и исключалось появление «наведенных» дефектов в асфальтовых системах. Следуя принципам структурообразования битумо-минеральных композиций, щебеночных и песчаных смесей, возможно прогнозирование характера и природы явлений, происходящих на границе раздела фаз дисперсных систем [33]. Если учесть, что образование структуры асфальтобетона, установление связей между его отдельными составляющими происходит на всех технологических этапах, начиная с перемешивания и заканчивая укладкой и уплотнением [35, 52-54], то положения теории Королева В.И. [33] становятся особенно актуальными. При перемешивании материала на поверхности щебня образуются структурированные оболочки вяжущего (битумные пленки). Вязкость, пластичность и когезионная прочность вяжущего меняются в процессе удаления от минеральной подкладки и зависят от степени пористости минеральных компонентов, обуславливающей «фильтрационный эффект», и от количества структурированного битума [55-57].

Изучение специфики образования структуры высококонцентрированных дисперсных систем создает необходимость учета свойств контактных

взаимодействий, так как на объемные свойства асфальтобетонов сильно оказывают влияние количественные и качественные характеристики, механизм взаимодействия между частицами грубо- и высокодисперсных фаз сквозь тонкую пленку битума [27, 46, 55, 59-63].

Толщина битумных пленок на поверхности минеральных зерен различна, от долей микрометра до нескольких микрометров. Создание на поверхности минеральных зерен адсорбционно-сольватных оболочек способствует повышению физико-механических и эксплуатационных свойств, улучшению однородности структуры конгломерата. Этого можно добиться путем введения в асфальтобетонную смесь оптимального количества минерального порошка, который обладает высокой структурирующей способностью [64].

Структура и свойства конгломератов из битумоминеральных смесей зависят от следующих факторов: качества связей, действующих между отдельными минеральными частицами; свойств вяжущего; толщины слоя на поверхности щебня; механизма взаимодействия минеральной части и вяжущего на границе раздела фаз. Для повышения качества дорожных покрытий необходимо использование дорожно-строительных материалов, которые обладают плотной и однородной структурой, водонепроницаемостью, устойчивостью к сдвиговым деформациям и трещинообразованию, высокой износостойкостью. Одним из таких материалов является щебеночно-мастичный асфальтобетон.

Щебеночно-мастичной асфальтобетонной смесью (ЩМАС) называется рационально подобранная смесь минеральных материалов (щебня, песка из отсевов дробления и минерального порошка), дорожного битума и стабилизирующей добавки, взятых в определенных пропорциях и перемешанных в нагретом состоянии.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) – это материал, разработанный преимущественно для устройства верхних слоев дорожной одежды на участках с высокой интенсивностью движения транспорта.

По своему структурному строению, по соотношению и содержанию компонентов смеси, ЩМА довольно сильно отличается от других типов

асфальтобетона, поэтому его относят к самостоятельному виду дорожностроительных материалов.

Отличием ЩМА от традиционных типов асфальтобетона (мелкозернистые асфальтобетоны типа А, Б, многощбенные асфальтобетоны) является жесткая каркасная структура, благодаря которой передача нагрузки непосредственно с поверхности покрытия на нижележащие слои осуществляется через отдельные крупные частицы щебня, соприкасающиеся между собой. Именно поэтому, щебеночно-мастичный асфальтобетон менее подвержен деформациям в продольном и поперечном направлениях [65].

подавляющее большинство объемов ЩМА было приготовлено с применением в качестве стабилизирующей добавки целлюлозных волокон, в меньшей мере использовались гранулы на основе целлюлозы. Участки дорог обследовали на наличие колеи. В 90 % случаев глубина колеи составляла не более 4 мм, примерно 65 % - менее 2 мм, а на 25 % участках колея и вовсе отсутствовала. Покрытия из ЩМА показали высокие эксплуатационные характеристики (особенно на высоконагруженных участках дорог) – высокое сопротивление трещинообразованию и образованию колеи.

Недостатком применения ЩМА является появление битумных пятен на поверхности покрытия после уплотнения. Это говорит о высоком содержании вяжущего и недостаточной стабилизирующей способности использовавшихся добавок.

В Западной Европе наблюдается постепенный переход к устройству тонких защитных слоев из щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

Устройство тонких слоев покрытий из ЩМА было проведено в Нидерландах, Германии. Построенные тонкие покрытия из ЩМА, даже после 11 лет эксплуатации показали удовлетворительные результаты [78].

ЩМА так же хорошо зарекомендовал себя и при ремонте цементобетонных покрытий на автобанах в Баварии [79].

Помимо использования щебеночно-мастичного асфальтобетона непосредственно при строительстве автодорог, он также нашел широкое

применение при строительстве взлетно-посадочных полос в аэропортах в Швеции, Германии, Австрии, Бельгии, Англии, Австралии, США и странах Азии. Это стало возможным благодаря высокой деформационной стойкости ЩМА, высокой долговечности покрытий, а также высокому коэффициенту трения при взлете или посадке воздушных судов.

ЩМА применяется при строительстве мостовых и других сооружений. Это возможно исходя из свойств данного материала: повышенная трещиностойкость, низкая водопроницаемость, возможность укладки тонкими слоями, ровность, высокий коэффициент сцепления.

Распространено устройство двухслойных покрытий из ЩМА при строительстве мостов. Примерами могут служить «Великий Мост» в г. Сеохай (Южная Корея), мост через р. Иртыш в г. Ханты-Мансийске и т. Д.

В России щебеночно-мастичные асфальтобетоны по крупности щебня подразделяют на 3 основные марки: ЩМА-10, ЩМА-15, ЩМА-20. За рубежом широко распространены марки ЩМА с максимальным размером щебня 8, 10, 11, 16, 22 мм. ЩМА рекомендуется применять при устройстве верхних слоев дорожной одежды на дорогах любых категорий и городских улицах в I-V климатических зонах, а также на аэродромах при устройстве взлетно-посадочных полос и в местах стоянки воздушных судов. Толщину устраиваемого слоя в зависимости от марки ЩМА назначают в пределах от 3 до 6 см.

В качестве вяжущих использовались битумы нефтяные дорожные марок БНД 60/90, БНД 90/130, БН 90/130, БДУ 70/100, а так же полимерно-битумное вяжущее ПБВ 60. Были построены дорожные покрытия, в составе которых применялись щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси как с использованием добавок катионного типа, так и без них [81].

Обследование построенных участков из ЩМА показало, что ширина раскрытия трещин в сравнении с покрытием из асфальтобетона типа А, оказалась в 1,5-2 раза меньше. Имеющиеся поперечные трещины летом становились визуально незаметными, однако в осенний период они снова раскрывались [70].

Сдвигоустойчивость ЩМА обеспечивается благодаря высокому показателю

внутреннего трения. По данным измерений ровности покрытия в поперечном направлении даже в аномально жаркие периоды 2001-2002 гг. колея в покрытии не образовывалась. Согласно результатам исследования [82] показатели ровности на экспериментальном участке дороги из ЩМА выше предельного 95%-ного значения.

Приготовление и укладка ЩМАС является технологичным и экономичным процессом, не требующим никаких особых дополнительных устройств и при этом не возникает никаких технологических сложностей при строительстве дорог [82, 83].

Участки дорог из ЩМА, построенные в климатических зонах Западной Сибири, имеют после зимнего периода эксплуатации гораздо лучшее состояние, чем участки асфальтобетонной смеси, изготовленной по ГОСТ 9128-2013.

В ходе исследования эксплуатационных характеристик опытных участков покрытий из щебёночно-мастичного асфальтобетона, а также на участках из асфальтобетона типа А, которые были введены в эксплуатацию в 2000 и 2001 гг. на автомобильной дороге М-4 «Дон», выявлено следующее [70]: высокий коэффициент внутреннего трения щебёночно-мастичного асфальтобетона, равный 0,94 – 0,95, при коэффициенте вариации от 1,0 до 1,6 %; высокая сдвигоустойчивость покрытия из ЩМА и отсутствие колеяности. Для асфальтобетона типа А коэффициент внутреннего трения был равен 0,90, коэффициент вариации 2,5 %. Согласно проведенным обследованиям покрытия из ЩМА имеют следующие преимущества по сравнению с асфальтобетоном типа А [83]:

- на всем протяжении экспериментальных участков на поверхности отсутствуют выбоины, шелушение, выкрашивание;

- ширина раскрытия трещин, отраженных от основания на поверхности ЩМА, в 1,5-2 раза меньше по сравнению с покрытиями из асфальтобетона типа А;

- согласно обследованию показатель водонасыщения ЩМА в покрытии не превышал 1,5 %, что позволяет считать верхний слой на экспериментальных

участках водонепроницаемым;

– высокая устойчивость ЩМА к эрозионным разрушениям обуславливается достаточно высокими значениями водостойкости при длительном водонасыщении;

– шероховатость покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонов в 1,8 раз выше, чем в покрытиях из асфальтобетонов типа А той же крупности;

– коэффициент сцепления колеса автомобиля с поверхностью дороги выполненной из ЩМА выше, чем на участке покрытий из традиционного асфальтобетона и находится в пределах 0,43-0,48;

– во время эксплуатации экспериментальных участков дорожного покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона, протяженность которых составляла более 50 км, были отмечены высокие и стабильные показатели ровности.

Исходя из вышеизложенных преимуществ экспериментальных покрытий, построенных из ЩМА, можно прогнозировать их более высокую долговечность, так как по основным эксплуатационным показателям качества они на много превосходят стандартные плотные асфальтобетоны типа А.

При проектировании щебеночно-мастичных асфальтобетонов минеральную часть смеси подбирают исходя из принципа прерывистой гранулометрии.

ЩМА по своим физико-механическим показателям существенно отличается от других типов асфальтобетона. По сравнению с асфальтобетоном типа А и высокоплотным асфальтобетоном (ВПА) пористость минерального остова щебеночно-мастичного асфальтобетона выше и увеличивается пропорционально содержанию битума. Плотный асфальтобетон и ВПА ведут себя согласно правилу створа [3, 66], имея оптимальное содержание битумного вяжущего при минимальной пористости минерального остова. В случае с ЩМА повышение количества вяжущего ведет к увеличению пористости минерального остова. В результате экспериментальных исследований было выявлено, что сама по себе структура ЩМА предусматривает раздвижку минерального остова и присутствие в уже уложенном покрытии, в уплотненном материале, слабоструктурированного и объемного битума. Толстые пленки битума на поверхности щебня в щебеночно-

мастичном асфальтобетоне делают его несколько схожим с литым асфальтобетоном [67], но данные материалы существенно отличаются по содержанию щебня, поровой структуре, степени структурирования с минеральным порошком.

Таким образом, при правильно и рационально подобранном составе, ЩМА имеет устойчивый и стабильный минеральный остов. Структура щебеночно-мастичных асфальтобетонов наиболее оптимально сочетает в себе максимальную жесткость при трехосном сжатии и сдвиге, максимальную податливость и высокую деформативность при растяжении.

По сравнению с традиционными асфальтобетонами, которые имеют плотную многоуровневую структуру, ЩМА характеризуется каркасно-щелевой структурой, благодаря чему имеет ряд преимуществ, а именно: высокие сдвигоустойчивость, трещиностойкость, устойчивость к разрушениям под действием транспорта и климатических факторов, повышенный срок службы покрытий, более высокие эксплуатационные характеристики, а также пониженный уровень шума при движении транспорта [69-75].

Недостатком применения ЩМА является появление битумных пятен на поверхности покрытия после уплотнения. Это говорит о высоком содержании вяжущего и недостаточной стабилизирующей способности использовавшихся добавок.

Для регулирования свойств ЩМА в настоящее время применяют ряд стабилизирующих добавок, которые являются важнейшим компонентом в составе ЩМА и оказывает структурирующее влияние на смесь, предотвращая сегрегацию и отслоение (стекание) битума при высоких технологических температурах на всех этапах производства и укладки [78]. Вид и свойства используемых добавок играют важную роль для обеспечения необходимого содержания вяжущего и повышения качества смеси.

Стабилизирующие добавки применяют для увеличения толщины пленок битума на поверхности минеральных зерен, тем самым повышая количество свободного битума и обеспечивая однородность смеси.

В качестве стабилизирующих добавок изначально применяли асбест и резиновую крошку, что обуславливает содержание битума в щебеночно-мастичных асфальтобетонах до 7 % [79]. В процессе экспериментальных исследований было установлено, что способностью удерживать битум на поверхности минерального материала обладают и такие материалы, как термопласты, целлюлозные и минеральные волокна и т.п.

На сегодняшний день наиболее распространенными являются стабилизирующие добавки из целлюлозы, представленные в виде фибриллированного волокна или гранул. Добавки в виде волокон должны быть однородными и содержать не менее 50 % фибр длиной 0,5 – 1,9 мм. Волокна спрессованы непосредственно в сами гранулы и могут быть обработаны различными составами, либо без спрессовывания и обработки. Волокнистые стабилизирующие добавки должны отвечать требованиям ГОСТ 31015-2002.

Возможность использования добавок из других волокон и материалов (акриловых, стеклянных, минеральных, различных полимеров, резинового порошка и пр.) необходимо обосновывать испытаниями смесей ЩМА.

Одними из самых широко используемых и качественных стабилизирующих добавок на сегодняшний день являются добавки типа Viator, Technocel, Torcel, Genicel поставляемые из-за рубежа, которые состоят из целлюлозных волокон, спрессованных в гранулы. Добавкой из чистых волокон является Torcel, в виде целлюлозных гранул – Technocel. Добавки семейства Viator (Viator-66, Viatorpremium, Viatorsuperior) состоят из целлюлозного волокна, пропитанного битумом, и представляют собой гранулы с битумной оболочкой, которая создана для борьбы с комкованием, а также обеспечивает хорошую сыпучесть гранул. Соотношение битума в добавках Viator может быть различным (10 – 34 %). 29 (например, Viator-66 на 66,6 % состоит из целлюлозных волокон «Abrocel ZZ 8-1» и на 33,3 % из битума).

Использование стабилизирующих добавок снижает сегрегацию и положительно влияет на некоторые свойства ЩМА. Например, добавка Genicel, за счет содержания алифатических углеводов, существенно повышает

температуру размягчения битума по испытанию «кольцо и шар» и снижает его пенетрацию, улучшает адгезию битума, повышает устойчивость к образованию колеи [81].

Недостатком импортных стабилизаторов является их высокая стоимость. При использовании добавки Viator, в состав которой входят целлюлозные волокна, обработанные битумом, для предотвращения стекания вяжущего необходимо добавлять на 50 % больше материала по сравнению с чистым целлюлозным гранулятом Torcel. Так, ЩМА с применением добавки Torcel дороже традиционных асфальтобетонов на 15-20 %, а с Viator-66 – на 30 %. Однако, стоит отметить, что отечественные стабилизирующие добавки типа Хризотоп, СД-3 ГБЦ, СД Армидон, Стилобит также имеют высокую стоимость.

Кроме целлюлозных волокон находят применение и добавки из акриловых волокон, такие как Dolanit.

Отечественными учеными предложено в качестве альтернативы древесной целлюлозе использовать целлюлозу из лубяных культур, а именно – льна [84, 85].

Предложено производство щебеночно-мастичных асфальтобетонов без использования добавок в виде целлюлозных волокон, фибры или гранул [86]. В таких ЩМАС используется специально разработанное вяжущее БИТРЭК.

В работе [82] предложено производить ЩМА на основе техногенного сырья. В качестве стабилизирующих добавок применяют волокнистые отходы промышленности, при этом удешевляется производство, и повышаются некоторые физико-механические свойства асфальтобетона.

Некоторые зарубежные фирмы предлагают применять в качестве добавок отходы производства – капроновые, полиэтиленовые, полипропиленовые волокна. При их использовании наблюдается улучшение технологических и физико-механических качеств асфальтобетонов.

В Германии при строительстве отдельных участков дорог использовали ЩМА, модифицированные отходами текстильного производства с общей долей отходов в смеси до 2% [82]. Отмечалось повышение упругости, уменьшение деформативности, высокая устойчивость к влиянию низких температур. Однако

наблюдалось и увеличение влагоемкости.

В США при укладке асфальтобетона и при ремонте дорог в ЩМАС использовалось вяжущее с добавлением синтетических волокон длиной около 9-10 мм [84], что положительно повлияло на трещиностойкость. В случае применения синтетических волокон необходим жесткий контроль температурного режима. При низкой температуре приготовления волокна не растягиваются и плохо перемешиваются, а при слишком высокой – распадаются.

Ученые считают, что перспективным могло бы быть производство ЩМА не со стабилизирующей добавкой, а с комплексной структурирующей добавкой. Данная добавка должна содержать как полимерный модификатор, так и стабилизирующий и одновременно армирующий компонент [86]. Таким образом, происходит и повышение качества вяжущего и стабилизация смесей, что может упростить технологию и стоимость ЩМА.

Одной из таких добавок может служить стабилизатор РТЭП, представляющий собой многокомпонентную композицию на основе полиолефинового полимерного носителя, содержащего дорожный битум, термоэластопласты, резиновую крошку, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и антиоксиданты [74, 81-82]. По сравнению с обычным асфальтобетоном смесь, содержащая РТЭП, менее подвержена пластическим деформациям, образованию колеи и разрушениям. Однако, недостатком указанной 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. Однородность смеси, оцениваемая по коэффициенту вариации показателя предела прочности при сжатии при температуре 50°C и по значениям средней плотности, становится низкой, что снижает длительную водостойкость и долговечность покрытия из ЩМА.

Большая часть предлагаемых стабилизирующих добавок для ЩМА изготавливается из целлюлозных волокон, различных резиновых модификаторов и отходов промышленности [85-87]. Общим недостатком большинства используемых добавок является повышенная стоимость.

При производстве щебеночно-мастичных смесей в России применяются все стабилизирующие добавки, предлагаемые на отечественном рынке [68,69, 76, 84-87]. Большинство ЩМАС выпущено с применением добавки Viator-66.

Покрытия из ЩМА обладают безопасными ездовыми качествами, являются комфортабельными, а благодаря своей текстуре и шероховатости отлично поглощают шум при движении транспорта. В результате исследований во многих странах выявлено, что покрытие из щебеночно-мастичного асфальтобетона, по сравнению с обычным асфальтобетоном, снижает уровень шума при движении транспорта на 2-4 Дб [72, 74, 75].

Так как ЩМА является более долговечным материалом и менее подвержен разрушениям в сравнении другими дорожно-строительными материалами, то даже при больших изначальных затратах на производство и укладку, в будущем он является более рентабельным и экономичным. Стоимость изготовления ЩМА более высока в связи с тем, что при его производстве используется большее количество битума, наполнитель высокого качества и стабилизирующие добавки.

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 [86] по вещественному составу стабилизирующие добавки можно разделить на минеральные, и органические.

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

Минеральный волокнистый материал асбест исследовался в работе Красновской О.А. [84] 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 [84] считает, что асфальтобетоны с добавками асбоволокна, учитывая их повышенные показатели физико-механических свойств, следует рекомендовать для устройства верхних слоев покрытий скоростных дорог, магистралей городского и районного значения. Исследованием автора 11 установлено, что введение асбоволокна в асфальтобетонные смеси повышает их прочность, следовательно, увеличиваются и сроки службы дорожных покрытий.

Согласно исследованиям А. Дж. Хойберга [86] 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 [86]. Отличительной чертой получаемого материала является прочность, износостойкость и высокое сопротивление растягивающим напряжениям.

В.Ф. Коробко [78] на основе проведенных исследований по применению асбесто-цементного волокнистого материала отмечает что, микроармированиеасфальтовяжущего волокнистым материалом повышает угол внутреннего трения и сцепления. Это обусловлено повышением вязкости асфальтовяжущего и созданием волокнами расположенной микроармирующей решетки, создающей дополнительные механические связи.

Г.Н. Кирюхиным [82] 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 [81], был исследован волластонит месторождения Западный Джангалик Ленинабадской 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 Куцной Н.П. [86] 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 сдвигоустойчивость 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. [87] 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 ЦМАС) и способ получения модифицированной асфальтобетонной смеси [83]. Согласно патенту 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 ЦМАС. На основе этого патента патентообладателем ООО «Уником» было начато производство композиционного материала на основе активного резинового порошка «УНИРЕМ» [76] переименованного в «УНИРЕМ-001».

В состав запатентованной асфальтобетонной смеси [83] входит вязкий дорожный битум, аминная поверхностно-активная добавка – триэтанолламин, 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 патенту [85] получают вяжущее, которое включает нефтяной дорожный битум, триэтанолламин и полимерную структурирующую добавку – резиновый термоэластопласт РТЭП. Введение добавки РТЭП в сочетании с триэтанолламином в составе нефтяного дорожного битума позволяет создать полимерно-битумное вяжущее с повышенными структурообразующими свойствами.

Резиновый термоэластопласт РТЭП [87], 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 [83] 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 50оС, прочность на растяжение при расколе при 0°С.

Еще одним представителем полимерных добавок является гранулированная добавка «ВЕСТОПЛАСТ» [81]. Молекулы полимера добавки состоят из блоков «пропилен-бутилен-этилен». Добавка вводится в минеральную часть смеси вместе с минеральным порошком. Имея температуру размягчения около 100оС, «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: VIATOR-66, VIATOR Premium; TOPCEL, TECHNOCEL 1004, ITERFIBRA, ANTROCEL, ГАСЦЕЛ [103] СД-1, СД-2, СД-3 [74,75] 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 [67].

Одними из самых широко используемых и качественных стабилизирующих добавок на сегодняшний день являются добавки типа Viator-66, ХРИЗОТОП, РТЭП представляющие собой гранулы, состоящие из целлюлозных волокон, пропитанные битумом и спрессованные между собой.

1.2 Цель и задачи 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.

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.

Таким образом, целью исследования стало модифицирование производственного состава ЩМА путем введения стабилизирующих добавок.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие задачи:

1. Разработать эффективный производственный состав ЩМА;
2. Изучить свойства стабилизирующих добавок;

3. Определить основные свойства ЩМА с различными стабилизирующими добавками;
4. Установить оптимальный вариант модификации ЩМА.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Сырьевые материалы

Щебеночно-мастичная асфальтобетонная смесь включает в свой состав 4 компонента:

- минеральный материал (щебень, песок, минеральный порошок);
- битумное вяжущее;
- стабилизирующую добавку;

В качестве минерального материала при приготовлении щебеночно-мастичной смеси используется щебень, песок, а также минеральный порошок [81].

Щебень — важнейший структурный элемент ЦМА. Он обеспечивает создание устойчивого структурного каркаса в слое дорожного покрытия. Доля щебня в общей массе ЦМА достигает 70–80 %. Для приготовления щебеночно-мастичной смеси используется фракционированный щебень (наиболее популярны фракции 5–10 мм, 10–15 мм и 15–20 мм) с улучшенной (кубовидной) формой зерна и высокой шероховатостью. Содержание зерен лещадной (пластинчатой) и игловатой формы не должно быть более 15 % от общей массы щебня [65]. Зерновой состав должен быть из твердых горных пород согласно ГОСТ 8267–93, но в некоторых случаях допускается использовать щебень из металлургических шлаков.

Песок, используемый для приготовления ЦМА, должен быть только из отсевов дробления горных пород. Количество глинистых частиц в составе материала не должно быть больше 0,5% [13,14].

Минеральный порошок, применяемый для производства щебеночно-мастичных смесей, является аналогичным тому, который используется при производстве обычных асфальтобетонных смесей. Его получают из известняка, доломита и других карбонатных горных пород [17].

В качестве битумного вяжущего при приготовлении щебеночно-мастичных смесей используется вязкий нефтяной дорожный битум с модифицирующими добавками или без них, а также полимерно-битумные вяжущие (ПБВ). В том числе в качестве асфальтового вяжущего применяется мастика,

представляющая собой смесь песка, минерального порошка, битумного вяжущего и стабилизирующей добавки.

В составе ЦМАС стабилизирующая добавка является обязательным компонентом. Она требуется для того, чтобы удерживать битумное вяжущее на поверхности зерен минерального материала, препятствуя расслаиванию, которое может возникать во время промежуточного хранения и транспортировки горячей щебеночно-мастичной смеси к месту укладки [28,44].

В экспериментальных исследованиях использовали составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, взятые на производстве ООО «ЧелСИ», включающие: щебень кубовидной формы из плотных горных пород, песок из отсевов дробления горных пород, активированный минеральный порошок, стабилизирующую добавку из целлюлозных волокон, высокодисперсные отсевы дробления керамзита и перлита, нефтяной дорожный битум.

Использовался щебень и песок из отсевов дробления горных пород производства ООО «ЧелСИ» Новосмолинского карьера. Свойства щебня и песка из отсевов дробления приведены в таблицах 2.1, 2.2 и 2.3, 2.4 соответственно.

Таблица 2.1 – Зерновой состав щебня ООО «ЧелСИ» Новосмолинского карьера

Наименование материалов	Зерновой состав (прошло через сито с отверстиями, мм), %			
	20	15	10	5
Щебень фракции 5-10 мм	100	100	92,7	8,2
Щебень фракции 5-15 мм	100	62,9	26,2	8,2
Щебень фракции 5-20 мм	90,9	46	25,2	2,0

В качестве наполнителя применялся активированный минеральный порошок ЗАО Коелгамрамор г. Челябинск. Химический состав исходной породы, из которой был получен активированный (нефтяным битумом по ГОСТ 22245-90) минеральный порошок, следующий: CaO – 58,4 %; CO₂ – 38,2 %; SiO₂ – 2,95 %; Al₂O₃ – 0,28 %; MnO – 0,06 %; Na₂O – 0,08 %; K₂O – 0,03 %.

Свойства активированного минерального порошка приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.2 – Свойства щебня ООО «ЧелСИ» Новосмолинского карьера

Наименование показателей	Фактически показатели	Требования ГОСТ 8267-93
Содержание дробленых зерен по массе, %, не менее	85,8	85
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы по массе, %, не более	14,2	15
Содержание зерен слабых пород по массе, %, не более	2,78	5
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %, по массе не более	0,9	2
Содержание глины в комках, % по массе, не более	Нет	0,25
Марка по дробимости, не менее	1000	1000
Марка по истираемости	И1	И1
Марка по морозостойкости	F50	F50
Марка по пластичности (ГОСТ 25607-94)	Пл1	Пл1 – Пл2
Марка по водостойкости (ГОСТ 25607-94)	В1	В1 – В2
Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³	1326	-

Таблица 2.3 – Зерновой состав песка из отсевов дробления щебня ООО «ЧелСИ» Новосмолинского карьера

Наименование материалов	Зерновой состав (прошло через сито с отверстиями, мм), %							
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Песок из отсевов дробления	95	77	53	42,5	28,5	23	14,2	4,1

Таблица 2.4 – Свойства песка из отсевов дробления щебня ООО«ЧелСИ»
Новосмолинского карьера

Наименование показателей	Фактически показатели	Требования ГОСТ 8736-93
Истинная плотность, кг/м ³	2631	-
Средняя плотность, кг/м ³	2620	-
Насыпная плотность, кг/м ³	1548	-
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе, не более	0,94	2
Марка по дробимости, не менее	1000	1000
Марка по истираемости	И1	И1

Таблица 2.5 – Свойства активированного минерального порошка ЗАО
Коелгамрамор

Наименование показателей	Экспериментальные показатели	Требования ГОСТ Р52129-2003 для МП-1
Зерновой состав, % по массе мельче 1,25 " 0,315 " " 0,071 "	100 98,1 81,7	не менее 100 не менее 90 не менее 80
Пористость, % по объему, не более	27	30
Набухание образцов из смеси минерального порошка с битумом, % не более	0,37	1,8
Водостойкость образцов из смеси минерального порошка с битумом	0,97	-
Показатель битумоемкости, г	58	-
Истинная плотность, ρ, кг/м ³	2746	-
Средняя плотность уплотненного порошка, ρ _т , кг/м ³	1923	-
Насыпная плотность, ρ _н , кг/м ³	1217	-
Удельная поверхность, S, см ² /г	3080	-

В качестве вяжущего использовался битум нефтяной дорожный БНД 60/90 производства ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» г. Салават. Характеристики битума приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Свойства битума БНД 60/90 ОАО «Салаватнефтеоргсинтез»

Показатель	Методыиспытани й	Эксперимен- тальныепоказатели	Требования ГОСТ 22245-90
Глубина проникания иглы, 0,1 мм: а) при 25 °С; б) при 0 °С	ГОСТ11501-78	75	61-90 Не менее 20
	ГОСТ11501-78	23	
Температура размягчения по КиШ, °С	ГОСТ 11506-73	52	Не менее 47
Растяжимость, см при 25 °С при 0 °С	ГОСТ 11505-75	97	Не менее 55 Не менее 3,5
		4	
Температура хрупкости по Фраасу, °С	ГОСТ 11507-78	-19	Не выше -15
Температура вспышки, °С	ГОСТ 4333-87	239	Не менее 230
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	ГОСТ18180-72 ГОСТ11506-73 с доп. По п.3.3 ГОСТ22245-90	3	5
Индекс пенетрации, ИП	ГОСТ 22245-90 приложения 2	+0,3	От -1,0 до +1,0

В работе применялись стабилизирующие добавки типа Viatop-66«Растом» г. Москва, РТЭП«РосТЭС-Юг» г. Армавир, ХРИЗАТОП«ПК Стилорит» г. Екатеринбург, представляющие собой гранулы, состоящие из целлюлозных волокон, пропитанные битумом и спрессованные между собой. Добавки испытывались согласно ГОСТ 31015-2002 (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Свойства стабилизирующих добавок

Наименование показателя	Фактические Показатели Viator-66	Фактические Показатели ХРИЗОТОП	Фактические Показатели РТЭП	Значение показателя по ГОСТ 31015-2002
Влажность, % по массе	4,16	4,5	3,9	Не более 8,0
Термостойкость при температуре 220 °С по изменению массы при прогреве, %	3,8	3,2	4,4	Не более 7,0
Содержание волокон длиной от 0,1 мм до 2,0 мм, %	81	83	85	Не менее 80
Средняя длина гранулы, мм	2-10	3-9	2-10	-
Растворимость в воде (при 20 °С)	нерастворим	нерастворим	нерастворим	-

2.2. Методы исследования

Методы испытаний материалов для смесей ЦМА должны соответствовать:

- для щебня – ГОСТ 8269.0-97. Необходимо проверять такие параметры, как зерновой состав, размер, сжатие образцов горной породы, содержание глины в комках или зерен слабых пород, морозостойкость [73];

- песка – ГОСТ 8735-88. Вычисляются зерновой состав и модуль крупности, а также содержание глинистых частиц по методу набухания [85];

- для битумов и ПБВ – ГОСТ 11501-78, ГОСТ 11505-75, ГОСТ 11506-73, ГОСТ 11507-78. Во время испытаний определяются глубина проникания иглы (пенетрация), растяжимость, температура размягчения, температура хрупкости [4,9];

- для ПБВ – ОСТ 218.010-98, согласно которому проверяются однородность и эластичность [65];

- минерального порошка – ГОСТ 12784-78, в соответствии с которым определяются такие показатели, как зерновой состав, удельный вес, пористость,

показатель битумоемкости, влажность, однородность, коэффициент водостойкости образцов из смеси минерального порошка с битумом.

Основным критерием при контроле качества приготовления смесей для щебеночно-мастичного асфальтобетона является соблюдение проектного состава, особенно содержания битума. Косвенным показателем содержания битума может служить величина водонасыщения в образцах, которые формируются на асфальтобетонном заводе [28].

Второй важной характеристикой качества приготовления смесей является показатель стекания вяжущего. Превышение его нормируемой величины может привести к налипанию асфальтобетонной смеси на кузова автомобилей-самосвалов [20,21].

Основной критерий качества щебеночно-мастичного асфальтобетона, уложенного в слой износа, - водонасыщение или остаточная пористость образцов-кернов, которые отбирают не раньше чем через сутки после укладки и уплотнения слоя. Не рекомендуется определять коэффициент уплотнения слоев износа из щебеночно-мастичного асфальтобетона. При расчете коэффициента уплотнения по требованию заказчика нужно иметь в виду, что этот показатель характеризуется низкими повторяемостью и воспроизводимостью (ИСО 5725-2-94). Вследствие малой толщины слоя и высокого содержания щебня возрастает неоднородность свойств перемешанных лабораторных образцов как по плотности, так и по показателям водонасыщения [14].

2.2.1. Стандартные методы испытаний

При исследовании свойств порошков из керамзита и перлита, стабилизирующих добавок, асфальтовяжущего, щебеночно-мастичных асфальтобетонов использовались стандартные и нестандартизированные методы.

Удельную поверхность высокодисперсных керамзитового и перлитового порошков определяли с помощью прибора Т-3 (Товарова), рисунок 2.1.

а)



б)



Рисунок 2.1 – а) пневматический поверхностемер Т-3 (общий вид); б) навески проб минеральных порошковых материалов: 1- керамзитовый, 2 – перлитовый, 3- активированный известняковый

В настоящее время хорошо известно, что многие важнейшие свойства физических тел в значительной степени определяются состоянием их поверхности. Свойства поверхностных слоев существенно отличаются от свойств объемного материала, что связано с особенностями их тонкого (атомарного) строения, взаимодействия поверхности с атмосферой и сопрягаемыми телами. Изучение поверхностных слоев является одной из важнейших задач материаловедения, которое решается путем использования современных, удобных и информативных методов исследований.

Применяемые в исследованиях битумы нефтяные дорожные испытывали в соответствии с требованиями ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия» согласно методам испытаний битумов. (ГОСТ 11501-78, ГОСТ 11506-73, ГОСТ 18180-72, ГОСТ 11501-78, ГОСТ 11507-78).

Устойчивость смеси к расслаиванию определяли согласно ГОСТ 31015- 2002. Для этого приготовленную щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь помещали в стакан и выдерживали в течение 60 ± 1 мин в сушильном шкафу при температуре 170°C . Затем извлекали стакан и удаляли смесь, перевернув стакан вверх дном, не встряхивая, на 10 ± 1 секунд. Затем охлаждали стакан в течение 10 мин и взвешивали с остатками вяжущего и смеси, прилипшей к его внутренней поверхности.

Стекание вяжущего V , %, определяли по формуле:

$$V = \frac{g_3 - g_1}{g_2 - g_1} \cdot 100 \quad (1)$$

где g_1, g_2, g_3 — масса стакана соответственно пустого, со смесью и после ее удаления, г.

Прочность и теплостойкость щебеночно-мастичных асфальтобетонов оценивались по ГОСТ 12801-98 по пределам прочности при сжатии образцов ЩМА при температурах 0°C (R_0), 20°C (R_{20}) и 50°C (R_{50}). Образцы испытывались на электромеханическом прессе для испытания дорожно-строительных материалов ДТС 06-50/100 (рисунок 2.5). Испытания проводились в ООО «ЧелСИ».



Рисунок 2.2 – Электромеханический пресс ДТС 06-50/100

Водостойкость ЩМА оценивали по значениям показателей водонасыщения W , набухания H , водостойкости k_w и водостойкости при длительном водонасыщении k_{w0} согласно ГОСТ 12801-98.

Испытывали образцы асфальтобетона из смесей ЩМА-10 и ЩМА-15, изготовленные в стандартных стальных цилиндрических формах диаметром 71,4 мм, которые уплотняли вибрированием с последующим доуплотнением прессованием на гидравлическом прессе МС-1000 согласно ГОСТ 12801-98.

2.2.2 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. Добавка Viatop-66 распределялась в битуме достаточно хорошо в течение 20 минут, а Хризотоп растворялся в течение 30-40 минут. Из-за сильной спрессованности гранул без предварительного разрушения Хризотоп плохо распределялся в битуме, поэтому был механически разрушен в фарфоровой ступке вручную до распушенного состояния. После этого можно было добиться однородного распределения добавок в битуме.

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.

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°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°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°C.

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

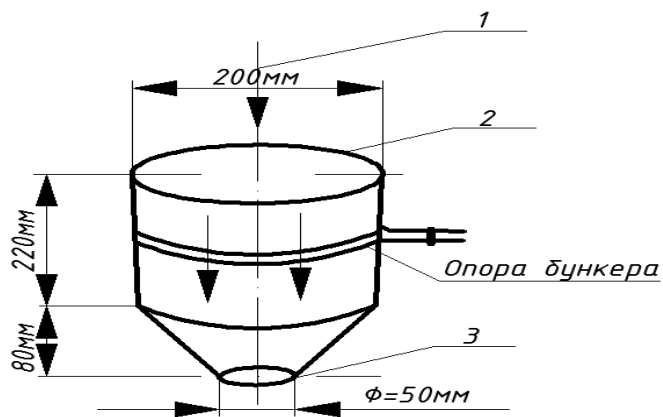
2.2.4 Методы определения технологических свойств добавок

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 $20\pm 3^\circ\text{C}$. 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 36 выдерживания в воде при $20\pm 3^\circ\text{C}$, весовым методом взвешиванием образца до и после набухания.

Линейное расширение целлюлозы определяется по приращению высоты образцов целлюлозных добавок в воде и выражаемый в процентах. 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).

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



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

Рисунок 2.3. Модель приемного бункера для стабилизирующих добавок

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

3. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРОВАННОГО СОСТАВА ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

3.1 Производственные составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей

Асфальтобетон, используемый для строительства верхних слоев дорожных покрытий, должен обладать высокими эксплуатационными характеристиками: водостойкостью, морозостойкостью, устойчивостью к деформациям при различных температурах, износостойкостью, шероховатостью. Помимо этого, асфальтобетонные покрытия должны иметь высокие показатели прочности, теплостойкости, сдвигоустойчивости.

Щебеночно-мастичные асфальтобетоны должны удовлетворять вышеуказанным требованиям и обладать высокими эксплуатационными и физико-механическими показателями.

При подборе оптимальных составов ЩМАС, выполняются исследования, которые заключаются: в подборе и оптимизации минеральной части щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей согласно кривым гранулометрических составов, рекомендуемых ГОСТ 31015-2002; в подборе процентного содержания битума; подборе оптимального количества стабилизирующей добавки для ЩМАС.

Технология производства щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси аналогична приготовлению обычных асфальтобетонных смесей и осуществляется в стандартных асфальтосмесительных установках, дополнительно оборудованных системой подачи стабилизирующей добавки. Подбор щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси необходимо осуществлять с учетом климатических особенностей региона, где будет эксплуатироваться покрытие, интенсивности движения и проектной толщины слоя ЩМА для конкретной автомагистрали.

Расчет оптимального состава ЩМА проводится в три этапа:

- Сначала исследуют качество и состав исходных материалов на соответствие их характеристик проектным требованиям.
- Затем выбирают оптимальное соотношение различных компонентов смеси,

при котором свойства произведенного асфальтобетона будут соответствовать
ТУ5718.030.01393697–99.

– После этого проводят испытания проб полученного продукта на соответствие заявленным нормам и выполняют корректировку состава в смесительных установках.

Щебеночно-мастичные растворы готовят в стандартных смесителях принудительного действия, путем перемешивания в нагретом состоянии песка, щебня, минерального порошка, нефтяного битума и требуемых стабилизирующих добавок, представленных в виде спрессованных волокон или полимеров.

Температура готовки массы ЩМА выше на 25 – 35 градусов больше обычных растворов. Повышенная температура требуется, потому что в отличие от обычного асфальта, смесь ложится более тонким слоем.

Технологическая инструкция приготовления щебеночно-мастичной смеси содержит следующие операции:

– Подготовка минеральных материалов (сушка и прогрев до необходимой температуры, дозирование).

– Дозирование холодных стабилизирующей добавки и минерального порошка с последующей подачей их в смеситель. Установка дозирования целлюлозной добавки — это отдельный агрегат в составе АБЗ и обычно поставляется отдельно.

– Разогрев нефтяного битума до рабочей температуры и введение модифицирующих добавок.

– Перемешивание сухих минеральных материалов, холодной стабилизирующей добавки и минерального порошка.

– Подача горячего битума и перемешивание состава.

– Выгрузка готовой ЩМА смеси в автомобили-самосвалы или накопительный бункер.

Нагретые минеральные заполнители подаются в дозирующее устройство, где с помощью виброгрохотов делятся на фракции и затем складываются в бункера для хранения горячих материалов. Из них подготовленные заполнители поступают в

бункер-дозатор, работающий по весовому принципу. Минеральный порошок дозируется в общем весовом дозаторе при помощи отдельных высокоточных весов. Отмеренное количество стабилизирующей добавки вводят в смеситель на разогретый до нужной температуры каменный материал или совместно с минеральным порошком, предусматривая при этом перемешивание сухой смеси в мешалках принудительного действия в течение 15–20 секунд. При последующем заключительном перемешивании смеси, в присутствии горячего битума, стабилизирующая добавка в течение 10–20 секунд равномерно расходится по всему объему вяжущего.

В работе были приняты два производственных состава ЩМА, применяемых на заводе – марки ЩМА-10 и ЩМА-15. Гранулометрические составы исследуемых ЩМА представлены в таблицах 3.1, 3.2.

Как правило, модификация ЩМА заключается в подборе и оптимизации минеральной части щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей согласно кривым гранулометрических составов, рекомендуемых ГОСТ 31015-2002, в подборе процентного содержания битума или использовании стабилизирующей добавки для ЩМАС. Наиболее эффективным способом улучшения характеристик ЩМА на взгляд автора является использование добавок.

Метод модификации в данной работе заключался в выборе оптимальной добавки или ее комплекса для получения высоких характеристик ЩМА. В работе исследовали следующие асфальтовяжущие для ЩМАС – Битум + активированный минеральный порошок; битум + активированный минеральный порошок, модифицированный добавками. Для исследуемых асфальтовяжущих определяли следующие свойства: пенетрацию на автоматическом пенетрометре марки ПН-10Б согласно (ГОСТ 11501-78), температуру размягчения по КиШ на приборе кольцо и шар марки КиШ-20М4 (ГОСТ 11506-73).

Разработка модифицированных добавками составов ЩМА-10 и ЩМА-15, велась по следующим двум схемам:

- 1) добавки вводили в состав ЩМА по отдельности
- 2) добавки вводили в ЩМА совместно

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. Процент добавок брали в одном диапазоне, для оценки влияния в большей степени самой добавки, а не ее количества. Зерновой состав минеральной части ЩМА-15 соответствовал ГОСТ 31015-2002.

Для испытаний приготавливалась щебёночно-мастичная асфальтобетонная смесь ЩМА-10, ЩМА-15, использовался битум БНД 60/90 Московского НПЗ, минеральный порошок ОАО «Доломит», щебень гранитный фракции 10-15 мм, 5-10 мм ООО «ЧелСИ», отсев гранитный фракции 0-5 мм производства ООО «ЧелСИ». Состав ЩМА-15 был подобран с использованием вышеназванных материалов.

Таблица 3.1 – Зерновой состав ЩМА-15

Наименование материалов	Щебень гранитный фр. 10-15мм	Щебень гранитный фр. 5-10мм	Отсев гранитный фр. 0-5мм	Минеральный порошок	Сумма процентов	Требование ГОСТ 31015-2002
Содерже-е, %	42	30	15	12,58	100	min
Содержание зерен мельче данного размера, (мм), в % по массе						
40	42,0	30,0	15,0	12,58	100,0	0
20	42,0	30,0	15,0	12,58	100,0	100,0
15	38,2	30,0	15,0	12,58	95,78	90,0
10	3,2	27,4	14,9	12,58	58,08	40,0
5	0,5	2,5	13,8	12,58	29,38	25,0
2,5	0,3	0,3	9,6	12,58	21,08	15,0
1,25	0,3	0,3	7,9	12,58	21,08	15,0
0,63	0,3	0,3	5,9	12,58	19,5	12,0
0,315	0,3	0,3	4,2	12,4	17,2	10,0
0,16	0,3	0,3	3,0	11,7	15,0	9,0
0,071	0,3	0,3	3,0	10,1	13,7	9,0

Таблица 3.2 - Зерновой состав смеси ЦМА-10

Наимен-е материалов	Содержание, %	Содержание зерен мельче данного размера, (мм), в % по массе										
		40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,6	0,32	0,2	0,07
Щебень гранитный фр. 5-10мм	74	74	74	74	72	9,6	2,4	0,3	0	0	0	0
Отсев гранитный фр. 0-5мм	13	13	13	13	13	12,3	9,8	6,9	5,2	3,8	2,7	1,5
Минеральный порошок	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12,4	11,5	9,9
Сумма полных проходов	100	100	100	95,8	58,1	29,4	23	21,1	20	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

Для сравнения приготавливали и испытывали смеси стандартных составов ЩМА, а также с использованием стабилизирующих добавок:

- Состав ЩМА № 1 включал Viator 66 + РТЭП +ХРИЗОТОП;
- Состав ЩМА № 2 включалстабилизирующую добавку РТЭП;
- Состав ЩМА № 3 включалстабилизирующую добавку ХРИЗОТОП;
- Состав ЩМА № 4 включалстабилизирующую добавкуViator 66;
- Состав ЩМА № 5 представлял собой бездобавочный контрольный состав.

Свойства ЩМА-10 и ЩМА-15 различных составов приведены в таблицах 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3 – Свойства ЩМА-10 различных составов

Наимен-е показателя	Состав № 1 Viator 66 + РТЭП + ХРИЗОТОП	Состав № 2 Стабилизир добавка РТЭП	Состав № 3 Стабилизир добавка ХРИЗОТОП	Состав № 4 Стабилизир добавка Viator 66	Состав № 5 Без добавок
Водостойкость, k_v	0,96	0,94	0,92	0,9	0,91
Водостойкость при длит.водонасыщении, $k_{вд}$	0,86	0,81	0,78	0,79	0,76
Показатель стекания вяжущего, %	0,12	0,11	0,13	0,1	0,11
Коэффициент внутр. трения, $tg\phi$	0,94	0,93	0,93	0,94	0,91
Сцепление при сдвиге $t=50\text{ }^\circ\text{C}$, Сп, МПа	0,26	0,22	0,23	0,24	0,19
Предел прочности при $0\text{ }^\circ\text{C}$, при $20\text{ }^\circ\text{C}$, при $50\text{ }^\circ\text{C}$	8,34	7,1	7,4	7,6	6,5
	4,47	3,64	4,02	4,2	3,2
	1,88	1,34	1,46	1,8	1,23

Таблица 3.4 – Свойства ЩМА-15 различных составов

Наименование показателя	Состав № 6 Viator 66 + РТЭП + ХРИЗОТОП	Состав № 7 РТЭП	Состав № 8 ХРИЗОТОП	Состав № 9 Viator 66	Состав № 10 Без добавок
Водостойкость, k_b	0,98	0,94	0,93	0,92	0,9
Водостойкость при длит.водонасыщении, $k_{вд}$	0,9	0,83	0,79	0,82	0,82
Показатель стекания вяжущего, В, %:	0,11	0,1	0,13	0,09	0,1
Коэффициент внутр. трения, $tg\phi$	0,95	0,94	0,94	0,95	0,88
Сцепление при сдвиге $t= 50\text{ }^\circ\text{C}$, $C\tau$, МПа	0,28	0,23	0,22	0,24	0,21
Предел прочности при сжатии, МПа:					
при $0\text{ }^\circ\text{C}$,	9,11	7,69	7,43	7,8	7,32
при $20\text{ }^\circ\text{C}$,	4,67	3,92	4,12	4,3	3,87
при $50\text{ }^\circ\text{C}$	1,91	1,49	1,52	1,85	1,44

Анализируя полученные результаты предварительных исследований, выявлено, что наиболее высокими показателями пределов прочности при сжатии, водостойкости и сдвигоустойчивости обладают ЩМА, модифицированные тремя добавками. Прочность и водостойкость образцов, модифицированных ЩМА лишь одной из добавок значительно ниже.

В ходе анализа экспериментальных исследований за оптимальный вариант были приняты составы № 1 и № 6 (см. табл. 3.3 и 3.4), соответственно, в которых применяются три стабилизирующие добавки. Использование в ЩМА каждой из добавок по отдельности или без добавок менее эффективны вследствие значительного снижения прочности, сдвигоустойчивости, водостойкости ЩМА.

Одним из важнейших свойств асфальтобетонных покрытий является их устойчивость к преждевременному износу. Износ автомобильных дорог приводит к истиранию покрытия, снижению эксплуатационных качеств, преждевременного разрушения дорожного полотна, снижению сцепления покрытия дороги с колесом автомобиля.

Износостойкости разработанных ЩМА проводили путем оценки истираемости образцов ШМА-10 и ЩМА-15, модифицированных стабилизирующими добавками, на приборе ЛКИ-3М. В качестве абразивного материала применяли смесь природного песка и дробленого песка. Общий путь, который проходил образец, составил 600 м. Согласно испытаниям потери массы образцов после истирания для ЩМА-10 и ЩМА-15, модифицированных тремя добавками сразу, составили 0,22 г/см² и 0,18 г/см² соответственно, а для стандартных ЩМА-10 и ЩМА-15 со стабилизирующей добавкой Viator-66 – 0,23 г/см² и 0,20 г/см² соответственно. В результате испытаний установлена высокая истираемость и износостойкость образцов ЩМА, и выявлено, что применение в составах ЩМАС как одной, так и трех добавок не оказывает существенного влияния на износостойкость ЩМА.

Исследование адсорбционной активности и взаимодействие модифицирующих добавок с битумом изучалась в работах Высоцкой М.А., Кузнецова Д.К., Солдатова А.А.. В результате исследований были выявлены высокие адсорбционные показатели добавок к битуму. Модификация асфальтовяжущего различными модифицирующими добавками позволяет увеличить его вязкость и температуру размягчения, что объясняется хорошей адсорбционной и структурирующей способностью этих материалов.

С целью выявления возможности использования добавок в ЩМА исследовали свойства асфальтовяжущих, модифицированных тремя добавками, для сравнения определяли свойства асфальтовяжущих на стандартном активированном минеральном порошке. Были приняты следующие составы асфальтовяжущих: битум и активированный известняковый минеральный порошок; битум и активированный известняковый минеральный порошок, модифицированный Viator-66, РТЭП, ХРИЗОТОП. Определяли пенетрацию и температуру размягчения при оптимальном содержании добавок. Результаты испытаний приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Свойства модифицированных асфальтовяжущих

Вид асфальтовяжущего	Глубина проникания	Температура
08.03.01.2020.075.00.00.ПЗ		Лист 47

	иглы, 0,1 мм		размягчения по кольцу и шару, °С
	при 0 °С	при 25 °С	
Битум БНД 60/90 и активированный известняковый минеральный порошок	20	51	68,5
Битум БНД 60/90 и активированный известняковый минеральный порошок, модифицированный РТЭП +Viator 66 + ХРИЗОТОП	20	43	76,4

Таким образом, принимаем смесь со следующим составом: гранитный щебень фр. 5-10 мм; 5-15 – 74%; 72%, отсев гранитный фр. 0-5 мм – 13%; 15%, минеральный порошок – 13%, битум – 5,6%, стабилизирующие добавки: РТЭП – 0,32% от массы минеральной части, ХРИЗОТОП – 0,42% от массы минеральной части, Viator-66 – 0,2% или 0,42%, соответственно 0,62% от массы минеральной части.

3.2 Влияние добавок VIATOR-66, ХРИЗОТОП, РТЭП на свойства битума

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

Таблица 3.6–Показатели свойств битума с добавками

Наименование показателя, единица измерения	Содержание добавки в битуме, %	Название добавки		
		Хризотоп	РТЭП	Viator 66
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25°С 0 °С	0	-	-	-
	2	47,0	71,3	56,4
		23,4	30,2	20,2
	4	40,2	51,0	43,2
		25,8	32,6	23,3
	5	37,4	42,0	33,6
25,3		30,0	22,3	
7	36,3	38,1	32,2	
	23,3	28,4	24,8	

Окончание таблицы 3.6

Наименование показателя, единица измерения	Содержание добавки в битуме, %	Хризотоп	РТЭП	Viator 66
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	0	-	-	-
	2	64	60	50
	4	67	64,5	62
	5	75	65	65
	7	78	76	70
Растяжимость, см при при 25°С 0 °С	0	-	-	-
	2	43,3	77,7	38,4
		3,5	6,0	5,1
	4	30,5	48,4	29,4
		4,0	6,3	5,6
	5	27,2	30,1	23,5
		4,2	7,2	5,5
7	5,3	20,3	5,0	
	3,6	6,7	5,2	
Температура хрупкости, °С	0	-	-	-
	2	-18	-21	-18
	4	-25	-22	-22
	5	-22	-21	-25
	7	-19	-20	-27

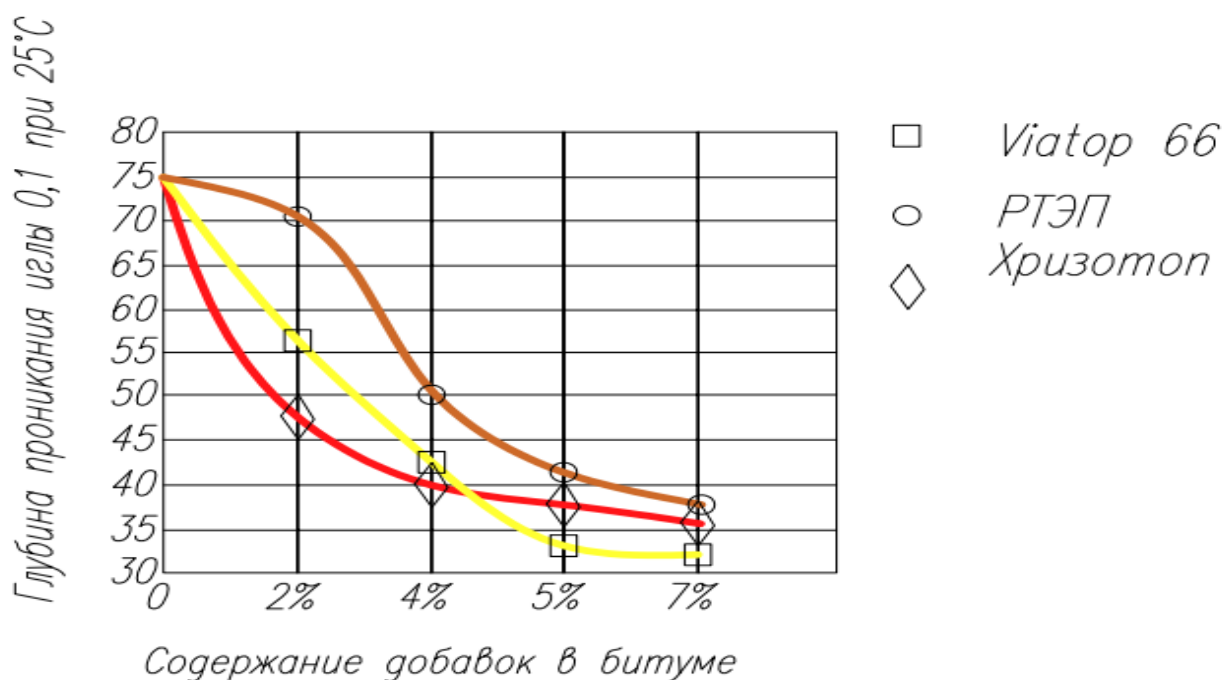


Рисунок 3.1 – Зависимость значений глубины проникания иглы в битум при 25°С от содержания добавки в нем

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), Viatop-66 – 56,4 (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% РТЭП имеет самое высокое значение проникания иглы –50 (0,1 мм), остальные добавки находятся в диапазоне 36,7 – 45,0 (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, РТЭП – 38,1 (0,1 мм), Хризотоп имеет – 36,3 (0,1 мм). У Viatop-66 самый низкий показатель глубины проникания иглы – 32,2 (0,1 мм), что на 57,5% меньше чем у битума без добавок.

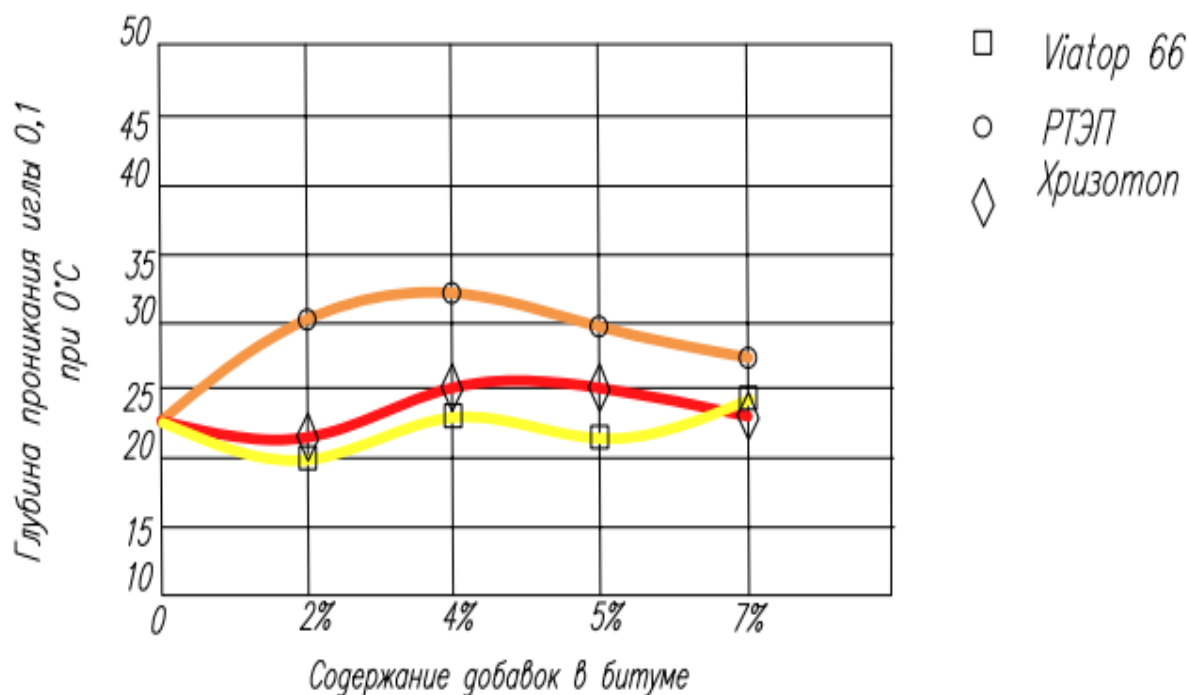


Рисунок 3.2 – Зависимость значений глубины проникания иглы в битум при 0°С от содержания добавки в нем

На рисунке 3.2 приведена зависимость значений глубины проникания иглы в битум с добавками при 0°С от содержания добавок в нем. Глубина проникания иглы при 0°С при 2% стабилизирующей добавки равна для Хризотоп – 23,4 (0,1 мм), Viatop-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 RTЭП – 32,6 (0,1 мм) минимальное и Viatop-66 – 23,3 (0,1 мм), Хризотоп – 25,8 (0,1 мм). При 5% значения находятся в пределах от 22,3 (0,1 мм) – Viatop-66 до 30,0 (0,1 мм) – RTЭП. При 7% Хризотоп имеет 23,3 (0,1 мм), RTЭП – 28,4 (0,1 мм), и Viatop-66 – 24,8 (0,1 мм). Добавка RTЭП имеет высокий показатель глубины проникания иглы из-за структурирования битума.

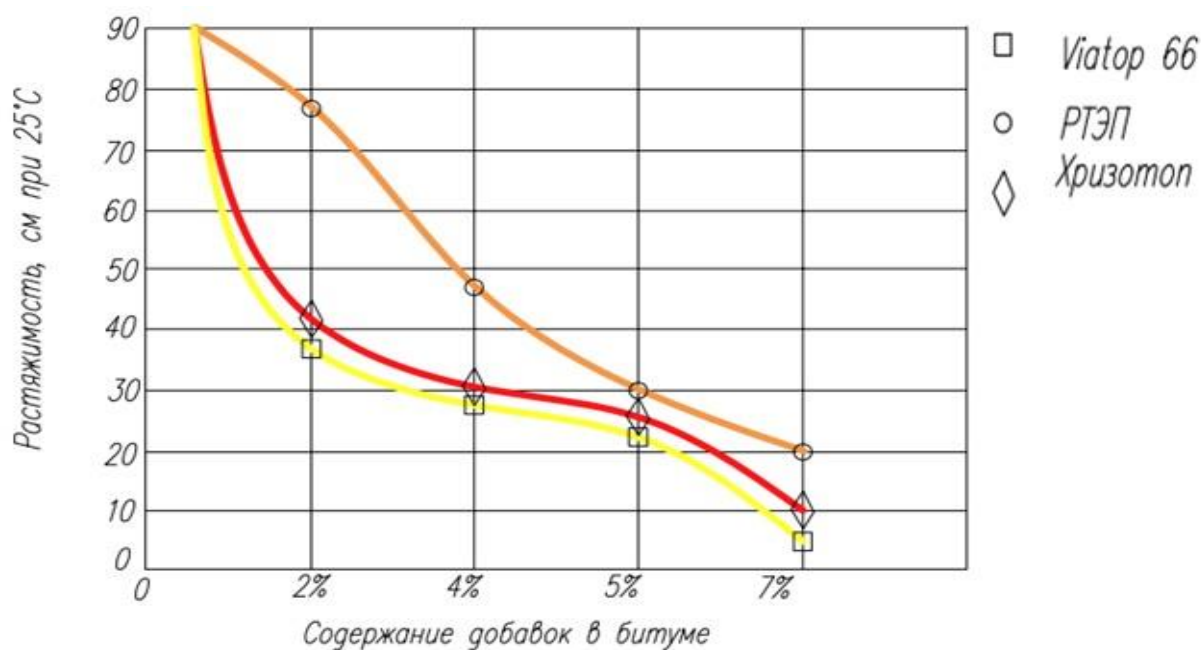


Рисунок 3.3 – Зависимость значений растяжимости битума при 25°С от содержания добавки в нем

На рисунке 3.3 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, Viatop-66 – 38,4 см, Хризотол – 43,3 см. При дальнейшем увеличении содержания добавки жесткость битума повышается еще больше. При 4% минимальное значение имеет Viatop-66 – 29,4 см, а максимальное РТЭП – 48,4 см. При добавке Хризотол 5% растяжимость имеет значение 27,2 см, а при 7% – 5,3 см. Минимальный показатель растяжимости при 5% и 7% имеет Viatop-66 – 22 и 5 см соответственно.

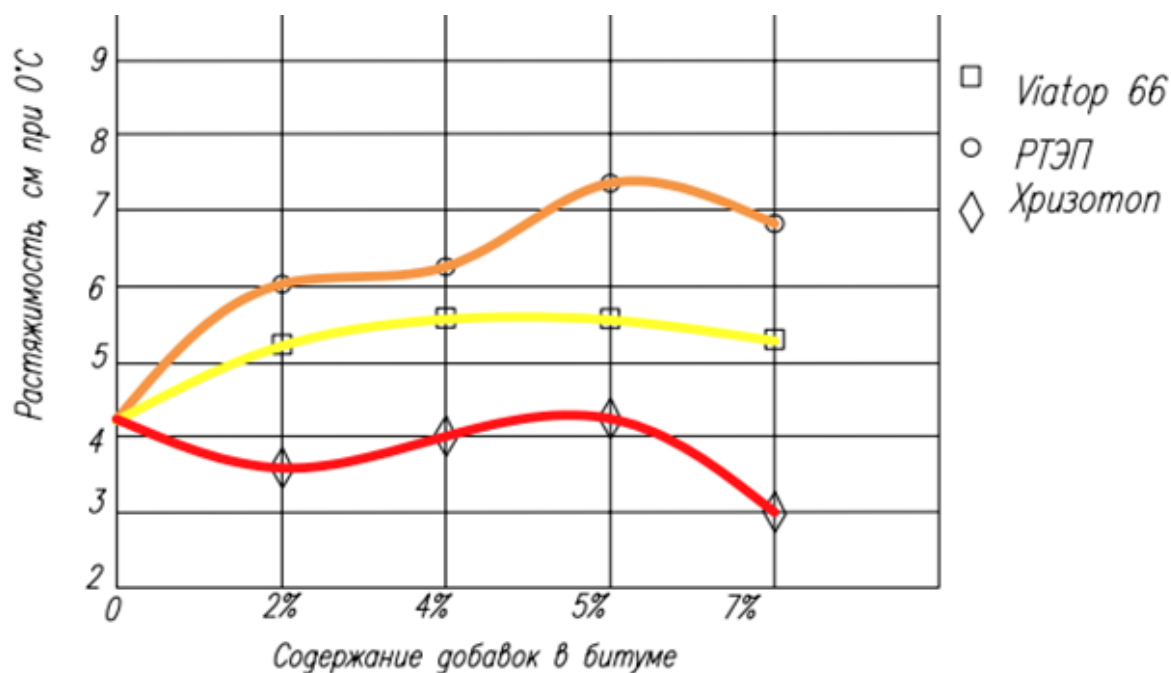


Рисунок 3.4 – Зависимость значений растяжимости битума при 0°С от содержания добавки в нем

На рисунке 3.4 приведена зависимость значений растяжимости битума при 0°С от содержания добавки в нем. Растяжимость битума с различными добавками при 0°С 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.

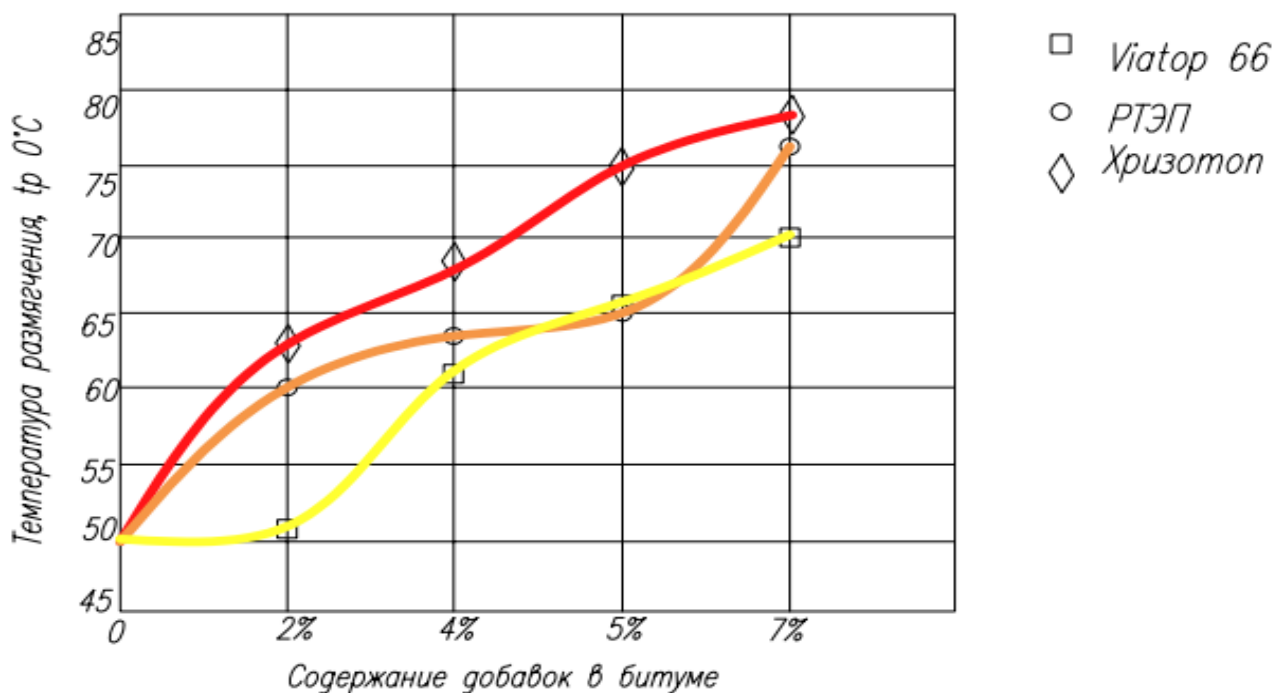


Рисунок 3.5 – Зависимость значений температуры размягчения битума от количества добавки в нем

На рисунке 3.5 приведена зависимость значений температуры размягчения битума от количества добавки в нем. Температура размягчения по кольцу и шару (T_r) для битума без добавок составляет 50°C . С введением 2% Хризотоп T_r битума увеличивается до 64°C , РТЭП до 50°C , Viatop-66 до 50°C . При содержании 4% добавок значения T_r находятся в диапазоне от 63°C – Viatop 66 до 67°C – Хризотоп. Дальнейшее повышение концентрации добавок приводит к увеличению температуры размягчения. Максимальной T_r при 5% обладает битум с Хризотоп – 75°C , РТЭП и Viatop-66 – 65°C . При 7% максимальное значение T_r у битума Хризотоп – 78°C , а минимальное у битума с Viatop-66 – 70°C . Таким образом, с увеличением содержания всех добавок температура размягчения увеличивается, т.е. увеличивается вязкость и прочность структуры битума.

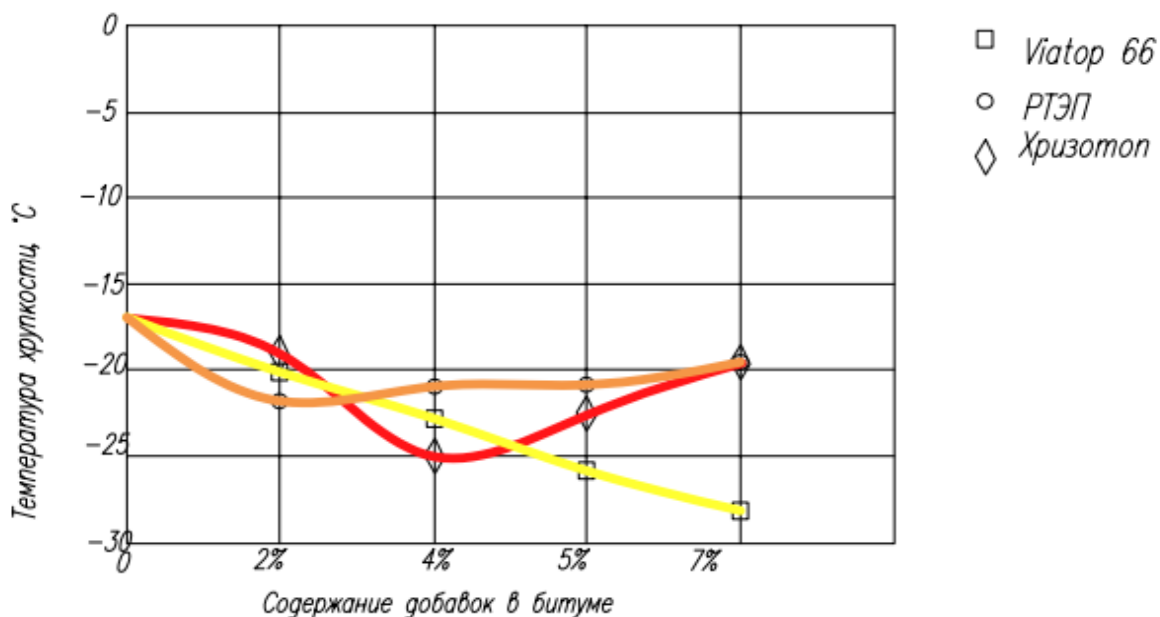


Рисунок 3.6 – Зависимость значений температуры хрупкости битума от количества добавки в нем

На рисунке 3.6 приведена зависимость значений температуры хрупкости битума от количества добавки в нем. Температура хрупкости битума без добавок составляет -17°C , с введением 2% добавки изменяется, так для Хризотоп – (-18°C) , РТЭП – (-21°C) , Viatop-66 45 – (-18°C) . При 4% минимальное значение у добавки РТЭП – (-18°C) , а максимальное у Хризотоп – (-25°C) . При большем количестве добавки 5% показатель хрупкости для Хризотоп – (-22°C) , РТЭП – (-21°C) , Viatop 66 – (-25°C) . При 7% концентрации добавки в битуме температура хрупкости продолжает понижаться, так у Viatop-66 – (-27°C) . Незначительное повышение показателя хрупкости происходит у РТЭП – (-20°C) , Хризотоп – (-19°C) .

3.3 Оценка битумоудерживающей способности добавок

При взаимодействии битума с минеральными частицами менее $0,071\text{ мкм}$ 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. 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%.

В ЦМАС битумоудерживающая способность определяется по показателю стекания смеси при 170°C, который характеризует степень налипания мастики или асфальтовяжущего на стенки стеклянного стакана. Введение стабилизирующих добавок в ЦМАС уменьшает налипание и показатель стекания. Битумоемкость 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.

Для оценки битумоудерживающей способности изготавливалось 4 партии образцов асфальтовяжущего с различным количеством битума в смеси: без стабилизирующих добавок, с добавками VIATOR-66, 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. 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°Сасфальтовяжущего от количества битума приведены на рис. 3.7–3.9. 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.

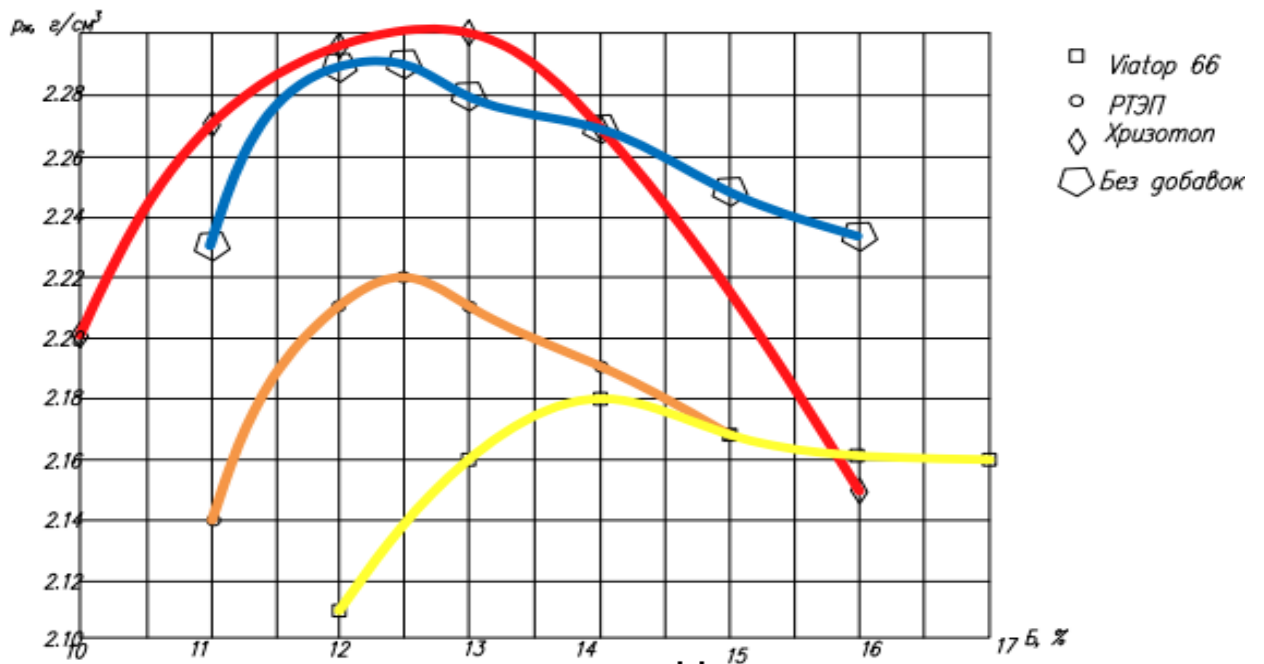


Рисунок 3.7 – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего от количества битума

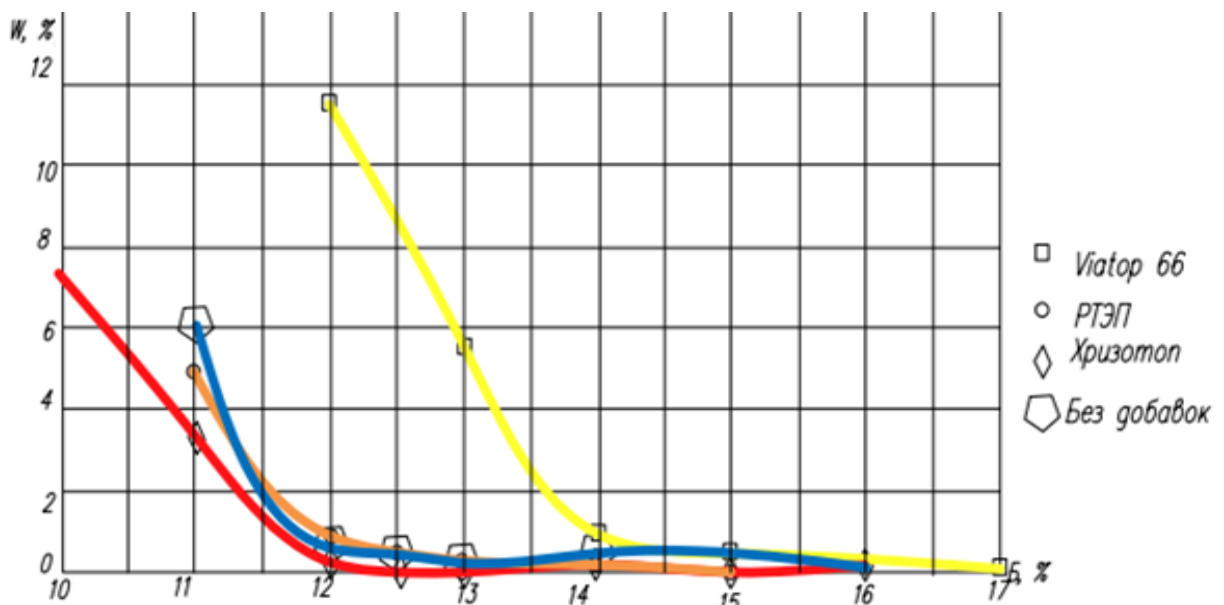


Рисунок 3.8 – Зависимость водонасыщения асфальтовяжущего от количества битума

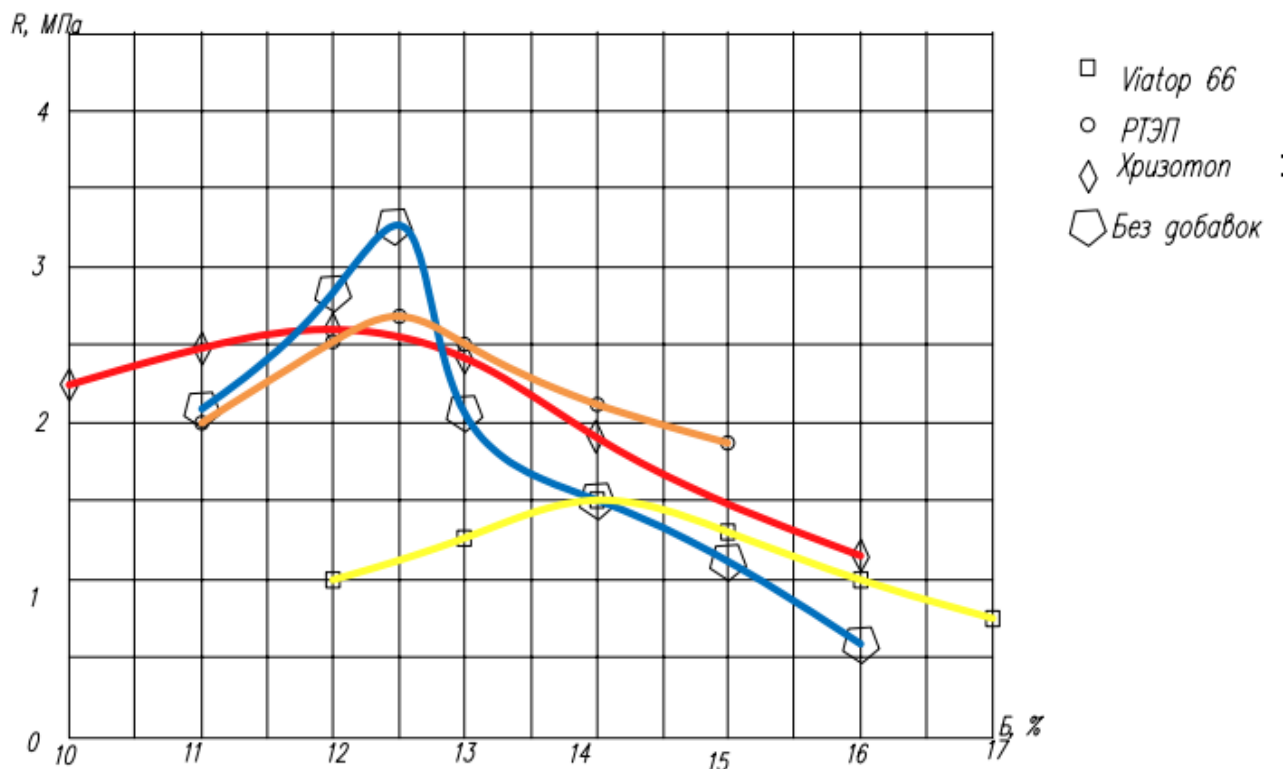


Рисунок 3.9 – Зависимость прочности при сжатии при 50°Сасфальтовяжущего от количества битума

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%.

Результаты определения физико-механических свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры со стабилизирующими добавками представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Показатели физико-механических свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры со стабилизирующими добавками

Состав асфальтовяжущего, %	Физико-механические показатели						Водостойкость
	Средняя Плотность, г/см ³	Водо-насыщение, в % по объёму	Предел прочности при сжатии, (МПа)				
			при 20°С в водонасыщ состоянии	при 20°С	при 50°С	при 0°С	
Мин. порошок – 100%, битум - 12,4% от массы мин. части	2,29	0,09	4,36	6,68	1,97	9,94	0,65
Мин. порошок – 97%, VIATOR 66 – 3%, битум – 14% от массы мин. части	2,18	0,63	3,13	3,65	1,47	6,37	0,86
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
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/см³. При введении 3% РТЭП средняя плотность снижается до 2,22 г/см³, а с добавкой Viator-66 до 2,18 г/см³. При введении 3% добавки Хризотоп средняя плотность повышается до 2,30 г/см³. 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 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 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.

3.4 Выводы по 3 главе

В результате проведенных исследований и в соответствии с нормативной документацией, были выбраны оптимальные дозировки стабилизирующих добавок для производственных составов ЩМА. Исходя из результатов исследования, был выбран вариант с тремя модифицирующими добавками как самый эффективный.

Установлено, что использование различных стабилизирующих добавок в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей с постоянным составом не приводит к значительным изменениям физико-механических свойств. Существенно может изменяться показатель стекания, т.е. битумоудерживающая способность ЩМА. Была проведена апробация на заводе ООО «ЧелСИ», в ходе которой испытывался полученный состав ЩМАС, в результате определили повышение эффективности смеси и увеличение физико-механических свойств. К

такому же выводу пришли и на заводе, закупив те добавки, которые мы рассматривали в рамках данного исследования с целью расширения ассортимента продукции и получения наиболее эффективного ЩМА.

4. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Щебеночно-мастичный асфальтобетон предусматривает его укладку тонкими слоями. Поэтому ЦМА 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 4.1 и 4.2 рассчитана стоимость устройства ЦМА-10 с добавками VIATOR-66, ХРИЗОТОП и РТЭП.

Таблица 4.1–Стоимость ЩМА-10 с добавкой Viator-66

Шифр материала	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
27-10-004-3	Приготовление мелкозернистой плотной (с плотностью каменных материалов 3 т/м3 и более) смеси	100 т	1	41179,45	217,09	16870,91	1360,87	24091,45	41179	217	16871	1361	24091
	Накладные расходы (НР) :		66	%					1041				
	Сметная прибыль (СП) : 65% *0.8 =		52	%					821				
	Итого с НР и СП								43041				
Код ресурса	Наименование учтенного ресурса	Ед. изм.	Норматив	Поправка	Расход	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				
120651	Заводы асфальтобетонные с дистанционным управлением 50 т/ч	маш.-ч	5,63		5,63	5,63	2943,37	16571,17	16571,17				
							235,87	1327,95	1327,95				
							Итого:	16870,91	16871				
								1360,87	1361				
101-1555	Битумы нефтяные дорожные марки БНД-60/90, БНД 90/130, сорт высший	т	6,5		6,5	6,5	1780,62	11574,03	11574,03				
101-1804	Порошок минеральный	т	15		15	15	146,02	2190,30	2190,30				
101-2193	Волокноцеллюлозного типа «Виатоп-66»	т	0,35		0,35	0,35	6556,77	2294,87	2294,87				
408-0005	Щебень из природного камня для строительных работ марка 1200,	м3	31,25		31,25	31,25	143,00	4468,75	4468,75				

Окончание таблицы 4.1

408-0006	Щебень из природного камня для строительных работ марка 1200, фракция 10- 20 мм	m3	12,5		12,5	12,5	132,00	1 650,00	1 650,00				
408-0061	Материалы из отсеков дробления осадочных горных пород для строительных работ I класса, фракция до 10 мм, марка 800	m3	7,58		7,58	7,58	252,44	1 913,50	1 913,50				
							того:	24 091,45	25 091				
сцп3-3-15-1	Перевозка грузов автомобилями-самосвалами (работающими вне карьеров) на расстояние 15 км (Класс груза 1)	t	100	20,22	0	20,22	0	0	2 022	0	2 022	0	0
	Итого по локальной смете:								43 041	217	18913	136	24091
	Накладные расходы (сумма)								1 041				
	Сметная прибыль (сумма)								821				
	Итого с НР и СП								45 063				
	Коэффициент перевода в тек. Цены кв. 2020 г								4,92				
									221 710				
	на 2020								1,073				
									237 895				
	стоим. 1 тн								2 378,95				

Таблица 4.2–Стоимость ЩМА-10 с добавками Viator-66+Хризотоп+РТЭП

Шифр но матива	Наименование работ и затрат	Еди ниц из мер ени я	Коли честв о	Цена за единицу, руб.				Стоимость, руб					
				Всего	в том числе:			Всего	в том числе:				
					ОЗП	Экспл. машин	вт.ч. з/п маш.		Материалы	ОЗ П	Экс пл. маш ин	вт.ч. з/п маш.	Материалы
27-10-004-3	Приготовление мелкозернистой плотной (с плотностью каменных материалов 3 т/м3 и более) смеси щебнемастичной асфальтобетонной	100 t	1	42825,3	217,09	16870,91	1360,87	28032,17	45 120	217	16871	1361	28 032
	Накладные расходы (НР) :		66	%					1 041				
	Сметная прибыль (СП) : 65% *0.8 =		52	%					821				
	Итого с НР и СП								46 982				
Код ресурса	Наименование учтенного ресурса	Ед. изм.	Норматив	Поправка	Расход	д. 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				
120651	Заводы асфальтобетонные с дистанционным управлением 50 т/ч	маш.-ч	5,63		5,63	5,63	2943,37	16571,17	16 571,17				
							235,87	1327,95	1 327,95				
							Итого:	16870,91	16 871				
								1360,87	1 361				
101-1555	Битумы нефтяные дорожные марки БНД- 60/90, БНД 90/130, сорт высший	t	6,5		6,5	6,5	1780,62	11574,03	11 574,03				
101-1804	Порошок минеральный	t	15		15	15	146,02	2190,30	2 190,30				
101-2193	Волокно целлюлозное типа Хризотоп	t	0,35		0,35	0,35	6556,77	2294,87	2 294,87				
101-2193	Хризотоп	t	0,35		0,35	0,35	6556,77	2294,87	2 294,87				
101-2194	Добавка РТЭП	t	0,05		0,05	0,05	32917,00	1645,85	1 645,85				

Окончание таблицы 4.2

408-0005	Щебень из природного камня для строительных работ марка 1200, фракция 5(3)-10 мм	m 3	31,25		31,25	31,25	143,00	4468,75	4468,75				
408-0006	Щебень из природного камня для строительных работ марка 1200, фракция 10- 20 мм	m 3	12,5		12,5	12,5	132,00	1650,00	1650,00				
408-0061	Материалы из отсевов дробления осадочных горных пород для строительных работ I класса, фракция до 10 мм, марка 800	m 3	7,58		7,58	7,58	252,44	1913,50	1913,50				
							ИТОГО:	28032,17	28032				
сцп3-3-15-1	Перевозка грузов автомобилями-самосвалами (работающими вне карьеров) на расстояние 15 км (Класс груза 1)	t	100	20,22	0	20,22	0	0	2022	0	2022	0	0
	Итого по локальному смете:								46982	217	18893	1361	28032
	Накладные расходы (сумма)								1041				
	Сметная прибыль (сумма)								821				
	Итого с НР и СП								49004				
	Коэффициент перевода в тек. Цены 3 кв. 2020 г.								4,92				
									24100				
	на 2020								1,073				
									258700				
	стоим. 1 тн								2587,00				

Использование дополнительно добавок РТЭП и Хризотоп 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, РТЭП и Хризотоп при приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси для устройства асфальтобетонного покрытия. Применение ЩМА с добавками VIATOR-66, РТЭП и Хризотоп 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 4.3–Основные показатели для расчета

Показатели	Единиц а измере ния	Устройство покрытия	
		с ЩМА-10 с VIATOR- 66	с ЩМА-10 с VIATOR- 66+ РТЭП + Хризотоп
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	руб.	2 580 000	1 720 000
4. Годовые затраты в сфере эксплуатации дорожного покрытия	руб.	230 000	175 000
5. Сроки службы покрытия	год	20	25

Годовой экономический эффект от применения дорожного покрытия из ЩМА с добавками VIATOR-66, РТЭП, Хризотоп определяется по формуле

$$\mathcal{E} = [(Z_1 + Z_{c1})\phi + \mathcal{E}_3 - (Z_2 + Z_{c2})] A_2 \quad (4.1)$$

где 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:

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

Экономический эффект в сфере эксплуатации определяется по формуле (4.2)

$$\mathcal{E}_3 = \frac{(И1-И2)}{P2+Eн}; \quad (4.2)$$

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

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

Экономический эффект в сфере эксплуатации от совместного применения добавок VIATOR-66, РТЭП, Хризотоппри приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси для устройства асфальтобетонного покрытия составляет 276,1 тыс. руб.

Таблица 4.4 Калькуляция на производство и укладку 100 м² покрытия (толщина слоя 4 см) ЩМА-10 без модификации и модифицированным с тремя добавками

Показатели	Единиц а измере ния	Устройство покрытия	
		Без модификац ии	с ЩМА-10 с VIATOR- 66+РТЭП+ Хризотоп
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.	13891	12754
3. Капитальные вложения в производственные фонды строительной организации	руб.	2 820 000	1 720 000
4. Годовые затраты в сфере эксплуатации дорожного покрытия	руб.	254 000	175 000
5. Сроки службы покрытия	год	15	25
6. Себестоимость ЩМА-10	руб/т	2179,0	4940,0

Годовой экономический эффект от применения дорожного покрытия из ЩМА с добавками VIATOR 66, РТЭП, Хризотоп определяется по формуле

$$\mathcal{E} = [(З_1 + З_{с1})\phi + \mathcal{E}_3 - (З_2 + З_{с2})] A_2 \quad (4.1)$$

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

$$З_{с1} = 13891 + 0,15 \cdot 2820 = 14314 \text{ руб.};$$

$$З_{с2} = 12754 + 0,15 \cdot 1720 = 13012 \text{ руб.}$$

Коэффициент учета изменения сроков службы составит:

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

Экономический эффект в сфере эксплуатации определяется по формуле (4.2)

$$\mathcal{E}_3 = \frac{(И1-И2)}{P2+Eн}; \quad (4.2)$$

$$\mathcal{E}_3 = \frac{(254-175)}{0,1602} = 493,1 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E} = (14314 \cdot 1,13 + 493,1 - 13012) \cdot 100 = 365,6 \text{ тыс. руб.}$$

Экономический эффект в сфере эксплуатации от совместного применения добавок VIATOR-66, РТЭП, Хризотоп при приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси в сравнении со смесью без добавок для устройства асфальтобетонного покрытия составляет 365,6 тыс руб.

4.1 Выводы по главе 4

Рассчитан экономический эффект в сфере эксплуатации от совместного применения добавок VIATOR-66, РТЭП, Хризотоп при приготовлении щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси для устройства асфальтобетонного покрытия.

ГЛАВА 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Оснащение предприятий передовой механикой позволяет переходить к комплексной механизации и автоматизации тяжелых и трудоемких процессов, управлять механизмами, находясь в безопасной зоне [95].

На предприятии изучаются правила техники безопасности при работе на производстве.

Приказами по организации назначены лица, ответственные за обеспечение охраны труда в пределах порученных им участков работ, в том числе:

- в целом по организации - главный инженер;
- в структурном подразделении (асфальтобетонный завод) - начальник;
- на строительных участках - производители работ, мастера;
- при эксплуатации машин и оборудования - главный механик, зав. гаражом,

начальник РММ.

На предприятии охрана труда осуществляется по нескольким ступеням:

1-я ступень: мастера участков осуществляют:

- контроль организации работ в соответствии с проектами производства работ или технологическими картами и ознакомление рабочих с предусмотренными в них мероприятиями по безопасности труда;

- контроль применения в соответствии с назначением технологической оснастки, строительных машин, транспортных средств, энергетических установок и средств защиты работающих;

- инструктаж рабочих непосредственно на рабочем месте о безопасных методах и приемах выполнения работ с соответствующей записью об этом в специальном журнале учета инструктажа рабочих;

- контроль за чистотой и порядком на рабочих местах с ежедневной проверкой условий труда рабочих;

2-я ступень: производители работ осуществляют:

- общее руководство по организации охраны труда на участках;
- контроль за соблюдением работниками обязанностей по охране труда;

– контроль за своевременной подачей заявок на спецодежду и другие средства индивидуальной защиты и оснастки, необходимые для безопасного выполнения работ;

– контроль за применением технологической оснастки, средств защиты и санитарно-бытовых помещений, а также строительных машин, энергетических установок и транспортных средств;

– контроль за своевременным выполнением предписаний контролирующих органов по охране труда;

– своевременное сообщение вышестоящим органам о несчастных случаях, расследование их в установленном порядке.

3-я ступень: главный инженер осуществляет:

– контроль за соблюдением технологической дисциплины, выполнением строительных норм и правил, требований охраны труда и техники безопасности;

– организацию разработки и утверждения проектов производства работ или технологических карт на производство конкретных видов строительного- монтажных работ;

– обучение и проверку знаний работающих по безопасности труда [95-97].

На предприятии принят следующий порядок проведения инструктажа работников по охране труда. Вводный инструктаж проводит главный инженер организации. Проведение вводного инструктажа оформляется в регистрационном журнале. Лица, не прошедшие вводный инструктаж, к выполнению работ не допускаются.

Первичный инструктаж проводит мастер или производитель работ в подчинении которого находится инструктируемый рабочий. Проведение инструктажа оформляется в виде записи в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте.

Повторный инструктаж проходят все рабочие независимо от квалификации и стажа работы не реже одного раза в 3 месяца. Инструктаж и проверку полученных знаний проводит непосредственно руководитель работ, в подчинении которого находятся инструктируемые. Проведение повторного инструктажа оформляется в

том же журнале, где регистрировался первичный инструктаж на рабочем месте.

Внеплановый инструктаж проводится по распоряжению главного инженера при авариях, несчастных случаях руководителем работ аналогично тому как осуществляется повторный инструктаж.

В организации созданы условия для изучения работниками правил инструкций по охране труда. Комплект указанных документов, определяемый Госстроем России, имеется в каждом производственном подразделении и предоставляется работникам для самоподготовки. Однако мною было установлено, что отсутствует инструкция по охране труда для оператора АБЗ, поэтому предлагаю ее разработку [110].

Опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора АБЗ.

Химический фактор:

– углеводороды алифатические - 300 мг/м³ – среднесменная, 900 мг/м³ максимальная разовая

– бензапирен – 15*10⁻⁵ мг/м³ (среднесуточная ПДК) Аэрозоли:

– силикатосодержащие пыли, силикат, амосиликаты (цемент, глина) ПДК на высоте 1,6 м от поверхности земли - 0,5 мг\м³

Шум: выполнение всех видов работ на рабочих местах в производственных помещениях и на территории завода, шум оказывает вредные факторы на жизнедеятельность человека - 80дБА[98].

Микроклимат: скорость движения воздуха – 0,2-0,5 м/с (оптимальная 0,2 м/с), температура воздуха внутри производственного помещения (допустимая) – 19-25⁰С, влажность воздуха –40-55%.

Световая среда: при естественном и искусственном освещении, освещенности рабочей поверхности ниже требуемых норм световая среда становится опасной и вредной – минимальная освещенность - 200лк.

Тяжесть труда:

– физическая динамическая нагрузка, выраженная в единицах внешней механической работы за смену;

- подъем и перемещение тяжестей постоянно в течение рабочей смены;
- стереотипные рабочие движения при локальной нагрузке (при работе с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса);
- статическая нагрузка;
- периодическое, до 25 % времени смены нахождение в неудобной позе (работа с поворотом туловища, неудобным размещением конечностей) или фиксированной позе (невозможность изменения взаимного положения различных частей тела относительно друг друга);
- нахождения тела в позе «стоя» до 60 % времени смены. Напряженность труда:
 - интеллектуальные нагрузки: содержание работы, решение задач, восприятие сигналов и их оценка с последующей коррекцией действий и операций, работа по установленному графику с возможной его коррекцией по ходу деятельности;
 - сенсорные нагрузки: длительность сосредоточенного наблюдения, плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений в среднем за один час работы, число производственных объектов одновременного наблюдения, нагрузка на зрительный анализатор, работа с оптическими приборами, наблюдения за экранами видеотерминалов при буквенном и цифровом типе отображения информации, нагрузка на звуковой анализатор, нагрузка на звуковой аппарат;
 - эмоциональные нагрузки: степень ответственности, значимость ошибки;
 - монотонность нагрузки: число приемов, необходимых для реализации простого задания или многократно повторяющихся операций; продолжительность выполнения простых производственных заданий или повторяющихся операций; монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения за ходом технологического процесса) [97].

Для оценки вредных факторов на Челябинском Асфальтобетонном заводе проводится специальная оценка условий труда в соответствии с Федеральным законом РФ от 28 декабря 2013г. №426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»

Обеспечение работников средствами индивидуальной защиты

Работающие на смесительных установках должны применять спецодежду и средства индивидуальной защиты, согласно приказу Минздравсоцразвития от 22 июня 2009 года №357н «Об утверждении типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением». Разработка инструкции по охране труда оператора АБЗ, занятого приготовлением асфальтобетонной смеси.

Проведя анализ документации отдела охраны труда и не найдя инструкции для оператора АБЗ в соответствии с постановлением Минтруда РФ №80 от 17.12.2002«Об утверждении Методических рекомендаций по разработке государственных нормативных требований охраны труда» разработаем инструкцию по охране труда для данной специальности.

Общие требования безопасности:

– К работе по приготовлению асфальтобетонной смеси допускаются лица, прошедшие медицинский осмотр, не моложе 18 лет, получившие инструктаж по технике безопасности и обученные безопасным приемам ведения работ на данной установке и имеющие удостоверение.

– Операторы, занимающиеся приготовлением асфальтобетонной смеси, должны знать и соблюдать: конструкцию, принцип действия и правила технической эксплуатации оборудования; основные виды и принципы неполадок этого оборудования и способы их устранения; безопасные приемы приготовления асфальтобетонной смеси; правила загрузки битума, песка; правила внутреннего трудового распорядка; правила пожарной безопасности.

– Все рабочие, обслуживающие АБЗ, должны быть обеспечены спецодеждой и индивидуальными средствами (защитными очками, респираторами и др.) в соответствии с действующими нормами.

– Проходы, лестницы, трапы и рабочие площадки должны быть очищены от посторонних предметов и мусора, а в зимнее время от снега и льда, посыпаны песком или сеяным шлаком.

– Следует опасаться ожогов от нагретого оборудования, а также брызг расплавленного битума [96].

– Запрещается дотрагиваться до токоведущих частей оборудования (распределительные устройства ,электропроводка).

– Каждый работающий должен, исключая аварийные случаи, выполнять ту работу, которая ему поручена руководителем.

– Инструменты должны располагаться удобно, чтобы не приходилось делать лишних движений.

– Каждый рабочий АБЗ должен знать основные правила оказания первой помощи при различных несчастных случаях. Передвигаясь по территории завода необходимо придерживаться левой стороны дороги, идя навстречу движущему транспорту. Автомобильный транспорт, стоящий на дороге нужно обходить сзади, железнодорожный спереди [97].

Для обеспечения безопасности движения транспортных средств по территории АБЗ, на соответствующих участках дорог (проездах) должны быть вывешены предупредительные знаки (ограничение скорости, стоянка запрещена). Горловины (люки) битумоплавильных котлов должны закрываться решетками с ячейкой размером 200X200мм, а также крышками. Чтобы битум не стекал по стенам битумоплавильной установки по всему контуру обмуровки, необходимо устраивать кирпичный борт высотой 20см. Требования безопасности перед началом работ

– Привести в порядок спецодежду, застегнуть или завязать рукава, волосы убрать под плотно прилегающий головной убор, заправить спецодежду так, чтобы не было свисающих или развивающихся концов.

– Осмотреть и убедиться в исправности машин и оборудования.

– Проверить наличие и исправность защитных ограждений, исправность защитного заземления корпусов электродвигателей, пусковых устройств и механизмов, наличие и исправность звуковых и световых сигналов, соединения концов приводных ремней и их натяжение.

Перед пуском машин, механизмов и др. оборудования АБЗ необходимо дать предупредительный сигнал.

Требования безопасности во время работ

– Рабочие, занятые приготовлением асфальтобетонной смеси несут каждый в отдельности персональную ответственность за аварии, вывод из строя оборудования в результате неправильных действий рабочих или несоблюдения ими требований производственных инструкций, правил безопасности.

– При сливе вязущих материалов, все используемые приспособления нужно размещать так, чтобы они не мешали работе и не загоразивали проходы.

– Шланги, по которым подается пар к цистернам или бункерам, полувагонам, в местах присоединения к подводящей линии должны быть снабжены запорными вентилями. По окончании разогрева шланги необходимо отсоединять только после прекращения подачи пара.

– При использовании насосов для слива битума необходимо надежно присоединить битумопроводы к сливному клапану.

– При наполнении автогудронатора горячим битумом необходимо: убедиться, что автогудронатор надежно заторможен, под колеса подложены упоры; переносить или подтягивать соединения заборного рукава при включенном насосе;

– в случае наполнения песком автогудронатор установить так, чтобы заборный рукав находился с правой стороны автогудронатора; по окончании набора битума машинисту автогудронатора подать сигнал.

– Запрещается спускаться в бункер для обрушения образовавшихся сводов материалов, находиться над течкой питателя и заглядывать снизу в течку бункера.

– При работе закрытых винтовых и ковшовых конвейеров запрещается открывать люки и держать крышки кожуха открытыми. Запрещается находиться на транспортной ленте, крышах, а также вблизи желобов в зоне выхода материалов.

– Перед розжигом форсунок следует тщательно проверить систему подачи топлива и пара (сжатого воздуха) к форсунке, особенно герметичность соединений трубопроводов. В процессе работы необходимо следить за исправностью паропровода и топливопровода.

– Загружать битумный котел кусковым битумом нужно по наклонной решетке или желобу, небольшими кусками (не крупнее 15-25см), чтобы битум не

разбрызгивался из котла. Во время загрузки котлов рабочие должны находиться с боку загрузочного люка. Заполнять котел по объему на 70-75%.

– Перед перекачиванием битума по трубопроводам необходимо убедиться в исправности фланцевых соединений, кранов, насосов.

– При обслуживании битумных насосов необходимо соблюдать следующее: включать насос только после полного обогрева всех битумопроводов; при последовательном перекачивании битума из разных котлов запрещается переключать краны на битумопроводах переключателем крана, насос следует остановить; следить за тем, чтобы давление битума в магистрале было не выше допустимого;

– при появлении стука в насосе прекратить работу и устранить недостатки.

– В качестве активного пеногасителя следует применять препарат СКТН-1, который в количестве 5-8 капель вводится на котел 18т, при температуре битума 100-1050С.

– Запрещается переливать горячий битум вручную ведрами или ковшами.

– Перед чисткой или ремонтом битумного котла необходимо: полностью удалить из котла остатки битума; охладить и хорошо проветрить котел; отключить котел от всех паро- и битумопроводов с установкой заглушек; перед допуском рабочего в котел поставить указатель: «Человек в котле»; работа должна вестись под руководством И.Т.Р.и по наряду-допуску;

– ремонт должен проводиться не менее, чем 2-мя рабочими, один в котле с предохранительным колесом и веревкой, а другой следит за работой и контролирует его, затем меняются местами.

– При пуске асфальтобетонного смесителя необходимо сначала пустить двигатель (включить рубильник электродвигателя) и проверить установку на холостом ходу.

– Во избежание ожогов наливать горячий битум в весовой ковш и переливать в мешалку или смесительный барабан следует осторожно, постоянно открывая кран.

– Перерабатывать старый асфальтобетон нужно при замедленном режиме работы форсунки при контроле инженерно-технического работника.

– Очищать мешалку от остатков асфальтобетонной смеси следует только после полной остановки и принятия мер, препятствующих случайному пуску мешалки.

– Запрещается ускорять выгрузку асфальтобетонной смеси с помощью инструмента (лома, лопаты) замерять ее температуру во время выгрузки и находиться вблизи выпускаемого лотка смесителя. Требования безопасности в аварийных ситуациях

– При загорании битума в котле необходимо плотно закрыть горловину котла крышкой, погасить форсунку. Для тушения огня применять углекислотный огнетушитель и песок. Если загорание своими силами не удастся предотвратить, нужно вызвать пожарную охрану и поставить в известность руководителя.

– При попадании разогретого битума на кожу (получение термического ожога) пораженное место промыть солевым маслом или керосином, затем тепловой водой с мылом и обратиться в здравпункт.

– При обнаружении течи битума из котла следует немедленно прекратить топку и перекачать битум в другие котлы.

– При аварийных ситуациях приостановить работы, выйти из опасной зоны, при необходимости отключить оборудование от электросети.

– При опасности возникновения несчастного случая применить меры по его предупреждению. О случившемся доложить руководству. Требования безопасности по окончании работ

– Для остановки оборудования необходимо:

– Выработать полностью массу.

– Выключить электродвигатель установки.

– Очистить оборудование и рабочее место от массы.

– Привести в порядок рабочее место, оборудование, инструмент, ограждения, вспомогательные и предохранительные приспособления.

– Очистить от пыли и налипшей массы рабочую одежду. Обувь, вымыть лицо и руки с мылом, принять душ.

В дипломной части безопасность жизнедеятельности рассмотрены требования безопасности на асфальтобетонном заводе, опасные и вредные факторы и инструкция по охране труда оператора АБЗ [112,113].

ВЫВОДЫ

1. Согласно данным проведенного литературного обзора, выявлено, что для повышения физико-механических характеристик и долговечности ЩМА необходимо создание более плотной структуры, имеющей минимальный объем пор, заполненный вяжущим. Создать такую структуру возможно за счет регулирования гранулометрического состава минеральной составляющей смеси и снижения количества вяжущего вещества.

2. Структура и свойства конгломератов из битумоминеральных смесей также зависят от механизма взаимодействия минеральной части и вяжущего на границе раздела фаз, и стойкости смеси к расслаиванию. Стойкость смеси к расслаиванию согласно п.5.5 ГОСТ 31015-2002 определяют по показателю стекания вяжущего, который должен быть не более 0,20% по массе. При подборе состава смеси рекомендуется, чтобы показатель стекания вяжущего находился в пределах 0,07–0,15 % по массе.

3. Установлено, что для повышения устойчивости смеси к расслаиванию в пределах нормы стекания вяжущего во время предварительного хранения или транспортировки к месту укладки, необходимо вводить стабилизирующие добавки.

4. По данным литературного обзора, наиболее эффективными и часто применяемыми стабилизирующими добавками для ЩМА являются РТЭП, ХРИЗОТОП и VIATOR-66.

5. Все рассмотренные в исследовании стабилизирующие добавки позволяют получить показатель стекания вяжущего менее 0,20% по массе. Лучшие показатели получились при введении добавки Viator – 66.

6. Выявлены оптимальные дозировки добавок : РТЭП (3,5-4% от массы битума), ХРИЗОТОП и

Viator – 66 (3,5% от массы битума).

7. Установлено, что наиболее высокими показателями пределов прочности при сжатии, водостойкости и сдвигоустойчивости обладают ЩМА, модифицированные тремя добавками.

8. Установлено, что стабилизирующие добавки существенно влияют в

основном на показатель стекания вяжущего, тогда как остальные физико-механические характеристики остаются практически неизменными. Что подтверждает данные, полученные при проведении литературного обзора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давыдов, В. Н. Изготовление изделий из асфальтобетонных смесей: учеб.пособие [Текст] / В. Н. Давыдов. – М.: Издательство АСВ, 2003. – 208 с.
2. Алхимова, Н. Задача первостепенного значения [Текст] / Н. Алхимова // Автомобильные дороги. – 2006. – №11. – С. 8-11.
3. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны [Текст] / И. А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 1969. – 399 с.
4. Королев, И. В. Дорожно-строительные материалы [Текст] / И. В. Королев, В. Н. Финашин, Г. К. Фендер. – М.: Транспорт, 1988. – 304 с.
5. Кострин, К. В. Тысячелетняя история асфальта [Текст] / К. В. Кострин // Автомобильные дороги. – 1965. – №12. – С. 27-28.
6. Дорожный асфальтобетон [Текст] / Н. Н. Иванов [и др.] ; под ред. Л. Б. Гезенцевя. – М.: Транспорт, 1976. – 336 с.
7. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение [Текст] / И. А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2002. – 701 с.
8. Гезенцевей, Л. Б. Асфальтовый бетон [Текст] / Л. Б. Гезенцевей. – М.: Стройиздат, 1964. – 477 с.
9. Королев, И. В. Дорожный теплый асфальтобетон [Текст] / И. В. Королев. – Киев: Вища школа, 1975. – 156 с.
10. Печеный, Б. Г. Битумы и битумные композиции [Текст] / Б. Г. Печеный. – М.: Химия, 1990. – 256 с.
11. Гезенцевей Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов [Текст]. – М.: Стройиздат, 1971. – 225 с.
12. Дорожный асфальтобетон [Текст] / под ред. Л. Б. Гезенцевя. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.
13. Богуславский, А. М. Асфальтобетонные покрытия [Текст] / А. М. Богуславский, Л. Г. Ефремов. – М.: МАДИ, 1981. – 146 с.
14. Королев, И. В. Асфальтобетонные покрытия [Текст] / И. В. Королев, В. А. Золотарев, В. А. Ступивцев. – Донецк: Издательство «Донбасс», 1970. – 161 с. 130
15. Сюньи, Г. С. Дорожный асфальтовый бетон [Текст] / Г. С. Сюньи. – Киев:

Литература по строительству и архитектуре УССР, 1962. – 235с.

16. Волков, М. И. Асфальтобетонные покрытия [Текст] / М. И. Волков. – Донецк: Донбасс, 1970. –162 с.

17. Богуславский, А. М. Дорожные асфальтобетонные покрытия [Текст] / А. М. Богуславский. – М.: Транспорт, 1965. – 112 с.

18. Богуславский, А. М. Основы реологии асфальтобетона [Текст] / А. М. Богуславский, А. А. Богуславский. – М.: Высшая школа, 1972. – 200 с.

19. Дорожно-строительные материалы [Текст] / М. И. Волков [и др.]. – М.: Транспорт, 1975. – 527 с.

20. Руденский, А. В. Реологические свойства битумоминеральных материалов [Текст] / А. В. Руденский, И. М. Руденская. – М.: Высшая школа, 1971. – 131 с.

21. Сюньи, Г. К. Цветной асфальтовый бетон [Текст] / Г. К. Сюньи. – М.: Транспорт, 1964. – 50 с.

22. Сюньи, Г. К. Регенерированный дорожный асфальтобетон [Текст] / Г. К. Сюньи, К. Х. Усманов, Э. С. Файнберг. – М.: Транспорт, 1984. – 118 с.

23. Дорожный теплый асфальтобетон [Текст] / И. В. Королев и др. – К.: Вища школа, 1984. – 200 с.

24. Стабников, Н. В. Асфальтополимерные материалы для гидроизоляции промышленных и гидротехнических сооружений [Текст] / Н. В. Стабников. – Л.: Стройиздат, 1975. – 146 с.

25. Stabnikov, N. V. Besonderheiten beim Bau von Asphaltbetondichtungen für wasserbauten in der Sowjetunion [Text] / N. V. Stabnikov, S. N. Poptchenko, G. V. Bousow // Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen. – Weimar 21 jahragang. – 1974.

26. Стабников, Н. В. Гидротехнический асфальтобетон [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. наук / Н. В. Стабников. – Л., 1981. – 42 с. 131

27. Рыбьев, И. А. Создание строительных материалов с заданными свойствами [Текст] / И. А. Рыбьев, А. А. Жданов // Известия вузов. Строительство. – 2003. – №3. – С. 45-48.

28. Ковалев, Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных

материалов (научно-практические основы) [Текст] / Я.Н. Ковалев. – Мн.: БеларускаяЭнцыклапедыя, 2002. – 334 с.

29. Котлярский, Э. В. Формирование структуры и свойств асфальтобетона в процессе уплотнения [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Котлярский Эдуард Владимирович; МАДИ. – М., 1990 – 26 с.

30. Васильев, Ю. Э. Разработка принципиальной концепции единой общей методической основы испытаний дорожно-строительных материалов и конструкций на примере асфальтобетонных смесей, асфальтобетона и асфальтобетонных конструкций дорожной одежды [Текст] / Ю. Э. Васильев, Г. И. Евгеньев, Э. В. Котлярский, С. С. Толоконников // Методы и средства повышения надежности материалов и сооружений на автодорогах с учетом транспортных воздействий. Сб. научн. трудов МАДИ. – М., 1996. – С. 187-194.

31. Гегелия, Д. И. Закономерности изменения некоторых расчетных параметров асфальтобетонов при длительном воздействии воды и знакопеременных температур [Текст] / Д. И. Гегелия // Сб. научн. тр. Союздорпип. – Балашиха. 1981. – №100. – С. 113-121.

32. Панина, Л. Г. К вопросу об однородности структуры конгломератов из битумомиперальпых смесей [Текст] / Л. Г. Панина // Сб. научн. тр.: Пути экономии материальных и энергетических ресурсов при ремонте и реконструкции автомобильных дорог. – М: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. 1989. – Вып. 1– С. 11-20.

33. Королев, В. И. Принципы направленного структурообразования асфальтобетона [Текст] / В. И. Королев // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов: материалы докладов всесоюзной конференции. – Харьков, 1983. – С. 8-9. 132

34. Грушко, И. М. Дорожно-строительные материалы [Текст] / И. М. Грушко, И. В. Королев, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко. – М.: Транспорт, 1983. – 383 с.

35. Лукашевич, В. И. Исследование процессов структурообразования асфальтобетонных смесей, приготовленных с использованием двухстадийной технологии [Текст] / В. И. Лукашевич // Изв. вузов. Строительство. – 2000. – № 2-

3. – С. 25-31.

36. Соколов, Ю. В. Предложения по оптимизации состава дорожных асфальтобетонов [Текст] / Ю. В. Соколов. – Омск, 1981. – 33 с.

37. Рыбьев, И. А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ [Текст] / И. А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 1978. – 307 с.

38. Соломатов, В. И. Элементы общей теории композиционных материалов [Текст] / В. И. Соломатов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1980. – №8. – С. 61-70.

39. Соломатов, В. И. Кластеры в структуре и технологии композиционных строительных материалов [Текст] / В.И. Соломатов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1983. – №4. – С. 56-60.

40. Хозин, В. Г. Усиление эпоксидных полимеров [Текст] / В. Г. Хозин. – Казань: Изд - во ПИК «Дом печати», 2004. – 446 с.

41. Хозин, В. Г. Анионоактивные битумные эмульсии для дорожных покрытий [Текст] / В. Г. Хозин, А. В. Мурафа, Д. Б. Макаров, М. А. Нуриев. – Астана, 2007. – С. 210-216.

42. Ворожейкин, В. Как ниточка с иголкой связаны свойства асфальтобетона и структура битумной пленки [Текст] / В. Ворожейкин // Автомобильные дороги. – 2003. – №7. – С. 18-20.

43. Горельшева, Л. А. Теоретические аспекты взаимодействия различных порошкообразных материалов с органическими вяжущими [Текст] / Л. А. Горельшева // Пути экономии материальных и энергетических ресурсов при ремонте и реконструкции автомобильных дорог. – М., 1989. – Вып. 1. – С. 29-35.

44. О стабильности битумов и взаимодействии их с минеральными материалами [Текст] / Лысихина А. И. и др. – М.: Дориздат, 1952. – 175 с.

45. Урьев, Ю. Б. Высококонцентрированные дисперсные системы [Текст] / Н. Б. Урьев. – М.: Химия, 1980. – 319 с.

46. Смирнов, В. М. Структура и механические свойства асфальтового бетона [Текст] / В. М. Смирнов // Труды ХАДИ. – Харьков, 1954. – Вып. 17. – С. 59-68.

47. Борщ, И. М. Минеральные порошки для асфальтовых материалов [Текст] /

И. М. Борщ, Л. С. Терлецкая // Труды ХАДИ. – Харьков, 1961. – Вып. 26. – С. 29-33.

48. Горельшев, Н. В. Эксплуатационные свойства асфальтобетона [Текст]: Тез.докл. меж. гос. Ассоц. исслед. асфальтобетона 27.01.2000, – М.: МАДИ, 2000. – С. 13-15.

49. Котлярский, Э. В. Контактные взаимодействия при формировании асфальтобетонных смесей в процессе уплотнения [Текст] / Э. В. Котлярский, В. П. Финашин, Н. Б. Урьев // Повышение качества строительства асфальтобетонных и черных покрытий. – М., Труды Союздорнии, 1987. – С. 46-49.

50. Горельшев, Н. В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы [Текст] / Н. В. Горельшев. – Можайск-Терра, 1995. – 176 с.

51. Гегель, В. Я. Управляемый контроль качества асфальтобетона на основе квалиметрии и радиометрии [Текст] / В. Я. Гегель // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов: материалы докл. всесоюзной конференции. – Харьков, 1983 – С. 67-68.

52. Ладыгин Б. И. Прочность и долговечность асфальтобетона [Текст] / Б. И. Ладыгин, С. Л. Вдовиченко. – Мн.: Наука и техника. 1972. – С. 89-93.

53. Золотарев, В. А. О вкладе составляющих асфальтобетона в его прочность [Текст] / В. А. Золотарев // Повышение эффективности использования материалов при строительстве асфальтобетонных и черных покрытий: Труды Союздорнии. – М., 1989. – С.78-84.

54. Горельшев, Н. В. Новые принципы стандартизации асфальтобетона [Текст] / Н. В. Горельшев, Н. В. Быстров // Методы и средства повышения надежности материалов и сооружений на автодорогах с учетом транспортных воздействий. – МАДИ (ТУ). 1996. – С. 155-156.

55. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1973. – 261 с.

56. Руденская, И. М. Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] / И. М. Руденская, А. В. Руденский. – М.: Транспорт, 1984, – 229 с.

57. Кучма, М. И. Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве

[Текст] / М. И. Кучма. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.

58. Benesi, H. A. An infrared study of water-silicagel system [Text] / H. A. Benesi, A. C. Jones // J. Phys. Chem. – 19

59. – Т. 63. – №2. – Р. 179-182. 59. Ребиндер, П. А. Вступительное слово [Текст] / П. А. Ребиндер // Материалы работ симпоз. по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне. – Балашиха, 1968. – С. 5-9.

60. Котлярский, Э. В. Влияние количества высокодисперсного наполнителя и вязкости битума на структурно-механические свойства асфальтобетона [Текст] / Э. В. Котлярский // Дороги России XXI века. – 2002. – № 4. – С. 5-11.

61. Superpave performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing [Text] // Asphalt Institute SuperpaveSeries. – 1997. – №1. – 84 p.

62. Волков, М. И. Исследования минеральных порошков для асфальтовых бетонов [Текст] / М. И. Волков, И. М. Борщ // Труды ХАДИ. – 1956. – Вып. 18. – С. 12-17.

63. Горельшев, Н. В. Взаимодействие битума и минерального порошка в асфальтовом бетоне [Текст] / Н. В. Горельшев // Труды ХАДИ. – 1955. – Вып. 16. – С. 10-23.

64. Дорожно-строительные материалы [Текст] / И. М. Грушко, И. В. Королев, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко. – М.: Транспорт, 1991. – 357 с.

65. Королев, И. В. Строение и свойства граничных слоев битума на минеральном зерне [Текст] / И. В. Королев, Т. А. Ларина // Асфальтобетонные и черные облегченные покрытия автомобильных дорог: материалы Всероссийского совещания дорожников. – М.: Союздорнии, 1981. – С. 38-40.

66. Рыбьев, И. А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ [Текст] / И. А. Рыбьев. – М.: Высш. шк., 1978. – 310 с.

67. ТУ 5718-002-04000633-2006. «Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон. Технические условия» [Текст]. – М., 2007. 136

68. Броницкий, Е. Н. Использование щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси при капитальном ремонте участков автомобильной дороги Москва - Санкт - Петербург (км 29 - км 62, км 72 км - 85) [Текст] / Е. Н. Броницкий, Ю. А. Гуменюк,

А. В. Комиков // Новости в дор. деле: Науч.-техн. информ. сб. – М., 2003. – Вып. 1. – С. 22-32.

69. Ульмгрен, Н. Зарубежный опыт применения щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (на примере шведского концерна NCC) [Текст] / Н. Ульмгрен, С. Дымов // Материалы и конструкции. Дорожная техника. – Санкт-Петербург: издательский дом «Славутич», 2003. – С. 22-31.

70. Первые результаты внедрения щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей в России [Текст] / Росавтодор. Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси в дорожном строительстве. Тематическая подборка. – М., 2004. – 80 с.

71. Будянская, Л. А. Щебеночно-мастичный асфальтобетон в условиях Западной Сибири: опыт применения [Текст] / Л. А. Будянская, Е. Ю. Махров, А. К. Эфа // Современные технологии устройства и содержания дорожного покрытия: материалы 4-й Международной научно-технической конференции. – Звенигород, 2004. – 324 с.

72. Эфа, А. К. Щебеночно-мастичный асфальтобетон. Теоретические основы, практика применения [Текст] / А. К. Эфа, А. В. Жураускас, А. П. Акулов, С. В. Галкин, Н. В. Осипов // Строительные материалы. – 2003. – № 1. – С. 22-23.

73. Смирнов, Е. А. Щебеночно-мастичный асфальтобетон [Текст] / Е. А. Смирнов // Автомобильные дороги. – 2001. – № 11. – С. 56-57.

74. GroBhans, D. UrsachenfürVerformungen in AsphaltbefestigungenmitSplittmastixasphaltdeckschichtenamBeispiel des Autobahnnetzes in Brandenburg [Text] / D. GroBhans, P. Pohlmann, H-R. Reuter // Bitumen. – 1998. – № 2. – P. 50-59.

75. Splittmastixasphalt mit Zusatz von synthetischen Fasern. Schumacher Gunter, BullingerLudvig, Lehdrich Jürgen Bitumen [Text]. – 2002. – №4. – P. 157-158.

76. Utilisationdestibresdeverre en technique contiere. Rai 11 at P., Chong G.Rev.gen. Roufes et acrodr [Text]. – 1998. – №768. – P. 122-124.

77. Huning, P. Bewahrung von Splittmastixasphalt [Text] / P. Huning // Asphalt (BRD). – 1977. – № 2. – P. 27–31.

78. Brawn, E. R. Performance of Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures in the United

States [Text] / E. R. Brawn, J. E. Haddock, R. B. Mallick. – National Center for Asphalt Technology, 1997. – 32 p.

79. Wolterek, G. Erfahrungen mit Splittmastixasphalt auf Bayerischen Autobahnen [Text] / G. Wolterek // Bitumen. – 1997. – № 2. – P. 50-53.

80. Арутюнов, В. Г. Первый опыт строительства покрытий из щебеночномастичного асфальтобетона в России [Текст] / В. Г. Арутюнов, Г. Н. Кирюхин, В. М. Юмашев // Дороги России XXI века. – 2002. – № 3. – С. 58-61.

81. Методические рекомендации по применению битумов разных марок в асфальтобетонных смесях различного гранулометрического состава [Текст] // Союздорнии. – М., 1981. – 15 с.

82. Кирюхин, Г. Н. Устройство слоев износа из горячих щебеночномастичных асфальтобетонных смесей [Текст] / Г. Н. Кирюхин, С. Ф. Балашов, М. Б. Сокальская. – М., 2001. – Юбилейн. вып. – С. 76-84. 138

83. Оев, А. М. Щебнемастичный асфальтобетон для тонкослойных покрытий [Текст] / А. М. Оев, Б. Б. Каримов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – №2. – С. 24-25.

84. Пат. 2222559 Российская Федерация МПК7 С 08 L 95/00 Добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона [Текст] / Джаназян Э. С., Шитиков Е. С., Ракитин Е. А., Григорян А. Р.; заявитель и патентообладатель Джаназян Э. С. – № 2002113710/03; заявл. 28.05.2002; опубл. 27.01.2004, Бюл. № 200614 – 3 с.

85. Пат. 2312116 Российская Федерация МПК С 08 L 95/00, С04В 26/26. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси и способ ее получения. [Текст] / Нугманов О. К., Григорьева Н. П., Хлебников В. Н., Лебедев Н. А., Каримова А. Н.; заявитель и патентообладатель ООО «НПО «Нефтепромхим».; заявл. 24.11.2006; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 34 – 5 с.

86. Пат. 2312116 Российская Федерация МПК С 08 L 95/00, С 08 L 91/00, С08К 13/02. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси и способ ее получения. [Текст] / Нугманов О. К., Григорьева Н. П., Лебедев Н. А., Мухаметханов А. М.; заявитель и патентообладатель ООО «НПО «Нефтепромхим».; заявл. 14.04.2011; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23 – 6 с.

87. Пат. 2348662 Российская Федерация МПК С 08 L 1/02 Стабилизатор для щебеночно-мастичного асфальтобетона [Текст] / Киселев М. А., Воронин А. Н., Веник В. Н., Эфа А. К., Базуев В. П.; заявитель и патентообладатель ООО «Фирма «ГБЦ», ООО «Строительная лаборатория» – № 2007107626/04; заявл. 10.09.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7 – 5 с.

88. Пат. 2348662 Российская Федерация МПК С 08 L 95/00. Стабилизирующая добавка для щебеночно-мастичного асфальтобетона [Текст] / Джаназян Э. С., Мутафян К. С., Григорян А. Р.; заявитель и патентообладатель Джаназян Э. С.; заявл. 20.11.2005; опубл. 10.04.2006, Бюл. № 10 – 5 с.

89. Пат. 2479524 Российская Федерация МПК С 08 L 95/00, С04В 26/26. Стабилизирующая добавка для асфальтобетонной смеси на основе торфа (варианты) и способ получения для нее структурообразователя. [Текст] / 139 Кудряшов А. П., Кудряшов И. В., Кудряшов П. А., Гермашев В. Г., Ядыкина В. В.; заявитель и патентообладатель ООО «Селена».; заявл. 29.06.2011; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11 – 11 с.

90. Пат. 2426704 Российская Федерация МПК С04В 26/26. Способ получения щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси с добавкой отсевов дробления известняков марки 400. [Текст] / Салихов М. Г., Вайнштейн В. М., Вайнштейн Е. В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Марийский государственный технический университет; заявл. 04.02.2009; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23 – 4 с.
104. Смирнов, Н. В. Опыт применения композиционных вяжущих БИТРЭК в дорожных асфальтобетонах [Текст] / Н. В. Смирнов // Дороги России XXI века. – 2004. – №2. – С. 92-96.

91. Илиополов С. К. Эффективный модификатор-стабилизатор для щебеночно-мастичных смесей [Текст] / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова // Автомобильные дороги. – 2005. – № 1. – С. 19-22.

92. Пат. 2266934 Российская Федерация, МПК7 С 04 L 95/00. Резиносодержащий полимерный модификатор битума [Текст] / Илиополов С. К., Мардиросова И. В., Щеглов А. Г., Чубенко Е. Н. и др.; заявитель и патентообладатель Илиополов С. К., Мардиросова И. В., Щеглов А. Г., Чубенко Е.

Н. и др. – № 2004124006/04; заявл. 05.08.2004; опубл. 27.12.2005 г.

93. Пат. 2476397 Российская Федерация МПК7 С 04 В 26/26. Щебеночномастичная асфальтобетонная смесь и способ ее получения [Текст] / Соломенцев А. Б., Колодезный В. П., Старчак А.П., Баранов И.А.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Орелдорстрой». - № 211120847/03; заявл. 25.05.2011; опубл. 27.02.2013 г.

94. ГОСТ 12.0.001-82 Система стандартов безопасности труда. Основные положения. – Москва.: 1982.

95. ГОСТ 12.0.001-82 Система стандартов безопасности труда. Основные положения. – Москва.: 1982.

96. ГОСТ 12.0.004-90 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. – Москва.: 1990.

97. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Москва.: 1988.

98. Типовая инструкция № 20 по охране труда машиниста смесителя (оператора) асфальтобетонного завода(АБЗ)

99. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.– Москва.: 1976.