

*На правах рукописи*



**Казарян Самвел Оганесович**

**ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫЕ АСФАЛЬТОБЕТОНЫ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОРИСТЫМИ ПОРОШКОВЫМИ  
МАТЕРИАЛАМИ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Волгоград – 2018

Работа выполнена на кафедре «Строительство» Инженерного института федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»

**Научный руководитель:**

кандидат технических наук, доцент  
**Борисенко Юрий Григорьевич**

**Официальные оппоненты:**

**Калгин Юрий Иванович**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Строительство и  
эксплуатация автомобильных дорог»  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»

**Салихов Мухаммет Габдулхаевич**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Строительные  
технологии и автомобильные дороги»  
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный  
технологический университет»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный  
технический университет  
имени Гагарина Ю.А.»

Защита состоится «15» мая 2018 г. в 13:00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.194.02 при ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1, К. Б-203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте [www.vstu.ru](http://www.vstu.ru) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Акчурин Талгат Кадимович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Резко возросшая интенсивность движения автомобильного транспорта, усилившийся рост нагрузок на дорожное полотно, применение устаревших технологий, невысокое качество дорожно-строительных материалов снижают эксплуатационные характеристики дорожных покрытий, способствуют росту деформаций, трещин, колеиности, выбоин и др., что обуславливает снижение межремонтных сроков и долговечности асфальтобетонных дорожных покрытий.

Прогрессивным направлением повышения качества покрытий автомобильных дорог является внедрение новых перспективных дорожно-строительных материалов, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Одним из таких эффективных материалов является щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), который обладает повышенными физико-механическими характеристиками и долговечностью в сравнении с традиционными плотными мелкозернистыми асфальтобетонами.

Однако, при выполнении технологических операций при транспортировке и укладке щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (ЩМАС) происходит сегрегация (расслаивание) смеси под действием высоких температур и повышенного содержания битума. Проблема сегрегации щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей в настоящее время решается применением дорогостоящих стабилизирующих добавок. В процессе эксплуатации покрытий из ЩМА при определенных условиях (особенно в летний период) возможно появление битумных пятен, колеиности, что снижает прочностные свойства и сдвигоустойчивость дорожных одежд.

Повышение качества, совершенствование составов и технологии щебеночно-мастичных асфальтобетонов являются одними из актуальных проблем. Перспективным направлением их решения может быть применение в составах ЩМАС пористых порошковых минеральных материалов, обладающих высокой адсорбционной и структурирующей способностью по отношению к битуму, что может способствовать обеспечению устойчивости щебеночно-мастичной смеси к сегрегации и существенному повышению качества щебеночно-мастичных асфальтобетонов. Одним из важнейших аспектов применения пористых порошковых материалов (например керамзитового порошка) в составе ЩМАС является замена дорогостоящих зарубежных стабилизирующих добавок в смеси на предложенные материалы, что в сложной экономической ситуации в России и санкционной политике будет способствовать решению задач по импортозамещению в отрасли дорожного строительства.

**Степень разработанности темы исследования.** Работа основана на результатах теоретических и экспериментальных исследований ученых в области асфальтобетонов: Богуславского А.М., Волкова М.И., Гезенцева Л.Б., Горелышева Н.В., Калгина Ю.И., Ковалева Я.Н., Колбановской А.С., Королева И.В., Котлярского Э.В., Печеного Б.Г., Ребиндера П.А., Руденского А. В., Рыбьева И.А., Сахарова П.В., и других ученых.

В работе использованы результаты теоретических и экспериментальных исследований структуры, свойств, составов и технологии щебеночно-мастичных асфальтобетонов и битумоминеральных композиций с применением пористых заполнителей и наполнителей отечественных и зарубежных ученых: Арутюнова В., Атояна С.М., Борисенко Ю.Г., Высоцкой М.А., Горельшевой Л.А., Иллиополова С.К., Кирюхина Г.Н., Костина В.И., Кузнецова Д.К., Куценой Н.П., Мардиросовой И.В., Пачернина А.С., Салминена Э.О., Смирнова Е.А., Щербакова А.М., Щербины П.С., Юмашева В. М., Ядыкиной В.В., Ярцева В.П., Korner M., Horst E., Werner M., Milster R., GroBhans D., Pohlmann P.

**Цель исследования:** теоретическое и экспериментальное обоснование возможности получения щебеночно-мастичных асфальтобетонов, модифицированных пористыми порошковыми материалами с повышенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками путем управления процессами структурообразования битумных связующих.

**Задачи исследования:**

- на основании критического анализа зарубежной и отечественной научной, патентной и технической литературы обосновать целесообразность применения пористых порошковых материалов в составах щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей для обеспечения повышения качества ЩМА и снижения сегрегации смеси;
- выявить особенности топографии, микроструктуры и дисперсности исследуемых пористых порошков;
- установить влияние различных пористых порошков на структурообразование асфальто вяжущих щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей и на свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов и обосновать выбор керамзитового порошка, как наиболее эффективного модификатора ЩМА;
- на основании экспериментальных исследований выявить закономерности влияния содержания керамзитового порошка в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях на физико-механические, структурно-механические и эксплуатационные свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов;
- разработать рациональные составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, модифицированных керамзитовым порошком;
- разработать оптимальную технологию приготовления высококачественных щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, модифицированных керамзитовым порошком;
- провести опытное внедрение разработанных щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей и оценить технико-экономическую эффективность ЩМА, модифицированных керамзитовым порошком.

**Объектом исследования** являются щебеночно-мастичные асфальтобетоны, модифицированные пористыми порошковыми материалами (керамзитовым порошком).

*Предметом исследования* являются составы, свойства и технология щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей и щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, пункту 1 «Разработка теоретических основ получения различных строительных материалов с заданным комплексом эксплуатационных свойств» и пункту 7 «Разработка составов и принципов производства эффективных строительных материалов с использованием местного сырья и отходов промышленности».

**Научная новизна работы:**

- установлены на микроуровне особенности зернового состава, топографии, микроструктуры поверхности и повышенная дисперсность керамзитового порошка, обеспечивающие высокую адсорбционную активность и структурирующую способность битумного вяжущего, что позволяет управлять процессами структурообразования щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей и применять его как эффективную добавку для щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей;

- установлены зависимости влияния содержания керамзитового порошка  $C_k$  в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях на физико-механические и эксплуатационные свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов;

- выявлено рациональное содержание керамзитового порошка в составах щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, обеспечивающее получение щебеночно-мастичных асфальтобетонов с повышенными физико-механическими, структурно-механическими и эксплуатационными свойствами;

- установлены оптимальная температура объединения битумного вяжущего и минеральной части щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей и рациональная последовательность введения компонентов при приготовлении смеси и разработана технология производства щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, модифицированных керамзитовым порошком.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны оптимальные составы и технология приготовления горячих щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, модифицированных керамзитовым порошком, с повышенными физико-механическими, эксплуатационными свойствами и устойчивых к расслаиванию.

На АБЗ ООО «Джули» летом 2013 года была выпущена опытно-промышленная партия ЩМА-15 на битуме марки БНД 60/90 с применением керамзитового порошка и уложена в г. Ставрополе по пр. Кулакова. Экономический эффект от снижения себестоимости производства ЩМА, модифицированных керамзитовым порошком, в сравнении со стандартными ЩМА-15 составил 1707 руб. на 100 м<sup>2</sup> в ценах 2017 года.

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, используются в учебном процессе ФГАОУ ВО СКФУ в лекционных курсах, на лабораторных и практических занятиях по дисциплинам: «Дорожно-

строительные материалы и конструкции» для направления подготовки 08.03.01 Строительство (профиль «Автомобильные дороги»), «Строительные материалы», для направления подготовки 08.03.01 Строительство (профилей «Промышленное и гражданское строительство» и «Городское строительство и хозяйство»), «Покрытия и кровли» для специальностей 270102.65 (профиль «Промышленное и гражданское строительство»).

**Методология и методы исследования.** В работе использовали стандартные и нестандартизированные методы исследований (методы атомно-силовой и растровой электронной микроскопии, метод лазерной дифракции, экспресс метод оценки долговечности асфальтобетонов).

**Положения, выносимые на защиту:**

- теоретическое и экспериментальное обоснование возможности получения высококачественных щебеночно-мастичных асфальтобетонов путем модификации пористыми порошковыми материалами;
- разработка оптимальных составов щебеночно-мастичных асфальтобетонов, модифицированных керамзитовым порошком, устойчивых к сегрегации вяжущего в смеси, с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами;
- результаты экспериментальных исследований физико-механических, структурно-механических и эксплуатационных свойств модифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов различных марок;
- технология приготовления щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, модифицированных керамзитовым порошком, повышенного качества.

**Степень достоверности** результатов исследований подтверждена применением стандартных и нестандартизированных методов исследований, статистической обработкой полученных данных, обеспечивающей доверительную вероятность 0,95, экспериментальной и опытно-промышленной проверкой результатов исследований, а также согласованностью основных положений работы с результатами исследований других авторов.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XIV, XL, XLI научных конференциях «Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону», СевКавГТУ (Ставрополь, 2010-2011); РИЦ БашГУ (Уфа, 2014); международной научно-технической конференции. «Композиционные строительные материалы. Теория практика», Приволжский Дом знаний (Пенза, 2014); всероссийской научно-технической конференции «Высокотехнологичные и энергоэффективные технологии и материалы в строительстве», ДГТУ (Махачкала, 2014); Всероссийской научной конференции «Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации», ВГАСУ (Воронеж, 2014); III, V ежегодных научно-практических конференциях Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону», СКФУ (Ставрополь, 2015, 2017), IV всероссийский дорожный конгресс «Перспективные технологии в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог», МАДИ (Москва, 2015).

В июле 2013 года на АБЗ ООО «Джули» г. Ставрополе была выпущена опытная партия щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси марки ЩМА-

15, модифицированной керамзитовым порошком, и уложена в дорожное покрытие в г. Ставрополе по пр. Кулакова.

**Личный вклад автора** состоит в формулировании цели и основной гипотезы, самостоятельном выполнении теоретических и экспериментальных исследований, обработке и интерпретации экспериментальных данных, сравнении результатов теоретических исследований с опытными данными, обобщении результатов и производственном внедрении разработанных составов.

**Публикации.** По материалам исследований опубликовано 21 научная работа, из них 3 статьи опубликованы в рецензируемых изданиях и журналах, включенных в перечень ВАК РФ, по результатам исследований получен патент РФ на изобретение (Патент RU № 2603310).

**Объём и структура работы.** Работа изложена на 158 страницах, содержит 116 страниц машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы из 176 наименований и 3 приложений. Текст диссертации содержит 39 таблиц и 25 рисунков.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность выбранного направления исследования, сформулированы цель и задачи исследования, показана его научная и практическая значимость.

**В первой главе** представлен обзор научно-технической и патентной литературы, посвященной особенностям структурообразования щебеночно-мастичных асфальтобетонов, роли в структурообразовании и типах стабилизирующих добавок, применяемых в составах щебеночно-мастичных асфальтобетонов, а также перспективам использования в ЦМА высокодисперсных пористых порошковых материалов.

Изучению и разработке составов, структуры и свойств ЦМА посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых: Арутюнова В.Г., Горелышевой Л.А., Карамышевой В.М., Кирюхина Г.Н., Смирнова Е.А., Сокальской М.Б., Юмашева В.М., Eldren H., Horst E., Milster R., Werner M и др.

Щебеночно-мастичные асфальтобетоны применяются в Российской Федерации с начала 2000-х годов и находят все более широкое применение в дорожном строительстве благодаря высоким физико-механическим характеристикам и повышенной долговечности. Однако, ряд проблем: сегрегация вяжущего при транспортировании щебеночно-мастичных смесей, высокая стоимость стабилизирующих добавок, дефицит высококачественных инертных минеральных материалов, недопустимое снижение прочности и сдвигоустойчивости дорожных покрытий из ЦМА при высоких летних температурах (особенно в южных регионах страны), сдерживает применение этого перспективного материала.

Опыт использования пористых минеральных порошков высокой дисперсности в составах битумо-минеральных композиций и асфальтобетонов показал положительное влияние на повышение ряда свойств таких материалов. Высокие микропористость, дисперсность и удельная поверхность минеральных

порошков на основе пористых материалов определяют повышенную сорбционную активность к битумному вяжущему и существенно влияют на структурообразование органоминеральных композиционных материалов. Таким образом, применение пористых высокодисперсных порошковых материалов представляет интерес как в качестве добавки, обеспечивающей устойчивость ЦМАС к расслаиванию, так и модифицирующей добавки, позволяющей существенно повысить качество ЦМА.

**Во второй главе** рассмотрены особенности физико-химического взаимодействия битума с пористыми материалами и их влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства асфальтобетонов и битумоминеральных композиций.

Согласно представлениям коллоидной химии законы течения жидкости в пористых телах в приложении к асфальтобетонам и битумоминеральным композициям, модифицированным пористыми минеральными материалами, играют важную роль в понимании процессов структурообразования и регулирования их свойств и имеют высокую практическую значимость при проектировании составов композиций с заданными физико-механическими и эксплуатационными показателями.

Повышение адгезии в системе «минеральная часть – органическое связующее» является одним из основных факторов, влияющих на свойства композита. Согласно работам Адама Н.К., Берлина А.А., Фролова Ю.Г., Виече F. установлено, что на повышение величины адгезии между минеральной частью и органическим связующим органоминерального композиционного материала значительное влияние оказывают следующие факторы: увеличение площади физического контакта между адгезивом и субстратом; большая полнота контакта адгезива с субстратом (что может обеспечиваться взаимодействием большего числа функциональных групп). Установлено, что площадь контакта увеличивается при заполнении адгезивом пор, трещин и бороздок субстрата и при увеличении удельной поверхности. Следовательно, особенности поверхности минерального материала оказывают большое влияние на величину адгезии органического связующего на ней.

В процессе взаимодействия битума с пористыми материалами происходит избирательная диффузия (избирательная фильтрация) отдельных компонентов битума в поры материала. Избирательная фильтрация обуславливает проникновение в микропоры наименее активных и наиболее легких по молекулярному весу компонентов битума (соизмеримых с размерами пор) – масел, ароматических углеводородов. Результатом этого процесса является обогащение свободного битума наиболее тяжелыми и активными компонентами – асфальтенами и смолами, что ведет к повышению вязкости и адгезии вяжущего. Эти факторы в значительной мере определяют степень адсорбционной способность пористых наполнителей.

Учитывая, что в случае применения пористых субстратов диффузионные явления между адгезивом и субстратом являются характерными, необходимо учитывать влияние диффузии, поскольку одностороннее или взаимное



проникновение фаз обеспечивает более полный молекулярный контакт и, следовательно, большую прочность связи в структуре получаемого композита.

В исследованиях Атояна С.М., Колбановской А.С., Михайлова В.В., Рыбьева Т.Г. и др. показано, что пористые минеральные материалы обладают высокой сорбирующей способностью. Эта особенность пористых порошковых материалов может найти эффективное применение в технологии щебеночно-мастичных асфальтобетонов для стабилизации ЦМАС (т.е. снижения сегрегации (стекания) вяжущего в смеси при транспортировке). Одними из таких высокодисперсных порошковых пористых материалов могут быть порошки из перлита и керамзита.

Прочностные свойства применяемого материала во многом определяют эксплуатационные характеристики дорожных асфальтобетонных покрытий. Прочность асфальтобетона, как вязко-упруго-пластичного тела, изменяется в широких пределах при различных эксплуатационных температурах. Одной из задач при создании новых дорожно-строительных материалов на органических связующих является повышение прочности при высоких летних температурах (теплостойкости), что в основном обеспечивает сдвигоустойчивость дорожного покрытия, и повышение его деформативности при отрицательных температурах в зимний период. Согласно теории Мора, предельные сопротивления одноосному сжатию материала связаны со сцеплением его частиц между собой и внутренним трением, возникающим между частицами:

$$\text{сопротивление сжатию: } R_c = 2c \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right);$$

$$\text{сопротивление растяжению: } R_p = \frac{2c}{\operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)};$$

где  $c$  – сцепление, МПа;  $\varphi$  – угол внутреннего трения.

Повышение сцепления и внутреннего трения композиционного материала способствуют росту его сопротивления на растяжение и сжатие. Чем выше угол внутреннего трения  $\varphi$  и сцепление  $c$ , тем выше прочность материала.

Анализируя работы Гезенцева Л.Б., Королева И.В., Рыбьева И.А. и др. посвященных повышению сдвигоустойчивости и прочности асфальтобетонов выявлено, что улучшение этих свойств возможно путем применения в составах асфальтобетонов щебня с остроугольной и гексагональной формой зерен, песка из отсевов дробления; механохимической активацией минеральных материалов, достигаемой дроблением, измельчением твердых тел. Применение пористых высокодисперсных материалов с шероховатой и высокоразвитой поверхностью (например, керамзитового или перлитового порошка) может обеспечить повышение внутреннего трения и сцепления битумоминерального материала, что в результате позволит повысить прочность и сдвигоустойчивость получаемого композита.

**В третьей главе** приведена характеристика применяемых материалов, изложены методы и представлены основные результаты экспериментальных исследований пористых порошковых материалов, асфальтовяжущих на их

основе, а также физико-механических, структурно-механических и эксплуатационных свойств щебеночно-мастичных асфальтобетонов, модифицированных пористыми порошками.

В экспериментальных исследованиях использовали следующие материалы: щебень кубовидной формы из плотных горных пород и его отсеvy, активированный известняковый минеральный порошок, битум марки БНД 60/90, перлит марки 120 и керамзит марки 600. Исследуемые минеральные порошки получали измельчением исходных пористых материалов в лабораторной шаровой мельнице и последующим отбором фракций менее 0,16 мм. Свойства активированного известнякового керамзитового и перлитового порошков определяли согласно ГОСТ Р 52129-2003 (таблица 1).

Таблица 1 – Свойства исследуемых порошковых материалов

Показатель	Керамзитовый порошок	Перлитовый порошок	Активированный известняковый минеральный порошок	ГОСТ Р 52129-2003 для МП-1
Зерновой состав, % по массе				
мельче 1,25	100	100	100	не менее 100
” 0,315 ”	100	100	98,1	не менее 90
” 0,071 ”	82,5	80,1	81,7	не менее 80
Пористость, % по объему	36	42	27	не более 30
Насыпная плотность, $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>	880	280	1217	-
Истинная плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	2570	2240	2746	-
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	5280	6453	3080	-

На начальном этапе исследований изучали особенности топографии и микроструктуры поверхности пористых порошковых материалов, их влияние на свойства асфальтовяжущих ЦМАС, а также на свойства ЦМА, модифицированных керамзитовым и перлитовым порошками. Особенности топографии и микроструктуры поверхности предложенных материалов изучали методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) и растровой электронной микроскопии (РЭМ). Микрофотографии поверхности исследуемых минеральных частиц представлены на рисунке 1.

Анализ полученных микрофотографий поверхностей частиц (рисунок 1) выявил следующее: частицы керамзита имеют наиболее развитую поверхность, высокое количество различных по размерам и форме пор, неровностей, чешуек, ребер и микротрещин, испещрены шероховатостями и неровностями. Частицы перлита представляют собой плоские чешуйки с большим количеством пустот. Частицы активированного известнякового минерального порошка характеризуется слабо выраженными неровностями и углублениями.

Дисперсность минеральных порошков определяли методом лазерной дифракции с помощью лазерного анализатора размеров частиц «Ласка-Т» (рисунок 2). Были исследованы зерновые составы, определены дифференциальное и интегральное распределение частиц по объему

керамзитового, перлитового и активированного известнякового минерального порошков.

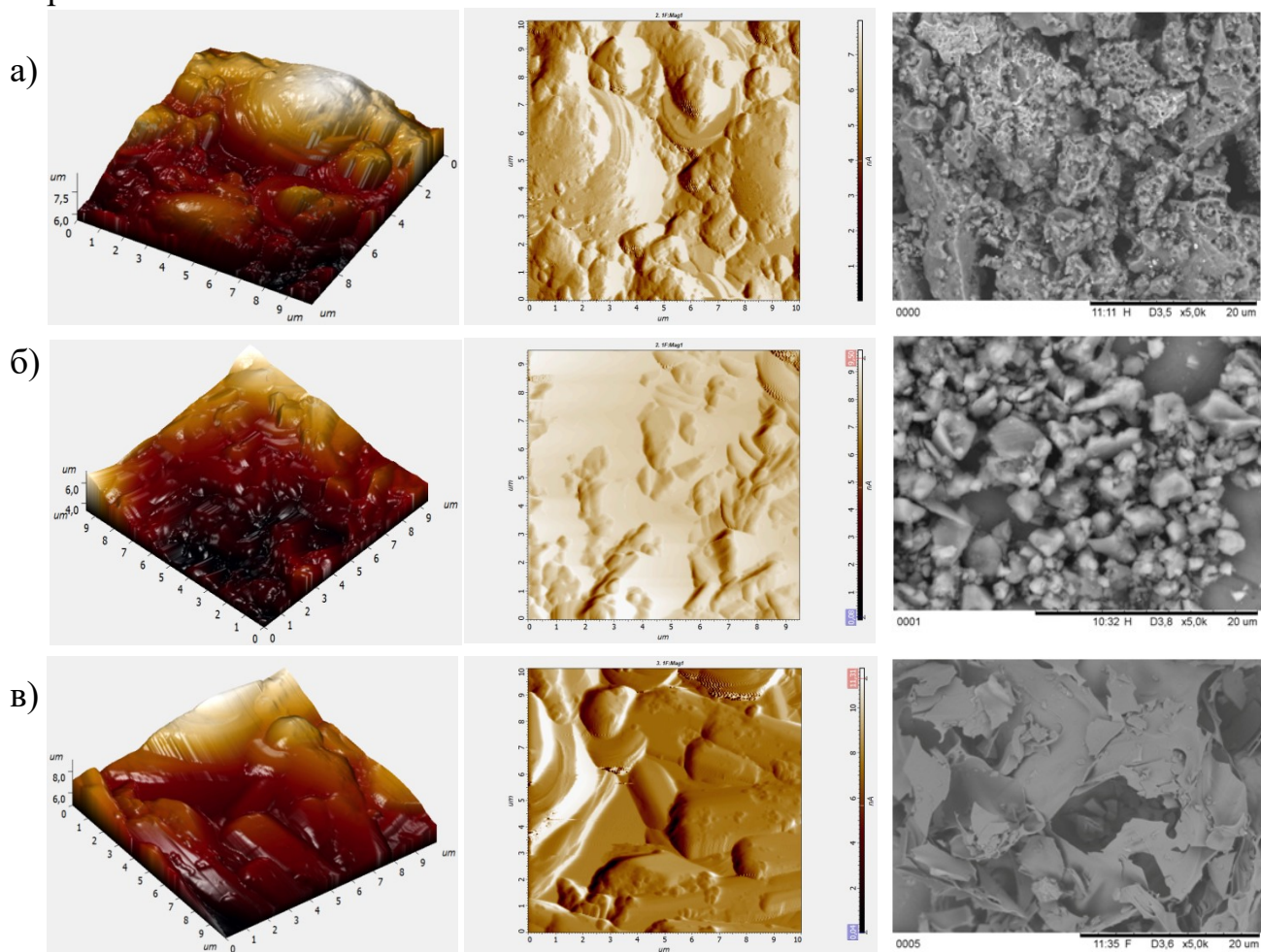


Рисунок 1 – Микрофотографии поверхности частиц исследуемых минеральных порошков: а) керамзитовый порошок, б) активированный известняковый минеральный порошок, в) перлитовый порошок

Дисперсность минеральных порошков определяли методом лазерной дифракции с помощью лазерного анализатора размеров частиц «Ласка-Т» (рисунок 2). Были исследованы зерновые составы, определены дифференциальное и интегральное распределение частиц по объему керамзитового, перлитового и активированного известнякового минерального порошков. Установлена повышенная дисперсность керамзитового и перлитового порошков по сравнению с активированным известняковым минеральным порошком. Преобладающий размер частиц керамзита (72 %) и перлита (69 %) находятся в пределах от 5 до 25 мкм, а минерального известнякового порошка – от 10 до 50 мкм (70 %). Выявлено, что удельная поверхность керамзитового и перлитового порошков более чем в 1,7-2 раза превышает удельную поверхность активированного известнякового минерального порошка. Таким образом, возможно предположить, что установленные особенности поверхности частиц пористых порошков, их повышенная дисперсность и удельная поверхность могут обеспечить их

высокую адсорбционную активность и структурирующую способность по отношению к битумному вяжущему.

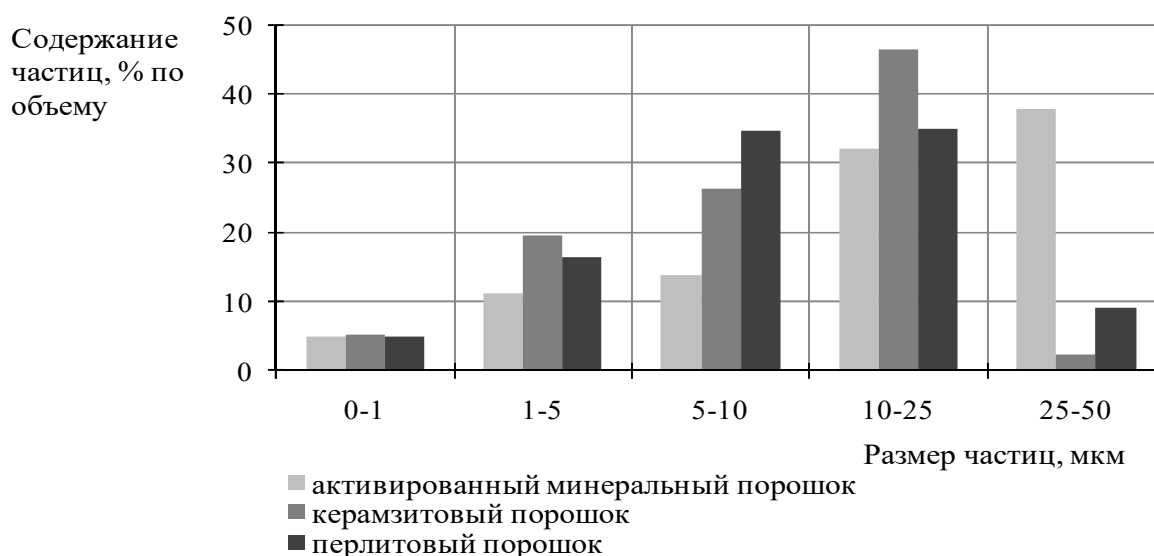


Рисунок 2 – Дифференциальное распределение частиц по объему

Следующим этапом исследований являлось изучение влияния пористых порошковых материалов на свойства асфальтовяжущего. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства модифицированных асфальтовяжущих

Вид асфальтовяжущего	Глубина проникания иглы, 0,1 мм		Температура размягчения по КиШ, °С
	при 0 °С	при 25 °С	
Битум БНД 60/90 + активированный известняковый минеральный порошок	20	51	68,5
Битум БНД 60/90 + активированный известняковый минеральный порошок, модифицированный перлитовым порошком (в соотношении 50 Ч 50 %)	20	48	70,1
Битум БНД 60/90 + активированный известняковый минеральный порошок, модифицированный керамзитовым порошком (в соотношении 50 Ч 50 %)	20	43	76,4

Согласно полученным результатам модификация вяжущего перлитом и керамзитом приводит к снижению пенетрации при 25 °С на 5,9 % и 15,7 % соответственно. Температура размягчения по КиШ для составов асфальтовяжущего, модифицированных порошками перлита и керамзита, увеличилась на 2,3 % и 11,5 %. Таким образом, включение пористых порошков в асфальтовяжущее приводит к значительному повышению вязкости и структурированию битума, по всей видимости, вследствие избирательной фильтрации компонентов вяжущего. Согласно полученным данным более высокой структурирующей способностью обладает керамзитовый порошок.

На заключительном этапе исследовали ЩМА, модифицированные пористыми порошками керамзита и перлита. С целью оптимизации структуры модифицированного ЩМА предварительно изучали возможность использования пористых порошков в качестве модификаторов, снижающих сегрегацию вяжущего и повышающих свойства композиции, по следующим двум схемам: 1) пористые порошки вводили в состав ЩМАС как модифицирующую добавку сверх массы минеральной части смеси; 2) пористые порошки вводили в ЩМАС с целью модификации как часть минерального наполнителя (т.е. заменяли часть объемной доли активированного известнякового минерального порошка на соответствующий объем пористого).

В результате испытаний образцов по предложенным схемам выявлено, что наиболее оптимальной является первая схема введения пористого порошкового модификатора в ЩМАС. Физико-механические свойства ЩМА, модифицированных оптимальным количеством предложенных пористых порошков, представлены в таблице 3. Для сравнения испытывали ЩМА стандартных составов с применением наиболее распространенной стабилизирующей добавки Viator-66.

Таблица 3 – Физико-механические свойства ЩМА

Показатель	ЩМА-10			ЩМА-15		
	керамзит	перлит	Viator-66	керамзит	перлит	Viator-66
Водостойкость, $k_6$	0,96	0,94	0,9	0,98	0,94	0,92
Водостойкость при длительном водонасыщении, $k_{60}$	0,86	0,81	0,79	0,9	0,83	0,82
Показатель стекания вяжущего, $B$ , %:	0,12	0,11	0,1	0,11	0,1	0,09
Коэффициент внутреннего трения, $tg\mu$	0,94	0,93	0,94	0,95	0,94	0,95
Сцепление при сдвиге при температуре 50 °С, $C_p$ , МПа	0,26	0,22	0,24	0,28	0,23	0,24
Предел прочности при сжатии, МПа:						
при 20°С, $R_{20}$	4,47	3,64	4,2	4,67	3,92	4,3
при 50 °С, $R_{50}$	1,88	1,34	1,8	1,91	1,49	1,85

Согласно полученным результатам ЩМА, модифицированные керамзитовым порошком, обладают наиболее высокими прочностными показателями, показателями сдвигоустойчивости и водостойкости в сравнении как со ЩМА, модифицированными перлитовым порошком, так и в сравнении со стандартными составами ЩМА со стабилизирующей добавкой Viator-66. Показатели стекания вяжущего исследуемых смесей отличаются незначительно и имеют достаточно низкие значения.

Проведенный сравнительный анализ на микроуровне пористых порошковых материалов (керамзита и перлита), анализ их влияния на изменение свойств асфальтовяжущего и на свойства самих ЩМА различных марок позволил установить, что наиболее оптимальным порошковым модификатором для ЩМАС, позволяющим повысить как технологичность, так и свойства получаемого ЩМА, является керамзитовый порошок.

Для подбора рациональных составов ЩМА, модифицированных керамзитовым порошком, проводили математическое планирование эксперимента и статистическую обработку результатов.

Учет особенностей напряженно-деформированного состояния асфальтобетонного покрытия в процессе эксплуатации, как от воздействия транспортных нагрузок, так и температурного влияния, позволяет правильно оценить качество и работоспособность материала при расчете покрытий и прогнозировать их долговечность. Научный и практический интерес представляло изучение деформативного поведения исследуемых ЩМА при различных эксплуатационных температурах с точки зрения реологии. Определяли следующие реологические параметры ЩМА (согласно методике Я.Н. Ковалева): коэффициент вязкости  $\eta_m$ , коэффициент вязкой податливости  $\gamma$ , время релаксации  $\theta$ , время ретардации, кинетические характеристики  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_1/P_2$ , модуль упругости  $E$ . Исследовали зависимости реологических характеристик при различных эксплуатационных температурах в пределах от -10 до +60 °С. Температура +60 °С была выбрана в связи с тем, что в южных регионах нашей страны согласно натурным наблюдениям температура дорожного покрытия может достигать данной величины в жаркие летние периоды и способна сохраняться до нескольких часов в сутки, а -10 °С – соответствует работе асфальтобетона как практически упругого тела. Как известно, кинетические характеристики  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_1/P_2$  характеризуют скорость развития деформаций. Величина  $P_1/P_2$  является отношением времени ретардации  $\tau$  ко времени релаксации  $\theta$  и позволяет качественно оценить процесс деформирования асфальтобетонного покрытия. Значение параметра  $P_1/P_2$  характеризует жесткость материала. При минимальном значении отношения  $P_1/P_2$  жесткость асфальтобетона максимальна и наоборот, при максимальном  $P_1/P_2$  – жесткость минимальна. Зависимости изменения отношения  $P_1/P_2$  от температуры представлены на рисунке 3.

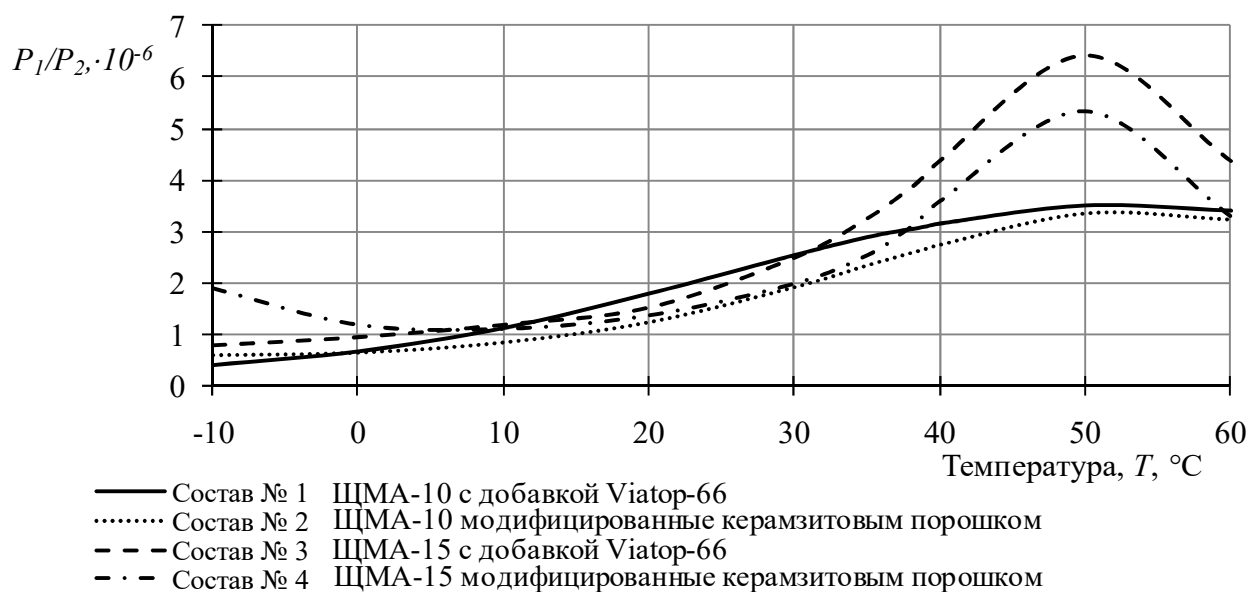


Рисунок 3 – Зависимости изменения отношения  $P_1/P_2$  от температуры исследуемых ЩМА

Как известно жесткость асфальтобетонных покрытий в зимнее время значительно превосходит жесткость при высоких летних температурах. Для достижения лучшей трещиностойкости в зимний период необходимо обеспечение минимальной жесткости асфальтобетона, следовательно отношение  $P_1/P_2$  должно быть максимальным, применительно к данной температуре, а для обеспечения высокой сдвигоустойчивости в летнее время года, необходимо чтобы  $P_1/P_2$  принимало как можно более низкие значения.

В результате исследований реологических характеристик выявлено, что ЩМА, модифицированные керамзитовым порошком, более устойчивы к деформациям, возникающим при высоких эксплуатационных температурах, а также более деформативны (трещиностойки) при отрицательных температурах, чем традиционные ЩМА.

Сдвигоустойчивость и трещиностойкость предложенных составов определяли согласно ГОСТ 12801-98. Для сравнения испытывали образцы ЩМА стандартных составов марок ЩМА-10 и ЩМА-15 со стабилизирующей добавкой Viator-66. Результаты испытаний приведены в таблице 4. Согласно результатам исследований выявлено, что включение керамзитового порошка в составы ЩМАС повышает коэффициент внутреннего трения ( $tg\varphi$ ), сцепление при сдвиге ( $C_p$ ) и предел прочности на растяжение при расколе ( $R_p$ ), что свидетельствует о более высокой сдвигоустойчивости и приемлемой трещиностойкости ЩМА, модифицированных керамзитовым порошком.

Таблица 4 – Показатели сдвигоустойчивости и трещиностойкости ЩМА

Тип смеси	Коэффициент внутреннего трения, $tg\varphi$	Сцепление при сдвиге при температуре 50 °С, $C_p$ , МПа	Предел прочности на растяжение при расколе, $R_p$ , МПа
ЩМА-10 (модифицированные керамзитовым порошком)	0,95	0,27	6,13
ЩМА-10 (ст. доб. Viator-66)	0,94	0,24	5,78
ЩМА-15 (модифицированные керамзитовым порошком)	0,96	0,31	6,28
ЩМА-15 (ст. доб. Viator-66)	0,95	0,24	5,8

Износостойкость разработанных ЩМА проводили путем оценки истираемости образцов ЩМА-10 и ЩМА-15 на приборе ЛКИ-3М. В результате испытаний установлена высокая износостойкость исследуемых образцов, и выявлено, что применение в составах ЩМАС керамзитового порошка не оказывает существенного влияния на износостойкость ЩМА.

Морозостойкость ЩМА определяли в соответствии с ГОСТ 12801-98. Изменение прочности при сжатии образцов модифицированных и стандартных ЩМА-10 и ЩМА-15 от количества циклов замораживания-оттаивания при температуре 20 °С представлено на рисунке 4.

Из анализа полученных зависимостей следует, что щебеночно-мастичные асфальтобетоны, модифицированные керамзитовым порошком, обладают более высокой морозостойкостью по сравнению со стандартными составами ЦМА.

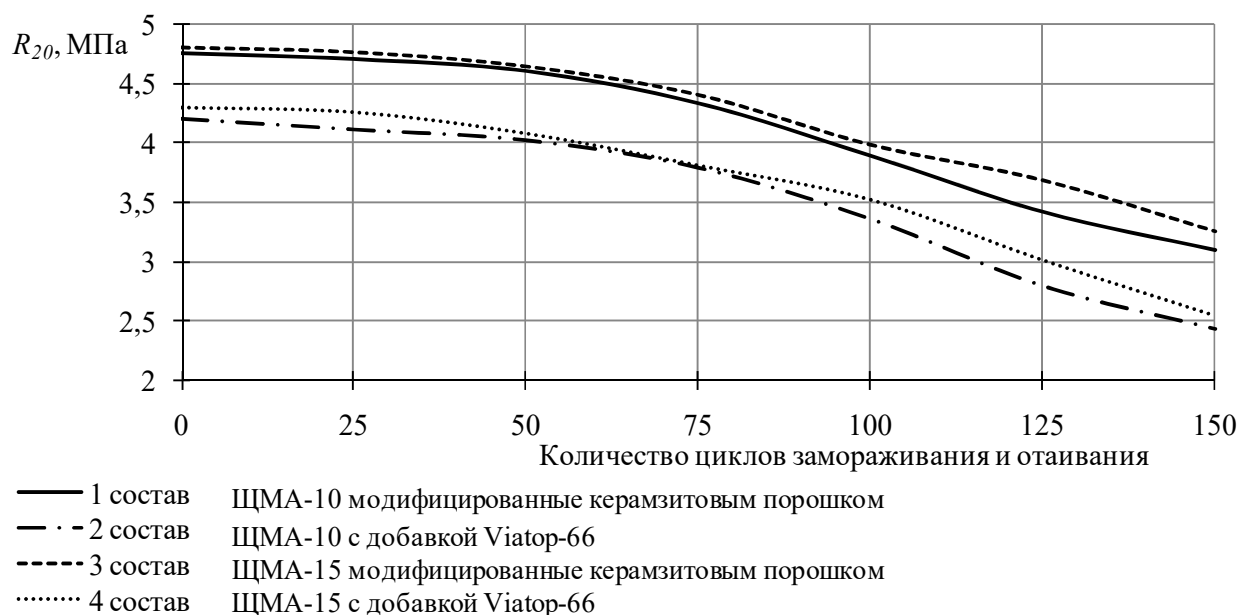


Рисунок 4 – Морозостойкость исследуемых ЦМА

Исследование долговечности материалов проводили по методике Ю.И. Калгина с применением климатической камеры «СМ – -70/100 – 120ТВХ». Методика исследования состоит в следующем: моделирование старения смеси в процессе приготовления при предельно высоких температурах, моделирование старения асфальтобетона в летний период и полное водонасыщение образцов ЦМА с последующим испытанием на морозостойкость, что соответствует одному условному году эксплуатации дорожного покрытия. Испытывали образцы ЦМА-15, модифицированных керамзитовым порошком, и стандартные ЦМА-15 со стабилизирующей добавкой Viatop-66. Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели физико-механических свойств ЦМА после одного условного года эксплуатации

Наименование показателя	ЩМА-15, модифицированные керамзитовым порошком				ЩМА-15 с добавкой Viatop-66			
	количество циклов замораживания и оттаивания							
	0	25	50	100	0	25	50	100
Предел прочности при 20°С, $R_{мрз}$ , МПа	4,8	4,42	4,03	3,7	4,3	3,87	3,61	3,1
Предел прочности при 50°С, $R_{мрз}$ , МПа	1,94	1,77	1,63	1,46	1,85	1,63	1,5	1,3
Коэфф. морозостойкости при 20°С, $k_{мрз}$	-	0,92	0,86	0,77	-	0,9	0,84	0,72
Коэфф. морозостойкости при 50°С, $k_{мрз}$	-	0,91	0,84	0,75	-	0,88	0,81	0,7
Водостойкость, $k_в$	0,99	0,95	0,91	0,89	0,92	0,9	0,86	0,83
Водостойкость при длительном водонасыщении, $k_{вод}$	0,91	0,84	0,79	0,77	0,82	0,78	0,76	0,73
Водонасыщение, $W$ , % по объему	1,88	1,93	1,94	2,01	1,81	1,82	1,86	1,96



Морозостойкость образцов ЦМА-15 составила не менее 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Коэффициент морозостойкости, водостойкость и водостойкость при длительном водонасыщении при температуре 20 и 50 °С после 100 циклов замораживания и оттаивания выше у ЦМА, модифицированного керамзитовым порошком. Показатели водонасыщения образцов из модифицированных составов ЦМА незначительно превышают аналогичные показатели образцов из ЦМА стандартных составов. Результаты экспериментальных исследований ЦМА, модифицированных керамзитовым порошком, свидетельствует о их повышенной долговечности.

**В четвертой главе** излагается разработка технологической схемы производства ЦМАС и оригинальной конструкции дорожной одежды с применением предложенных щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, представлены результаты опытно-промышленных испытаний и дана оценка технико-экономической эффективности применения указанных материалов при строительстве дорожных покрытий.

При разработке технологической схемы производства ЦМАС, модифицированных керамзитовым порошком, были поставлены следующие задачи: 1) установить оптимальную температуру перемешивания при приготовлении ЦМАС; 2) выявить рациональную схему последовательности подачи компонентов при объединении ЦМАС.

Оптимальную температуру перемешивания ЦМАС  $T_n$  определяли путем анализа зависимостей показателей прочности  $R_{20}$ , теплостойкости  $R_{50}$  и водостойкости ( $k_6$  и  $k_{60}$ ) образцов ЦМА-10 и ЦМА-15, модифицированных керамзитовым порошком, от температуры перемешивания. Температуру перемешивания изменяли с шагом в 5 °С, интервал варьирования температуры перемешивания составил 155 – 175 °С. Зависимости физико-механических свойств щебеночно-мастичных асфальтобетонов, модифицированных керамзитовым порошком, от  $T_n$  представлены на рисунках 5 и 6.

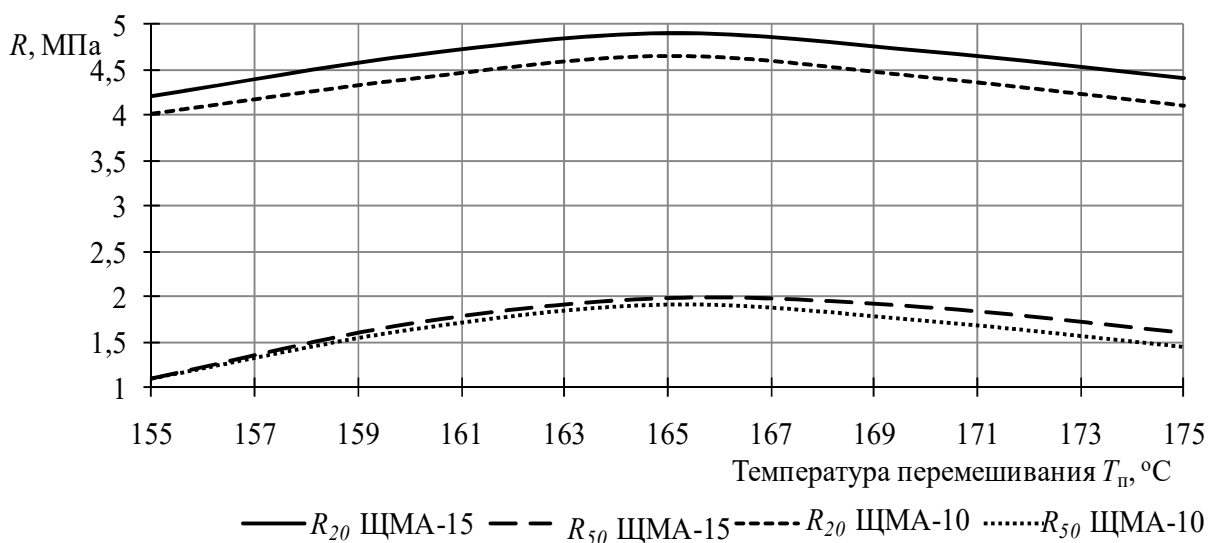


Рисунок 5 – Зависимости изменения пределов прочности при сжатии ЦМА, модифицированных керамзитовым порошком, от температуры перемешивания  $T_n$

Зависимости прочности, теплостойкости и водостойкости исследуемых материалов имеют экстремальный характер (рис. 5 и 6) и экстремумам соответствует температура перемешивания, равная 165 °С. Таким образом, с учетом технологических факторов производства асфальтобетонных смесей оптимальной температурой перемешивания  $T_n$  модифицированных керамзитовым порошком ЩМАС, следует считать  $165 \pm 1,5$  °С.

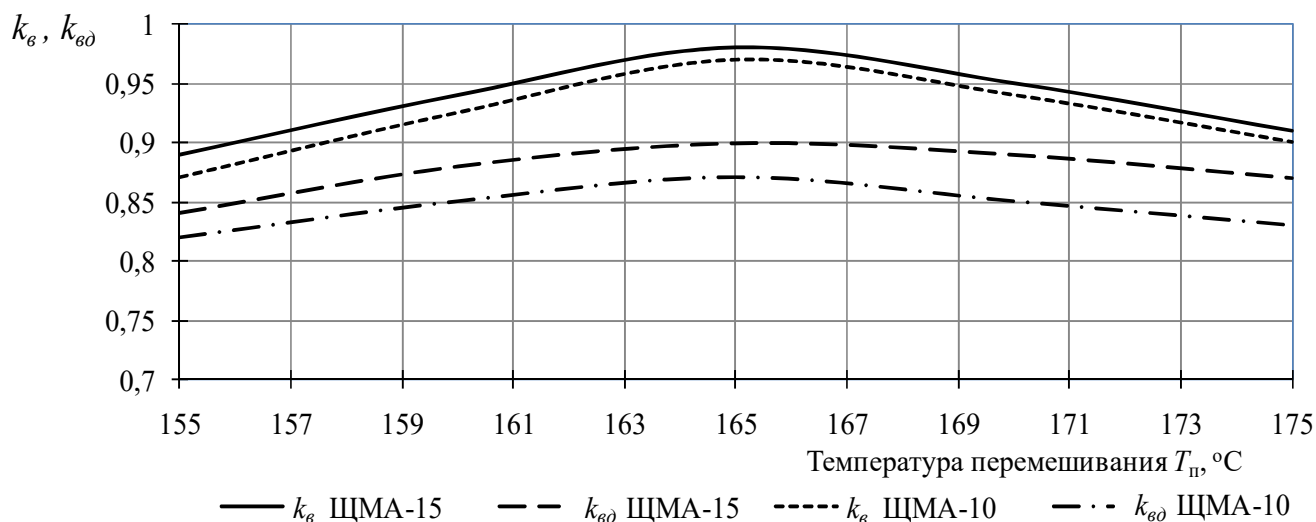


Рисунок 6 – Зависимости изменения водостойкости ЩМА, модифицированных керамзитовым порошком, от температуры приготовления  $T_n$

Исследование влияния последовательности введения компонентов ЩМАС в смеситель на свойства ЩМА, модифицированных керамзитовым порошком, проводили по двум схемам:

1 вариант: приготовление ЩМАС происходило по стандартной технологии: разогрев до требуемой температуры и дозирование минерального заполнителя (мз), активированного минерального порошка (мп), керамзитового порошка (кп) и битума (б); затем подача в смеситель и совместное перемешивание всех компонентов: мз + мп + кп + б;

2 вариант: нагретые до требуемой температуры и отдозированные минеральный заполнитель (мз) и битум (б) подаются в смеситель и перемешиваются, затем добавляется в смеситель отдозированный керамзитовый порошок (кп) и в заключение в смеситель подается отдозированный активированный минеральный порошок (мп): ((мз + б) + кп) + мп.

Из приготовленных по вышеизложенным вариантам модифицированных ЩМАС изготавливали образцы, которые испытывали на прочность при сжатии при 20 и 50 °С ( $R_{20}$ ,  $R_{50}$ ) и определяли водостойкость ( $k_g$  и  $k_{gd}$ ) и водонасыщение ( $W$ ). Результаты испытаний представлены в таблице 6. Наиболее высокими показатели прочности и водостойкости обладают ЩМА, полученные при использовании второй схемы, которая и является наиболее рациональной.

С учетом подбора оптимальных технологических параметров и режимов приготовления была разработана технология производства ЩМАС, модифицированных керамзитовым порошком, которая позволяет использовать

Таблица 6 – Физико-механические показатели ЩМА, модифицированных керамзитовым порошком, при различных схемах приготовления

Показатели	1 схема: мз + мп + кп + б		2 схема: ((мз + б) + кп) + мп	
	ЩМА-10	ЩМА-15	ЩМА-10	ЩМА-15
Предел прочности при сжатии, МПа: при 20°C, $R_{20}$ при 50 °C, $R_{50}$	4,12 1,61	4,31 1,67	4,52 1,8	4,73 1,88
Водостойкость, $k_e$	0,89	0,93	0,94	0,98
Водостойкость при длительном водонасыщении, $k_{вд}$	0,79	0,82	0,8	0,84
Водонасыщение, $W$ % по объему	2,4	2,31	2,25	2,1

стандартное современное оборудование, имеющееся на асфальтобетонных заводах или узлах (рисунок 7).

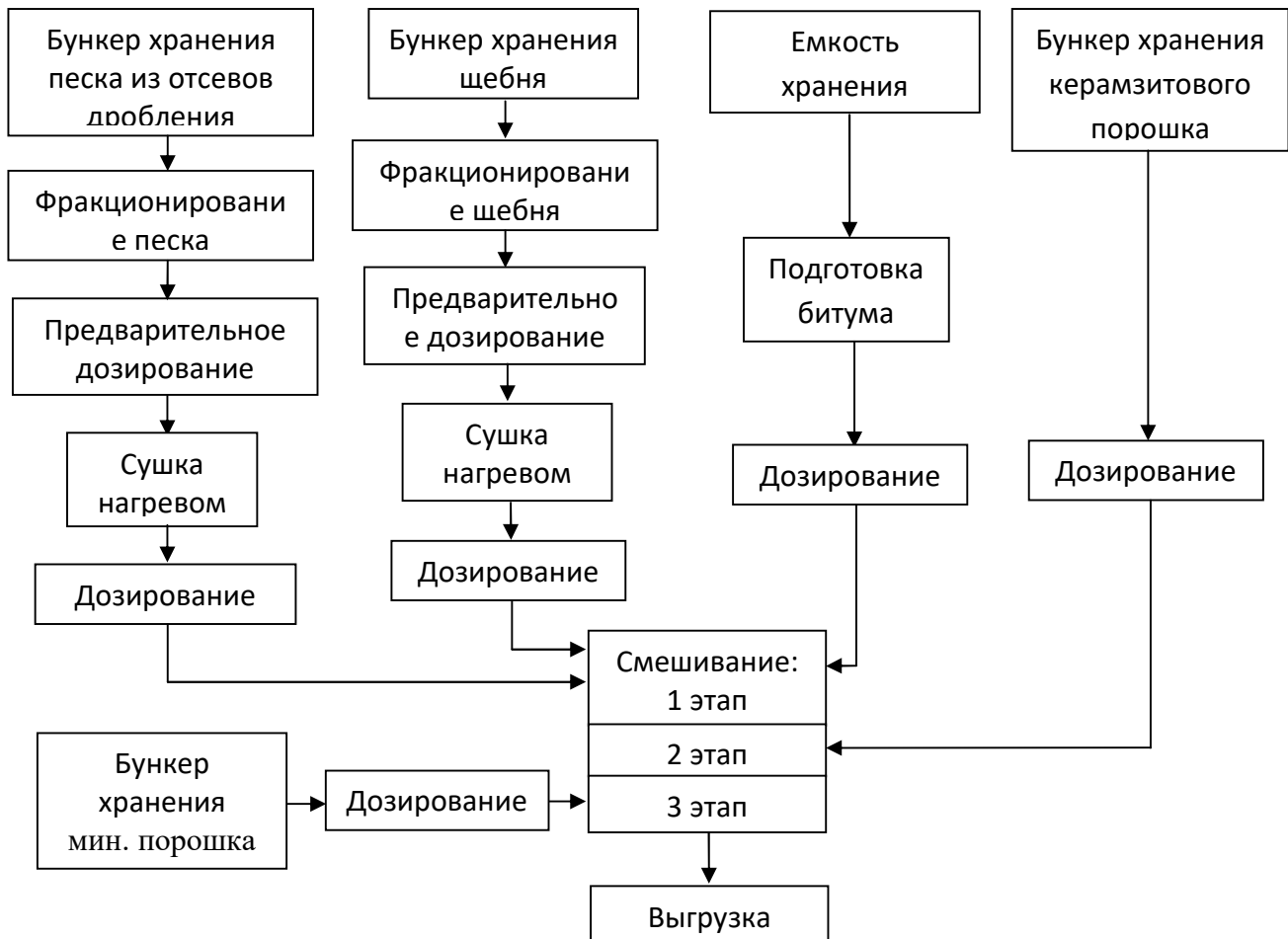


Рисунок 7 – Технологическая схема приготовления ЩМАС, модифицированных керамзитовым порошком

На основании анализа известных конструкций дорожных одежд с покрытиями из ЩМА разработана оригинальная конструкция дорожной одежды, включающая покрытие из разработанных составов ЩМАС, модифицированных керамзитовым порошком, состоящая из: подстилающего

слоя; слоя уплотненного песка, толщиной 360 мм; уплотненного щебня, толщиной 300 мм; слоя горячего крупнозернистого пористого асфальтобетона, толщиной 70 мм; слоя покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона, модифицированного керамзитовым порошком, толщиной 40 мм.

Летом 2013 года на АБЗ ООО «Джули» была выпущена опытно-промышленная партия щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси, модифицированной керамзитовым порошком, марки ЩМА-15 в количестве 102 т и уложена в верхний слой дорожной одежды в г. Ставрополе. Площадь покрытия составила 1050 м<sup>2</sup>, толщина покрытия – 4 см. Производство опытно-промышленной партии ЩМАС выполнялось по разработанной технологической схеме (рисунок 7). Визуальный осмотр опытного участка дороги после четырех лет эксплуатации (на 2-й квартал 2017 года) показал, что состояние покрытия, устроенного из опытно-промышленной партии модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона ЩМА-15, хорошее, на покрытии отсутствуют трещины, колеи, битумные пятна.

Был проведен расчет экономической эффективности от внедрения разработанных ЩМАС. Подтвержденный экономический эффект от снижения себестоимости производства и укладки 100 м<sup>2</sup> покрытия из предложенного ЩМА-15, модифицированного керамзитовым порошком по сравнению с ЩМА-15 со стабилизирующей добавкой Viatop-66 составил 1707 руб. на 100 м<sup>2</sup>. Ожидаемый экономический эффект от изменения себестоимости производства и укладки покрытия (при объеме 1000 м<sup>3</sup>) модифицированных ЩМА-15 составит 426,75 тыс. руб.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Итоги выполненного исследования.**

1. На основании критического анализа отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы обоснована и экспериментально подтверждена возможность применения в составах щебеночно-мастичных асфальтобетонов пористых порошковых материалов в качестве добавок, повышающих их качество и технологичность.

2. В результате теоретических исследований выявлены направления улучшения качества щебеночно-мастичных асфальтобетонов за счет повышения сдвигоустойчивости, трещиностойкости, морозостойкости щебеночно-мастичных асфальтобетонов и адсорбционной активности минерального материала щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей путем управления процессами структурообразования битумных связующих, на основании применения в их составах высокодисперсных пористых порошковых материалов в качестве структурирующих и стабилизирующих добавок.

3. На основании экспериментально установленных зависимостей влияния содержания различных пористых порошков на свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов установлено, что наиболее эффективным модификатором, позволяющим существенно снизить сегрегацию вяжущего в смеси и значительно повысить физико-механические и эксплуатационные свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонов, является керамзитовый порошок. Это

обуславливается выявленными на микроуровне особенностями структуры и топографии поверхности высокодисперсных частиц керамзита, которые обладают высокоразвитой шероховатой поверхностью, осложненной пиками, микротрещинами, неровностями и большим количеством различных по размерам и форме пор.

4. Разработаны рациональные составы щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей, модифицированных керамзитовым порошком. Отличительной особенностью предложенных составов щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей является использование добавки из керамзитового порошка фракций менее 0,16 мм в количестве  $2,5 \pm 0,03$  % сверх массы минерального материала взамен рекомендованных ГОСТ стабилизирующих добавок.

5. Исследованиями зависимостей реологических параметров щебеночно-мастичных асфальтобетонов от эксплуатационных температур выявлено, что щебеночно-мастичные асфальтобетоны, с применением керамзитового порошка, обладают повышенной деформационной устойчивостью при высоких эксплуатационных температурах (60 °С) и повышенной деформативностью при отрицательных температурах (–10 °С), по сравнению со стандартными составами ЩМА. Результаты реологических исследований хорошо согласуются с результатами исследований сдвигоустойчивости, трещиностойкости, морозостойкости и долговечности предложенных ЩМА. Экспериментально установлено, что наличие керамзитового порошка в составах ЩМАС повышает сдвигоустойчивость (сцепление  $C_\pi$  12,5 – 29 %, коэффициент внутреннего трения  $tg\varphi$  на 1 – 2 %), трещиностойкость (предел прочности на растяжение при расколе  $R_p$  на 6 – 8 %), морозостойкость и долговечность щебеночно-мастичных асфальтобетонов.

6. Разработана технологическая схема производства модифицированных керамзитовым порошком щебеночно-мастичных асфальтобетонов, позволяющая использовать стандартное современное оборудование, применяемое для производства традиционных щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. В результате оптимизации технологии приготовления модифицированных ЩМАС определена оптимальная температура перемешивания смеси в процессе приготовления  $T_n$ , которая составила  $165 \pm 2$  °С, и установлена рациональная схема порядка введения компонентов ЩМАС в смеситель, заключающаяся в последовательной подаче и перемешивании нагретых и дозированных минерального заполнителя (мз) и битумного вяжущего (б), затем керамзитового порошка (кп) и, в заключение, минерального наполнителя (мп): ((мз + б) + кп) + мп. Соблюдение предложенных технологических режимов и параметров обеспечивает образование наиболее эффективной структуры ЩМА и получение наиболее высоких значений физико-механических и эксплуатационных показателей материала.

7. Подтвержденный экономический эффект от снижения себестоимости производства и укладки 100 м<sup>2</sup> покрытия из предложенного щебеночно-мастичного асфальтобетона марки ЩМА-15, модифицированного

керамзитовым порошком, по сравнению с ЩМА-15 со стабилизирующей добавкой Viator-66, составил 1707 руб. на 100 м<sup>2</sup>.

**Рекомендации.** Разработанные в диссертационной работе щебеночно-мастичные асфальтобетоны, модифицированные керамзитовым порошком, могут быть применены для устройства верхних слоев покрытий автомобильных дорог, городских улиц, площадей, мостов и аэродромов.

**Перспективы дальнейшей разработки темы.** Дальнейшим развитием темы является следующее:

1. Разработка и проектирование составов всего спектра марок ЩМА, модифицированных керамзитовым порошком.

2. Углубленные экспериментальные исследования влияния применения пористых порошковых материалов в асфальтовяжущих ЩМАС на основе различных марок битумов и разработка физико-химических основ их применения в ЩМА.

3. Разработка технической документации, технических регламентов на производство и укладку предложенных составов ЩМА.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

### **Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Казарян, С. О. Щебеночно-мастичные асфальтобетоны, модифицированные высокодисперсными отсевами дробления керамзита и перлита / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, М. Ч. Ионов, Е. В. Гордиенко // Строительные материалы. – 2014. – № 1-2. – С. 72-74.

2. Казарян, С. О. Влияние высокодисперсных отсевов дробления керамзита на структуру и свойства ЩМА / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, М. Ч. Ионов, О. А. Борисенко // Строительные материалы. – 2015. – № 5. – С. 82-86.

3. Казарян, С. О. Эффективные стабилизирующие добавки на основе высокодисперсных пористых материалов для ЩМА / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, М. Ч. Ионов, О. А. Борисенко / Дороги и мосты. – 2015. – Вып. № 33. 285–296 С.

### **Патенты на изобретения:**

4. Казарян, С. О. Патент 2603310 Российская Федерация МПК E01C 7/18, C04B 26/26. Дорожная одежда / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»; заявлено 07.09.2015; опубликовано 27.11.2016, Бюл. № 33 – 7 с.

### **Публикации в других изданиях:**

5. Казарян, С. О. Зависимость свойств битумоминеральных композиций от происхождения, количества и физико-механических показателей минеральных порошков / С. О. Казарян, А. А. Солдатов, Ю. Г. Борисенко, Е. В. Гордиенко / Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону: материалы XIV научной конференции. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2010. – Т. 1. – С. 279-280.

6. Казарян, С. О. Исследование температурной устойчивости легких битумоминеральных композиций / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, О. А. Борисенко, В. В. Лынный / Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону: материалы XIV научной конференции. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2010. – Т. 1. – С. 252-253.

7. Казарян, С. О. Влияние удельной поверхности минерального порошка на структуру и качество асфальтобетона / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, Т. С. Калмыкова / Материалы XL научно-технической конференции по итогам работы профессорско-преподавательского состава СевКавГТУ за 2010 год. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2011. – Т. 1. – С. 244.

8. Казарян, С. О. Температурная устойчивость асфальтобетонов на легких пористых заполнителях / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, А. Ю. Борисенко / Вузовская наука – Северо-Кавказскому региону: материалы XLI научной конференции. – Ставрополь: СевКавГТУ, 2012. – Т. 1. – С. 193.

9. Казарян, С. О. Пути повышения качества щебеночно-мастичных асфальтобетонов / С. О. Казарян Ю. Г. Борисенко, // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы международной научно-практической конференции. – ПНИПУ, Пермь, 2012. – С. 44-48.

10. Казарян, С. О. Асфальтобетон, модифицированный фосфогипсом / S. O. Kazaryan Y. G. Borisenko, O. A. Borisenko, A. A. Soldatov, S. O. Yasin, E. V. Gordienko // International Scientific and Practical Conference (ISPC) London 3rd Inter-national Scientific and Practical Conference "Science and Society" Vol.1 London 20-21 March 2013, – p. 38-50.

11. Казарян, С. О. Регулирование структуры и свойств ЩМА путем применения стабилизирующих добавок на основе высокодисперсных пористых материалов / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, Е. В. Ресть // Наука. Инновации. Технологии. Ставрополь: 2013. № 3. – С. 49-56.

12. Казарян, С. О. Применение порошковых отсеков дробления керамзита в составах ЩМА / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, А. Ю. Борисенко // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Тенденции формирования науки нового времени» Часть 4. Уфа, РИЦ БашГУ, 2014. – С. 61-65.

13. Казарян, С. О. Перспективные стабилизирующие добавки для ЩМА / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, Е. В. Ресть // Сборник статей Международной научно-технической конференции. «Композиционные строительные материалы. Теория практика» – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2014. – С. 63-65.

14. Казарян, С. О. Пути повышения качества щебеночно-мастичных асфальтобетонов / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, С. О. Казарян, А. Ю. Борисенко // Материалы всероссийской научно-технической конференции «Высокотехнологичные и энергоэффективные технологии и материалы в современном строительстве». ДГТУ, Махачкала, 2014. – С. 33-36.

15. Казарян, С. О. Эффективность применения стабилизирующих добавок из порошковых пористых материалов в ЩМА / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, Е. В. Ресть // Инженерные системы и сооружения. Воронеж: 2014. № 4 (17). – С.141-146.
16. Казарян, С. О. Пористые наполнители в составах ЩМА / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, Э. Г. Бранда // Материалы III ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». Ставрополь, 2015. – С. 110-112.
17. Казарян, С. О. Состояние вопроса и методы повышения качества ЩМА / С. О. Казарян, А. В. Дунаенко, Д. А. Воробьев, Д. П. Швачев // Материалы III ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». Ставрополь, 2015. – С. 138-142.
18. Казарян, С. О. Повышение деформационной устойчивости покрытий из щебеночно-мастичных асфальтобетонов путем их модификации добавками на основе керамзитового порошка / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, С. В. Рудак // Материалы IV всероссийского дорожного конгресса «Перспективные технологии в строительстве и эксплуатации автомобильных дорог». МАДИ, Москва, 2015. – С. 60-66.
19. Казарян, С. О. Физико-химические основы применения пористых минеральных порошков в битумоминеральных композициях / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, О. А. Борисенко, М. А. Селимов // Дороги и мосты. – 2016. – Вып. № 35. 263–281 С.
20. Казарян, С. О. Влияние эффекта избирательной фильтрации на взаимодействие битумных вяжущих с пористыми минеральными материалами / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко, О. А. Борисенко // Материалы V ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». Ставрополь, 2017. – С. 111-116.
21. Казарян, С. О. Применение стабилизирующих добавок для повышения сегрегационной устойчивости щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей / С. О. Казарян, Ю. Г. Борисенко // Материалы V ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону». Ставрополь, 2017. – С. 116-122.