

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-3>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/105TVN316.pdf>

Статья опубликована 28.06.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Васильев Ю.Э., Андронов С.Ю., Тимохин Д.К., Репин А.М., Репина О.В., Талалай В.В. Серосодержащие композиционные материалы для транспортного строительства // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/105TVN316.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 625.7/8

Васильев Юрий Эммануилович

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Россия, Москва¹
Доктор технических наук, профессор
E-mail: vashome@yandex.ru

Андронов Сергей Юрьевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
Доцент кафедры «Транспортное строительство»
Кандидат технических наук
E-mail: atomic08@yandex.ru

Тимохин Денис Константинович

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: voiced@list.ru

Репин Александр Михайлович

ООО «ПАРИТЕТ-КОНТРОЛЬ», Россия, Москва
Инженер по качеству
E-mail: am.repin@yandex.ru

Репина Оксана Владимировна

ООО ФСК «Мостоотряд-47», Россия, Москва
Инженер ПТО
E-mail: oks-bunina@yandex.ru

Талалай Виктор Вячеславович

ООО «ПАРИТЕТ-КОНТРОЛЬ», Россия, Москва
Инженер ПТО
E-mail: talalay@bk.ru

Серосодержащие композиционные материалы для транспортного строительства

Аннотация. Организация производства серосодержащих композиционных материалов в транспортном, гидротехническом и других областях строительства позволит получить новые экологические чистые материалы, которые обладают пониженной энергоемкостью и

¹ 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64, комната 133

обеспечивают надежную работу в условиях знакопеременных температур и агрессивных сред без увеличения их стоимости по сравнению с традиционно применяемыми материалами.

Исследования в области производства серосодержащих композиционных материалов проводились в МАДИ. Отсутствие в составе серобетона привычных компонентов – цемента и воды обеспечивает формирование плотного материала, характеризующегося высокими параметрами морозостойкости, недостижимыми для традиционных бетонов на основе портландцемента. Серобетон представляет собой фактически разновидность полимербетона, роль вяжущего в котором выполняет сера, но не техническая, а соответствующим образом модифицированная, для придания приготовляемым серобетонным смесям требуемых технологических характеристик, а получаемому серобетону – необходимых физико-механических и химических свойств.

Ключевые слова: бетон; сера; серобетон; производство; контроль; качество; модификация; полимербетон; сырье; отход; экология; испытания; трещина дорожное покрытие; асфальтобетон; колея; износ; методы испытаний; лабораторные испытания; испытательные комплексы; нагрузка; скорость движения

Введение

Серный бетон - специальный бетон, характеризующийся высокой морозостойкостью и стойкостью в агрессивных средах, что обеспечивает его надежную работу во всех видах инженерного, промышленного и гражданского строительства. Организация производства серосодержащих композиционных материалов в транспортном, гидротехническом и других областях строительства позволит получить новые экологические чистые материалы, которые обладают пониженной энергоемкостью и обеспечивают надежную работу в условиях знакопеременных температур и агрессивных сред без увеличения их стоимости по сравнению с традиционно применяемыми материалами [1-2].

Транспортные объекты отличаются сложными условиями эксплуатации. На них воздействует целый комплекс различных деструктивных факторов, к которым относятся:

- знакопеременные температуры, влияющие на дорожные конструкции в сочетании с увлажнением и высыханием;
- химическая агрессия, вызываемая широко применимыми противогололедными добавками;
- динамическое воздействие со стороны транспортных средств [2-4].

В качестве инновационного материала, успешно противостоящего названным факторам, возможно применение бетона на основе серы – серобетона [5-10].

Более полная информация по вопросу исследований представлена в технической литературе [11-26].

Обсуждение проблемы

Примеры получения преимущества использования композитов серы с каменным материалом: на обычном песке пескосеробетон с маркой 600 получается, а на портландцементе не получается (близкий аналог полимеров – фибробетон); литые асфальты – хорошая приживаемость с водой с металлами, безразличны к температуре, к высоким положительным и к отрицательным температурам до -26°C ; малые формы можно изготавливать из литого асфальтобетона и бетона; высокая технологичность серы

определяется возможностью производства работ в условиях вибрации; у материала слабая зависимость от влияния низких температур [4].

Сера в составе серобитумных композиций применяется для получения сероасфальта, а в качестве заместителя портландцемента — для получения серобетона. Сера доступна к использованию, находится на крупных полигонах хранения как побочный продукт газо- и нефтедобычи. Отличается в местах хранения и в состоянии поставки достаточно высокими характеристиками однородности по физическим, химическим и механическим свойствам.

Серобетон следует относить к специальным видам композиционных материалов, при изготовлении которых в качестве вяжущего применяется модифицированная сера.

Исследования в области производства серосодержащих композиционных материалов проводились в МАДИ. Отсутствие в составе серобетона привычных компонентов – цемента и воды обеспечивает формирование плотного материала, характеризующегося высокими параметрами морозостойкости, недостижимыми для традиционных бетонов на основе портландцемента. Серобетон представляет собой фактически разновидность полимербетона, роль вяжущего в котором выполняет сера, но не техническая, а соответствующим образом модифицированная, для придания приготовляемым серобетонным смесям требуемых технологических характеристик, а получаемому серобетону – необходимых физико-механических и химических свойств.

При получении серобетона требуется существенно меньше затрат энергии, чем для традиционного цементобетона, что связано с гигантской энергоемкостью производства портландцемента. Достаточно большие затраты энергии связаны с обеспечением процесса набора прочности бетонных изделий, в том числе в ходе тепловлажностной обработки.

В процессе производства не следует учитывать затраты энергии на получение серы, так как она образуется в виде попутного техногенного продукта в нефтяной, газовой и металлургической промышленности. По этой причине энергетические затраты связаны исключительно с производством серобетонных смесей, представляющих собой «горячий» процесс при температурах 120-140°C. Суммарные энергетические затраты на производство 1 м³ серобетона составляют 250 МДж, в то время как применительно к традиционному бетону на основе портландцемента эта величина составляет около 2500 МДж.

Производство серобетона возможно организовать на любом асфальтобетонном заводе (АБЗ) после его модернизации в минимальных объемах, что связано с обеспечением хранения серы, установкой систем ее подачи в технологический процесс и дозирования.

Освоение технологии производства серобетонных смесей обеспечивает реальную возможность перевода асфальтобетонного завода на круглогодичный режим работы. В теплое время года АБЗ обеспечит выпуск традиционных асфальтобетонных смесей, а в холодное серобетонных. Приготовление серобетонной смеси не требует существенной модернизации предприятия и может быть организовано без каких-либо температурных ограничений.

При производстве сборных изделий из серобетона на территории АБЗ следует организовать формовочный цех с необходимым парком форм и уплотняющего оборудования, а при производстве монолитных конструкций из серобетонных смесей предусматривать их транспортирование в обогреваемых термобункерах, которые массово используются для транспортирования литых асфальтобетонных смесей.

Чтобы сера выполняла функцию вяжущего в серобетоне необходимо перевести ее в расплавленное состояние, т.е. задать температуру несколько выше температуры плавления серы - 119,3°C. Однако для обеспечения экологичности производства температура

серосодержащей смеси не должна превышать 160°C, что фактически определяет температурные условия производства серобетонной смеси.

Формирование серобетона связано исключительно с процессом остывания серобетонной смеси и с кристаллизацией серы. В тоже время сера может находиться в различных аллотропных состояниях и расплав серы кристаллизуется при температуре 119,3°C с образованием моноклиновой β -модификации плотностью 1,96 г/см³, а при 95,6°C сера переходит в ромбическую α -модификацию серы, имеющую плотность 2,07 г/см³.

Такие процессы вызывают существенные линейные и объемные усадочные деформации материала, что неминуемо приводит к значительным деструктивным изменениям.

Применение немодифицированной серы не обеспечивает возможность производства серобетонных изделий и конструкций. В связи с этим организация производства серобетона сопряжена с рядом проблем, таких как низкая термо- и огнестойкость материала, повышенная хрупкость, низкая стойкость в щелочных средах, подверженность воздействию анаэробных тионовых бактерий. Эти и некоторые другие вопросы можно частично устранить путем подбора оптимальных составов модифицированной серы за счет использования различных модификаторов и пластификаторов, а также соответствующим подбором бетонной смеси.

Для устранения названных проблем разработаны методы комплексной модификации серы, в процессе которой образуется сополимерная сера, обеспечивающая щелочестойкость и бактериостойкость серобетонных изделий, их термостойкость.

Модификация серы предполагает уменьшить процесс ее перекристаллизации, что достигается за счет перевода части серы в полимерном состоянии с образованием сополимера. За рубежом наиболее широко применяется технология с использованием дициклопентадиена, что обеспечивает получение сополимерной серы с высокими технологическими показателями. Однако эта технология не гарантирует стойкости композитов в щелочных средах, а также имеются данные о токсичности получаемого продукта.

Разработанная в МАДИ технология модификации серы за счет применения комплексного модификатора на основе этилиденнорбетона (ЕНБ) обеспечивает при значительно меньших количествах модификатора повышение стойкости серобетона в кислых и основных средах, а также исключает токсичность материала.

Внешний вид использованного цифрового микроскопа с 200-кратным увеличением, управляемого от ноутбука, представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Цифровой микроскоп с 200-кратным увеличением (фото авторов)

Технические характеристики цифрового микроскопа:

1. Операционная система: Windows XP/Vista/Windows 7 и Mac OS.
2. PC-интерфейс: USB 2.0. Размер матрицы: 2.0 Мпикс.
3. Разрешение 1600 × 1200, 1280 × 960, 640 × 480.
4. Цвет: YUV или 24-bit RGB.
5. Объектив: двойная линза Axis 27X & 100X.
6. Диапазон фокусировки: от 8 до 5300 мм.
7. Увеличение: от 10X до 200X.
8. Баланс белого: автоматический.
9. Выдержка: автоматическая.
10. Источник света: 8 регулируемых светодиодов.
11. Питание: 5V DV через USB-порт.
12. Размер: 120 × 36 мм.
13. Длина USB-кабеля: не более 2 м.

Комплектация микроскопа: USB-микроскоп; CD-ROM (программное обеспечение) и краткое руководство пользователя; стойка (пластик); калибровочная шкала; прозрачные насадки – 2 шт.

Системные требования для установки программного обеспечения:

1. ОС: Windows XP SP2/Vista/Windows 7/Mac OS.
2. Процессор: Pentium IV 1.0G, Celeron, AMD Athlon.
3. CD-ROM.
4. Свободный USB-порт (если это USB 1.1, используйте программу MiViewCap-Beta.exe, находящуюся на CD).
5. 512 MB RAM.
6. 100 MB свободного места на диске.
7. Видеокарта: 16-bit.

Функции цифровой обработки, используемые в программном обеспечении цифрового микроскопа (измерения в камеральном режиме): линии, от линии к точке, расстояние между параллельными линиями, кривая, квадрат.

В процессе проведения исследований была изготовлена опытная партия тротуарной плитки из серобетона. На рисунке 2 представлен внешний вид плитки сверху, на рисунке 3 – снизу.



Рисунок 2. Фотография серобетонной тротуарной плитки сверху (фото авторов)



Рисунок 3. Фотография серобетонной тротуарной плитки снизу (фото авторов)

На основе цифрового микроскопа были сделаны фотографии с увеличением до 200, две из них представлены на рисунках 4 и 5.

Следует отметить, что обнаружена лишь одна волосяная трещина толщиной не более 0,1 мм на внутренней поверхности тротуарной плитки.

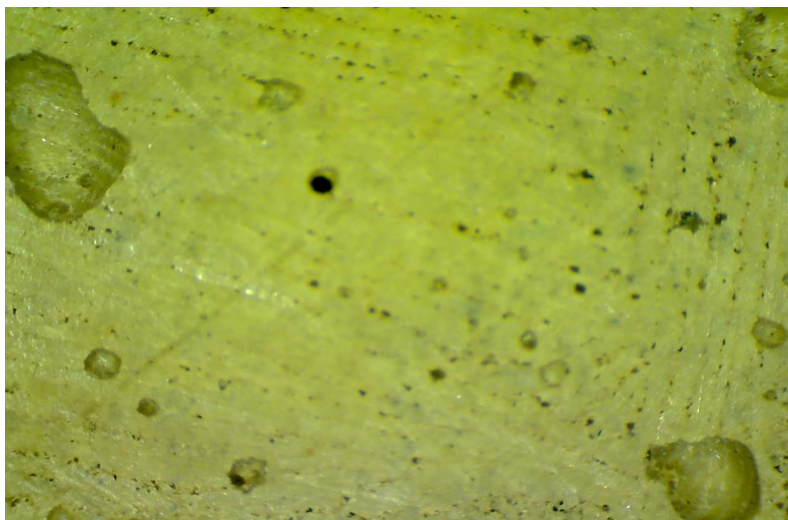


Рисунок 4. Фотография серобетонной тротуарной плитки с помощью цифрового микроскопа (фото авторов)

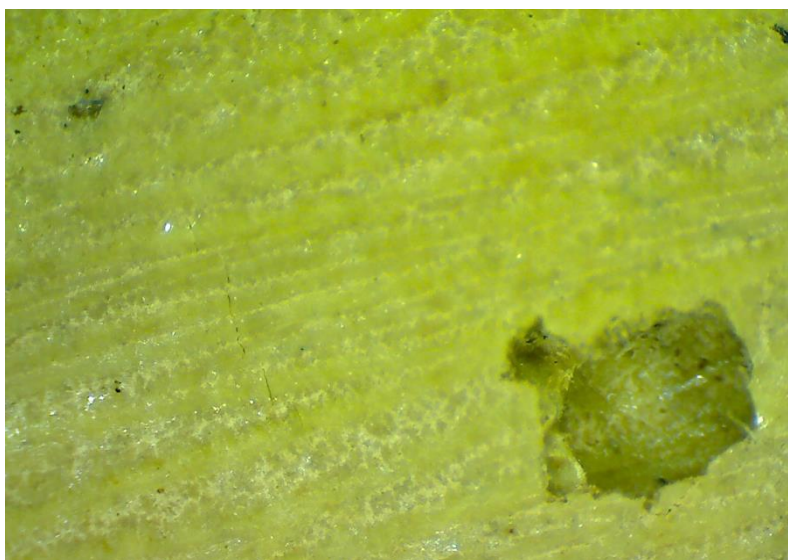


Рисунок 5. Фотография серобетонной тротуарной плитки с помощью цифрового микроскопа (фото авторов)

Обсуждение результатов. Выводы

На фотографии серобетонной тротуарной плитки (рисунок 5), полученной с помощью цифрового микроскопа зарегистрировано наличие волосяной трещины толщиной не более 0,1 мм, что совершенно удовлетворительно для промышленного производства изделий дорожно-строительного назначения.

На фотографиях размеры каверн не превосходят 1,0 мм.

Концентраторы напряжения на полученных образцах практически отсутствуют.

Наличие в песке повышенного содержания пылеватых и глинистых частиц неминуемо вызывает увеличение водопотребности бетонной смеси, и как следствие – снижение прочностных показателей бетона, а также его морозостойкость и коррозионной стойкости.

В составе серобетонной смеси пылеватые и глинистые частицы могут рассматриваться как тонкодисперсный наполнитель, наличие которого никак не сказывается на свойствах

серобетона. При отсутствии воды в технологии серобетона исключается опасность повышения водопотребности бетонной смеси, свойственной данным смесям, приготовленным на основе портландцемента, и обусловленной наличием пылеватых и глинистых частиц в заполнителях.

В связи с этим данные примеси не оказывают влияния на такие параметры свойств серобетона как водостойкость и морозостойкость. Также при производстве бетонов на основе портландцемента к заполнителям предъявляются требования по содержанию вредных примесей. Связано это с тем, что вредные примеси в бетоне могут вызвать снижение прочности и долговечности бетона, ухудшения качества поверхности и внутреннюю коррозию бетона и арматуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Статистические методы организации контроля качества при производстве дорожно-строительных материалов / Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В., Шляфер В.Л. // Качество. Инновации. Образование. 2011. №5 (72). С. 46-51.
2. Проектирование структуры информационного обеспечения системы менеджмента качества дорожного хозяйства / Кочетков А.В., Гладков В.Ю., Немчинов Д.М. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. №3 (16). С. 72.
3. Применение геоимплантатных конструкций для создания экопаркингов / Янковский Л.В., Кочетков А.В. // Экология и промышленность России. 2011. №5. С. 32-34.
4. Организационно-экономический механизм инновационной деятельности дорожного хозяйства / Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В., Янковский Л.В. // Инновационный Вестник Регион. 2012. №4. С. 40-45.
5. Перспективы развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве / Кочетков А.В., Янковский Л.В. // Инновационный транспорт. 2014. №1 (11). С. 42-45.
6. Васильев Ю.Э. Физико-химические основы применения серы как материала в качестве вяжущего для сероасфальтобетона и сероцементобетона // Васильев Ю.Э., Мотин Н.В., Сарычев И.Ю., Кочетков А.В. Сборник материалов международной научной конференции, Россия, город Киров, 24-25 июня 2013 года. Под редакцией А.В. Кочеткова. - Киров, 2013. - С. 64-71.
7. Королев И.В., Ларина Т.Д. Реологические свойства битумов, наполненных инертным порошком // Изв. Вузов. Стр-во и архит. 1981. №5. С. 80-84.
8. Жданов Ю.К. Берегоукрепительные асфальтобетонные покрытия в условиях Сибири // Транспортное строительство. 1965. №4. - С. 51-52.
9. Глебов П.Д., Попченко С.Н. Перспективы применения асфальтобетонных блицовок в гидротехническом строительстве // Гидротехническое строительство. 1969. №8. - С. 10-12.
10. Урьев Н.Б., Михайлов Н.В., Ребиндер П.А. О тиксотропном восстановлении в покое и в стационарном ламинарном потоке коагуляционных структур, разрушенных вибрацией // ДАН СССР. 1969. Т. 186. №2. С. 337- 380.

11. Рыбьев И.А. Асфальтовые бетоны. - М: Высшая школа. 1968. 339с.
12. Ван Асбек В.Ф. Применение битумов в гидротехническом строительстве / Пер. с нем. С.Н. Попченко и В.В. Эйсмонт. - Л.: Энергия. 1975. 280 с.
13. Бадалов В.В. Исследования катков при уплотнении асфальтобетонных дорожных покрытий: Автореф. дис. канд. техн. наук. – ЛИСИ. 1974. 18 с.
14. Кострин К.В. Тысячелетняя история асфальта // Автомобильные дороги. 1965. №12. С. 27-28.
15. Цытшер Ф.Ф. Применение асфальтобетонных покрытий для укрепления берегов. – М.: Стройиздат. 1964. 411 с.
16. Исаев С.И., Коженев А.И., Кофанов В.И. и др. Теория тепломассообмена. - М.: Высшая школа. 1979. 495 с.
17. Каргин В.А., Слонимский Г.Д. Краткие очерки по физико-химии полимеров. - М.: Химия. 1967. 142 с.
18. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. Изд. 3-е. - М.: Химия. 1978. 548 с.
19. Нестеров А.Е., Липатов Ю.С. Термодинамика растворов и смесей полимеров. - Киев: Наукова думка. 1984. 300 с.
20. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н. Переход «беспорядок - порядок» в структуре композиционных строительных материалов // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. 1988. №1. С. 47-55.
21. Соломатов В.И. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов // Новые композиционные материалы в строительстве. Саратов, 1981. С. 8.
22. Соломатов В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных строительных материалов // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. 1985. №8. С. 58-64.
23. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н., Пронин А.П. Кластеры в структуре и технологии композиционных строительных материалов // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. 1983. №4. С. 56-61.
24. Broadbent S.R., Hammersley J.M. Proc. Camb. Phil. Soc. 1957. Vol. 53, № 629. P. 629-645.
25. Радовский Б.С. Вероятностно-геометрический подход к структуре и оценке физико-механических свойств материалов дорожной конструкции // Актуальные вопросы механики дорожных одежд. 1992. С. 4-36.
26. Слепая Б.М. Исследование влияния резинового порошка на свойства дорожного асфальтобетона. Балашиха. Изд-во СоюздорНИИ, 1972. 17 с.

Vasil'ev Yuriy Emmanuilovich

Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), Russia, Moscow
vashome@yandex.ru

Andronov Sergey Yuryevich

Saratov state technical university of Gagarin Yu.A., Russia, Saratov
E-mail: atomic08@yandex.ru

Timokhin Denis Konstantinovich

Saratov state technical university of Gagarin Yu.A., Russia, Saratov
E-mail: voiced@list.ru

Repin Alexander Mikhaylovich

JSC PARITET-KONTROL, Russia, Moscow
E-mail: am.repin@yandex.ru

Repina Oksana Vladimirovna

JSC Mostootryad-47 FGC, Russia, Moscow
E-mail: oks-bunina@yandex.ru

Talalai Viktor Vyacheslavovich

JSC PARITET-KONTROL, Russia, Saratov
E-mail: talalay@bk.ru

Sulfur-containing composite materials for transport construction

Abstract. The organization of production of sulfur-containing composite materials in transport, hydrotechnical and other areas of construction will allow to receive new ecological pure materials which possess the lowered power consumption and ensure reliable functioning in the conditions of sign-variable temperatures and hostile environment without increase in their cost in comparison with traditionally applied materials. Researches in the field of production of sulfur-containing composite materials were conducted in MADI. Absence as a part of a serobeton of habitual components – cement and water provides formation of the dense material which is characterized by the high parameters of frost resistance unattainable for traditional concrete on the basis of a portlandtsement. Serobeton represents actually a kind of the polimerbeton, a role knitting in which sulfur, but not technical, and appropriately modified, for giving to the prepared serobetonny mixes of the demanded technical characteristics, and to the received serobeton – necessary physicomеchanical and chemical properties carries out.

Keywords: concrete; sulfur; серобетон; production; control; quality; modification; полимербетон; raw materials; withdrawal; ecology; ispytaniye; crack paving; asphalt concrete; track; wear; test methods; laboratory researches; test complexes; loading; movement speed

REFERENCES

1. Statisticheskie metody organizatsii kontrolya kachestva pri proizvodstve dorozhno-stroitel'nykh materialov / Kochetkov A.V., Vasil'ev Yu.E., Kamenev V.V., Shlyaf'er V.L. // Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie. 2011. №5 (72). S. 46-51.
2. Proektirovanie struktury informatsionnogo obespecheniya sistemy menedzhmenta kachestva dorozhnogo khozyaystva / Kochetkov A.V., Gladkov V.Yu., Nemchinov D.M. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. №3 (16). S. 72.
3. Primenenie geoimplantatnykh konstruksiy dlya sozdaniya ekoparkingov / Yankovskiy L.V., Kochetkov A.V. // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2011. №5. S. 32-34.
4. Organizatsionno-ekonomicheskii mekhanizm innovatsionnoy deyatel'nosti dorozhnogo khozyaystva / Arzhanukhina S.P., Sukhov A.A., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. // Innovatsionnyy Vestnik Region. 2012. №4. S. 40-45.
5. Perspektivy razvitiya innovatsionnoy deyatel'nosti v dorozhnom khozyaystve / Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. // Innovatsionnyy transport. 2014. №1 (11). S. 42-45.
6. Vasil'ev Yu.E. Fiziko-khimicheskie osnovy primeneniya sery kak materiala v kachestve vyazhushchego dlya seroasfal'tobetona i serotsementobetona // Vasil'ev Yu.E., Motin N.V., Sarychev I.Yu., Kochetkov A.V. Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Rossiya, gorod Kirov, 24-25 iyunya 2013 goda. Pod redaktsiyey A.V. Kochetkova. - Kirov, 2013. - S. 64-71.
7. Korolev I.V., Larina T.D. Reologicheskie svoystva bitumov, napolnennykh ineral'nym poroshkom // Izv. Vuzov. Str-vo i arkhitekt. 1981. №5. S. 80-84.
8. Zhdanov Yu.K. Beregoukrepitel'nye asfal'tobetonnye pokrytiya v usloviyakh Sibiri // Transportnoe stroitel'stvo. 1965. №4. - S. 51-52.
9. Glebov P.D., Popchenko S.N. Perspektivy primeneniya asfal'tobetonnykh blitsovok v gidrotekhnicheskom stroitel'stve // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 1969. №8. - S. 10-12.
10. Ur'ev N.B., Mikhaylov N.V., Rebinder P.A. O tiksotropnom vosstanovlenii v pokoe i v statsionarnom laminarnom potoke koagulyatsionnykh struktur, razrushennykh vibratsiyey // DAN SSSR. 1969. T. 186. №2. S. 337- 380.
11. Ryb'ev I.A. Asfal'tovye betony. - M: Vysshaya shkola. 1968. 339s.
12. Van Asbek V.F. Primenenie bitumov v gidrotekhnicheskom stroitel'stve / Per. s nem. S.N. Popchenko i V.V. Eysmont. - L.: Energiya. 1975. 280 s.
13. Badalov V.V. Issledovaniya katkov pri uplotnenii asfal'tobetonnykh dorozhnykh pokrytiy: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. – LISI. 1974. 18 s.
14. Kostin K.V. Tysyacheletnyaya istoriya asfal'ta // Avtomobil'nye dorogi. 1965. №12. S. 27-28.
15. Tsytshe'v F.F. Primenenie asfal'tobetonnykh pokrytiy dlya ukrepleniya beregov. – M.: Stroyizdat. 1964. 411 s.
16. Isaev S.I., Kozhenov A.I., Kofanov V.I. i r. Teoriya teplomassoobmena. - M.: Vysshaya shkola. 1979. 495 s.

17. Kargin V.A., Slonimskiy G.D. Kratkie ocherki po fiziko-khimii polimerov. - M.: Khimiya. 1967. 142 s.
18. Tager A.A. Fizikokhimiya polimerov. Izd. 3-e. - M.: Khimiya. 1978. 548 s.
19. Nesterov A.E., Lipatov Yu.S. Termodinamika rastvorov i smesey polimerov. - Kiev: Naukova dumka. 1984. 300 s.
20. Solomatov V.I., Bobryshev A.N. Perekhod «besporyadok - poryadok» v strukture kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov // Izv. Vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1988. №1. S. 47-55.
21. Solomatov V.I. Polistrukturnaya teoriya kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov // Novye kompozitsionnye materialy v stroitel'stve. Saratov, 1981. S. 8.
22. Solomatov V.I. Razvitie polistrukturnoy teorii kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov // Izv. Vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1985. №8. S. 58-64.
23. Solomatov V.I., Bobryshev A.N., Pronin A.P. Klasteriy v strukture i tekhnologii kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov // Izv. Vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura. 1983. №4. S. 56-61.
24. Broadbent S.R., Hammersley J.M. Proc. Camb. Phil. Soc. 1957. Vol. 53, № 629. P. 629-645.
25. Radovskiy B.S. Veroyatnostno-geometricheskii podkhod k strukture i otsenke fiziko-mekhanicheskikh svoystv materialov dorozhnoy konstruksii // Aktual'nye voprosy mekhaniki dorozhnykh odezhd. 1992. S. 4-36.
26. Slepaya B.M. Issledovanie vliyaniya rezinovogo poroshka na svoystva dorozhnogo asfal'tobetona. Balashikha. Izd-vo SoyuzdorNII, 1972. 17 s.