Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 http://naukovedenie.ru/

Том 9, №2 (2017) http://naukovedenie.ru/vol9-2.php

URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN217.pdf

Статья опубликована 07.04.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:
Катасонов М.В., Лескин А.И., Гофман Д.И., Кочетков А.В. Исследование возможности улучшения физико-механических свойств слабопрочного известнякового щебня способом обработки серобитумным вяжущим // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) http://naukovedenie.ru/PDF/29TVN217.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 625.7/.8

Катасонов Максим Викторович
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Россия, Волгоград
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: max.inga@rambler.ru

Лескин Андрей Иванович
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Россия, Волгоград
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: leskien@inbox.ru

Гофман Дмитрий Иванович[1]
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Россия, Волгоград
Старший преподаватель кафедры «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений»
E-mail: dima.0103@mail.ru

Кочетков Андрей Викторович
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь
Доктор технических наук, профессор
E-mail: soni.81@mail.ru

Исследование возможности улучшения физико-механических свойств слабопрочного известнякового щебня способом обработки серобитумным вяжущим

Аннотация. В данной статье рассматривается результаты экспериментальных исследований по повышению физико-механических свойств слабопрочного известнякового щебня, добываемого в карьерах Волгоградской области путем обработки его поверхности серобитумным вяжущим с целью дальнейшего его применения в дорожном строительстве. По результатам исследований и практических апробаций авторы утверждают, что известняковые каменные материалы, обработанные серобитумным вяжущим, отличаются лучшими прочностными характеристиками, чем известняковые каменные материалы, обработанные битумным вяжущим.

Специфика серы, как материала, состоит в том, что она может выполнять несколько функций и использоваться в качестве самостоятельного вяжущего при производстве серовяжущего или компонента, и как заполнителя в сочетании с битумом. Размеры частиц не

[1] 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

расплавленной серы в битуме существенно влияют на характеристики серобитумного вяжущего, в основном, на когезию и вязкость. Постепенное понижение температуры приготовленного вяжущего формирует прочные и стойкие кристаллические связи из-за выделения серы. Использование известнякового щебня после обработки серобитумным вяжущим, позволит расширить сырьевую базу Волгоградской области и даст возможность его применения для строительства автомобильных дорог с малой интенсивностью движения и обеспечить низкую стоимость строительства.

Ключевые слова: сера; серобитумное вяжущее; известняковый щебень; когезия; адгезия; вязкость; прочность; диспергирование; битум; строительные материалы; известняк; щебень

Введение

Произведя анализ работы дорожного хозяйства с 2000-2015 гг. можно с уверенностью сказать, что отрасль является одним из главных потребителей строительных материалов. Основным потребляемым материалом (82%), определяющим стоимость строительства дорожных одежд является щебень.

Требованиями ГОСТ 9128-2013 установлено, что для производства асфальтобетонных смесей необходимо использовать щебень осадочных горных пород с маркой по прочности не ниже 600.

На территории Волгоградской области находятся более сотни разведанных месторождений известняковых каменных материалов, с общим объемом 730 млн. т., а песчаников 322 млн. т., наиболее распространен щебень марками 400-600 (57%) и марки 200-М400 (42%). Объемы щебня М600-М800 (0,2%), М800-М1000 (0,07%).

Для повышения прочностных характеристик слабопрочного известнякового щебня, добываемого в Волгоградской области, предлагается использовать серобитумное вяжущее.

По результатам исследований и практических апробаций [1-11] авторы утверждают, что известняковые каменные материалы, обработанные серобитумным вяжущем, отличаются лучшими прочностными характеристиками, чем известняковые каменные материалы обработанные битумным вяжущим.

Специфика серы, как материала, состоит в том, что она может выполнять несколько функций и использоваться в качестве самостоятельного вяжущего при производстве серовяжущего или компонента, и как заполнителя в сочетании с битумом.

Сера из-за различных своих свойств может находиться в серобитумном вяжущем в трех состояниях [1, 10, 12, 13]: химически связанной; растворенной в битуме; свободной кристаллической тонкодисперсной, играющей роль заполнителя битума.

Химически связанная сера. Сера находящаяся битуме в небольших количествах (от 5 до 10 мас. %) выступает в роли активного пластификатора, так при температуре выше 119,5ºС ее восьмичленные кольца распадаются на вытянутые цепи, длина которых возрастает при повышении температуры, и соединяются с битумом.

Растворенная в битуме. В зависимости от марки битума, вязкости серы и температуры нагрева при приготовлении вяжущего сера может расплавляться в битуме в пределах от 15-30 мас. %. С повышением содержания ароматических углеводородов, находящихся в мальтеновой части битума, увеличивается и максимальное количество растворенной серы.

Количество расплавленной серы в битуме подтверждается изменениями показателей температуры хрупкости (уменьшается) и пенетрации при 0°С и 25°С.

Содержащаяся в битуме в большом количестве расплавленная сера кристаллизуется и в дальнейшем наблюдается ее выделение в виде твердой фазы. При выделении сера ведет себя аналогично дисперсному наполнителю. Вследствие увеличения в битуме концентрации содержания серы происходит склеивание кристаллообразных частиц серы и образуется кристаллическая структура [1].

Сера, диспергированная в битуме. Из-за высокой концентрации серы от 25-30 мас. % не расплавившаяся сера выполняет роль структурообразующего заполнителя и выглядит в битуме в виде мелких частиц размером до 0,1 мкм. Влияние на размеры частиц оказывают множество факторов: время нагрева, поддержание температуры, длительность и интенсивность перемешивания, а также скорость остывания вяжущего.

Размеры частиц не расплавленной серы в битуме существенно влияют на характеристики серобитумного вяжущего, в основном на когезию и вязкость. Постепенное понижение температуры приготовленного вяжущего формирует прочные и стойкие кристаллические связи из-за выделения серы.

Физические характеристики жидкого битума и жидкой серы указывают на возможность получения серобитумного вяжущего, в котором сера будет дисперсной фазой, а битум-дисперсионной средой; при этом характерно то, что плотность серы в два раза больше плотности битума.

Из-за разницы в вязкости битума и серы в границах температур от 120°С до 159°С жидкий битум, имеющий большую вязкость, будет способствовать диспергированию серы [1, 14] (рис. 1).

При росте степени диспергирования серы повышается и стабильность серобитумного вяжущего. В результате протекания химической реакции серы и битума, отмечается обратный процесс, приводящий к оседанию частиц дисперсной фазы серы (седиментации).

Введение активной химической добавки (стабилизатора) только замедлит этот процесс, но из-за разницы плотности двух составляющих компонентов данный процесс совсем остановить не удастся. Поэтому, чтобы получить однородное по составу и свойствам серобитумное вяжущее, его необходимо при стабильной температуре (при которой она была произведена) постоянно перемешивать.

При производстве серобитумного вяжущего с заданными свойствами, позволяющими производить обработку известнякового щебня, целесообразно охладить серу, тем самым предотвращая рост кристаллов серы, оставляя ее в жидком состоянии.

Дальнейшее проведение технологического процесса возможно при пониженных температурах [14, 15].

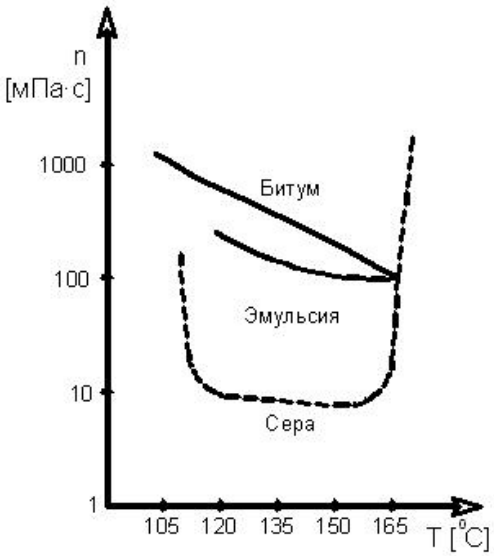

Рисунок 1. *Зависимость вязкости серы и битума от температуры [14, 15]*

На представленном графике (рис. 1) видно, что в диапазоне температур от 120°С до 160°С вязкость серы может меняться в пределах от 8 до 12 МПас, при дальнейшем снижении температуры (менее 120°С) ее вязкость существенно увеличивается.

Решение поставленной задачи

Присутствие серы в серобитумном вяжущем в охлажденном состоянии, возможно благодаря ее диспергированию на частицы диаметром от 5 до 10 мкм, а это значительно снижает ее склонность к рекристаллизации.

Исследованиями определено что, из-за эффекта охлаждения вязкость серобитумного вяжущего позволяет производить обработку обволакивания минеральных частиц, образовывая серобитумные-минеральные смеси в диапазоне отрицательных температур, это является необходимым условием результативного использования ее в качестве вяжущего.

Повысить устойчивость серобитумного вяжущего возможно, образовав реакции нафталино-ароматических веществ с полярными ароматическими группами при температуре, приближенной к 140°С. Полярные ароматические группы создают адсорбционный слой на поверхности частиц серы, мешающий их коалесценции. Доказано, что применение в качестве стабилизатора серобитумного вяжущего кремнийорганических полимеров, они же и являются эмульгаторами и при этом препятствуют выделению сероводорода [16].

Экспериментально установлено, что при увеличении концентрации серы в битуме изменяются характеристики самого битума. При хранении в течение нескольких суток вязкость серобитумного вяжущего увеличивается и может превысить вязкость битума. В течение небольшого периода выдержки изменяются не только вязкость, но и значения пенетрации в серобитумное вяжущее.

Лабораторно аргументировано, что если температура во время технологического процесса приготовления серобитумного вяжущего остается в пределах 145-150°С, то это приводит к увеличению значений пенетрации, но при дальнейшем хранении значения пенетрации снижаются.

Из практических и лабораторных экспериментов по изучению реологических характеристик битума и серобитумного вяжущего можно сказать, что концентрация серы в

части 5-15% схожа с действием пластификаторов. При увеличении концентрации серы в серобитумном вяжущем она выступает как структурообразующая добавка, но пластифицирующее влияние серы на битум сохраняется до 30% ее содержания в битуме.

Пластифицирующее влияние серы на характеристики битума уменьшаются вследствие кристаллизации серы в период хранения. Но после нагрева и расплавления серобитумного вяжущего данный процесс обратим.

Содержание серы в битуме приводит к существенному повышению прочности известнякового каменного материала (рис. 2, 3), что дает возможность использовать обработанный слабопрочный известняковый щебень в конструкциях дорожных одежд, уменьшить толщину отсыпаемого щебеночного слоя основания на 20-30%, а также применять обработанный щебень в верхних слоях дорожного покрытия сельских автомобильных дорог.

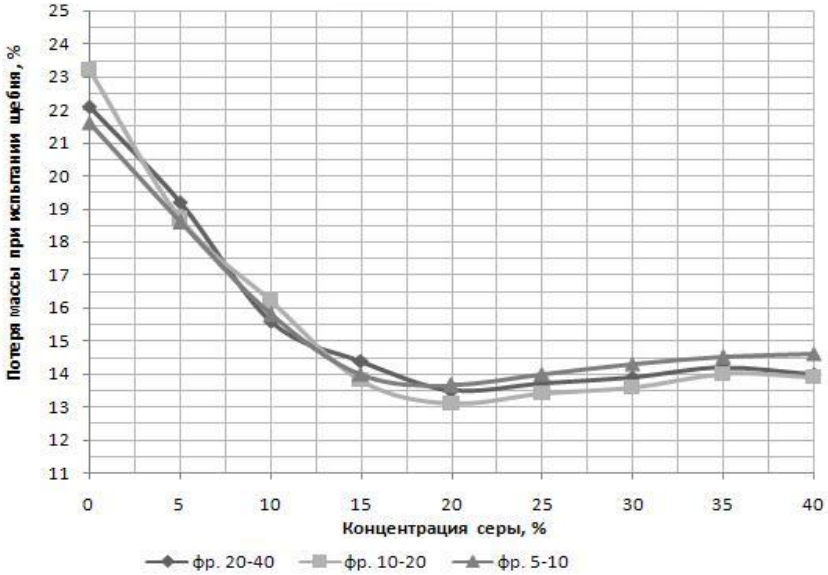

Рисунок 2. *Определение марки по дробимости обработанного известнякового щебня в сухом состоянии (рис. авт.)*

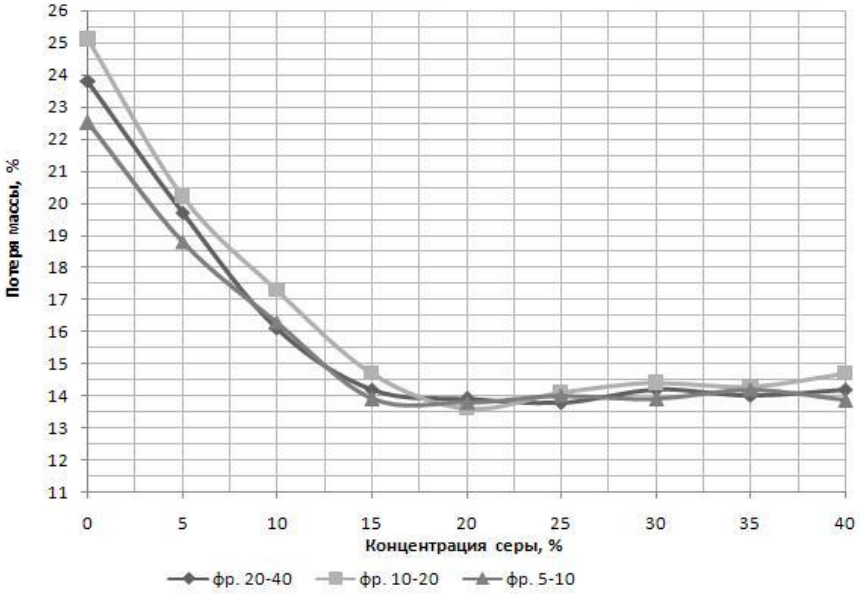

Рисунок 3. *Определение марки по дробимости обработанного известнякового щебня в водонасыщенном состоянии (рис. авт.)*

Согласно полученным графикам (рис. 2, 3) при содержании серы в битуме до 15% происходит быстрое повышение марки по дробимости слабопрочного известнякового щебня в сухом и водонасыщенном состоянии с марки М400 до марки М800, при дальнейшем увеличении содержания серы от 20 до 40% наступает стабилизация.

Дальнейшие лабораторные исследования показывают, что значительное увеличение содержания серы весьма существенно влияет на сцепление серобитумного вяжущего с поверхностью карбонатных пород щебня, сера в количестве до 20% приводит к повышению сцепления серобитумного вяжущего с поверхностью щебня, однако дальнейшее повышение ее концентрации в серобитмном вяжущем значительно ухудшает адгезионные свойства вяжущего (табл. 1).

Таблица 1

Сцепление серобитумного вяжущего с поверхностью каменного материала (табл. авт.)

Каменный материал	Концентрация серы в серобитумном вяжущем, масс %								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Песчанник	80	90	100	100	95	85	75	60	50
Известняк	80	85	95	100	100	85	70	55	45
Доломит	70	80	85	95	100	90	80	65	40

Качество сцепления пленки серобитумного вяжущего с поверхностью щебня определялось стандартной методикой по ГОСТ 12801-98. По окончании проведенных испытаний были сделаны фотографии (рисунок 4-8) на основании которых можно подтвердить выше сказанное, что *отличное* сцепление серобитумного вяжущего с поверхностью известнякового щебня наблюдается при содержании серы в битуме в количестве 15-20%, т.к. пленка вяжущего полностью сохраняется по всей поверхности щебня. При увеличении концентрации серы в битуме до 25% прослеживается *хорошее* сцепление серобитумного вяжущего с поверхностью щебня т.к. покрывает большую часть поверхности при ее изменяющейся толщине. Как видно из фотографий 3, 4, 5 дальнейшее повышение содержания серы в битуме от 30 до 40% приводит к значительному уменьшению сохранения пленки серобитумного вяжущего на поверхности.

В процессе проведения исследований было определено влияние концентрации серы в серобитумном вяжущем на водопоглощение (рис. 9) и истираемость (рис. 10) известняковых каменных материалов после обработки серобитумным вяжущим.

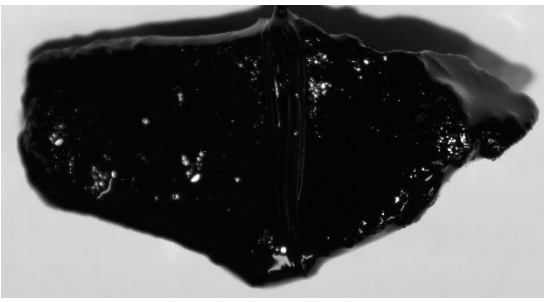

Рисунок 4. *Концентрация серы в серобитумном вяжущем 15-20, масс % (рис. авт.)*

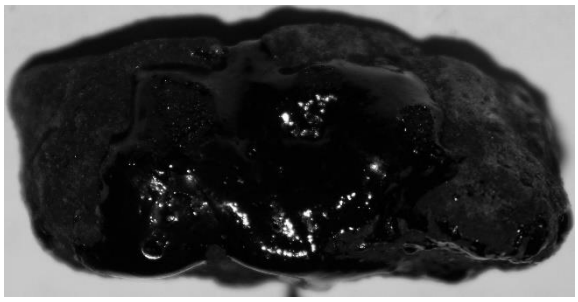

Рисунок 5. *Концентрация серы в серобитумном вяжущем 25, масс % (рис. авт.)*

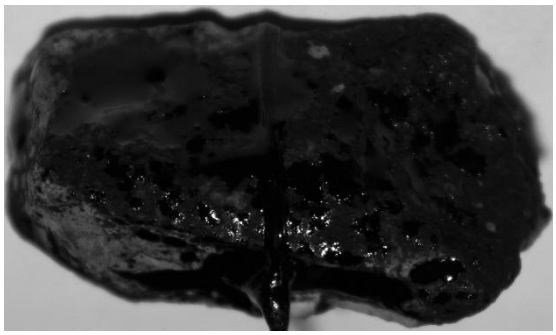

Рисунок 6. *Концентрация серы в серобитумном вяжущем 30, масс % (рис. авт.)*

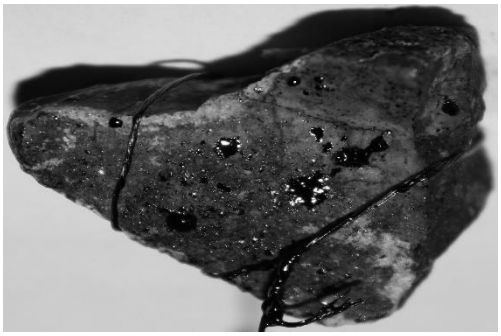

Рисунок 7. *Концентрация серы в серобитумном вяжущем 35, масс % (рис. авт.)*

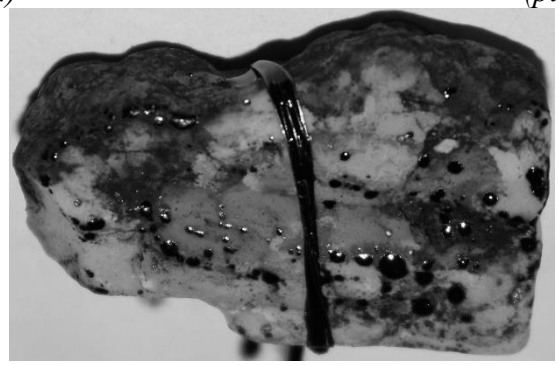

Рисунок 8. *Концентрация серы в серобитумном вяжущем 40, масс % (рис. авт.)*

По приведенному графику (рис. 9) видно, что водонасыщение снижается при содержании 15-20% серы в битуме, при дальнейшем увеличении концентрации серы наступает стабилизация водонасыщения щебня.

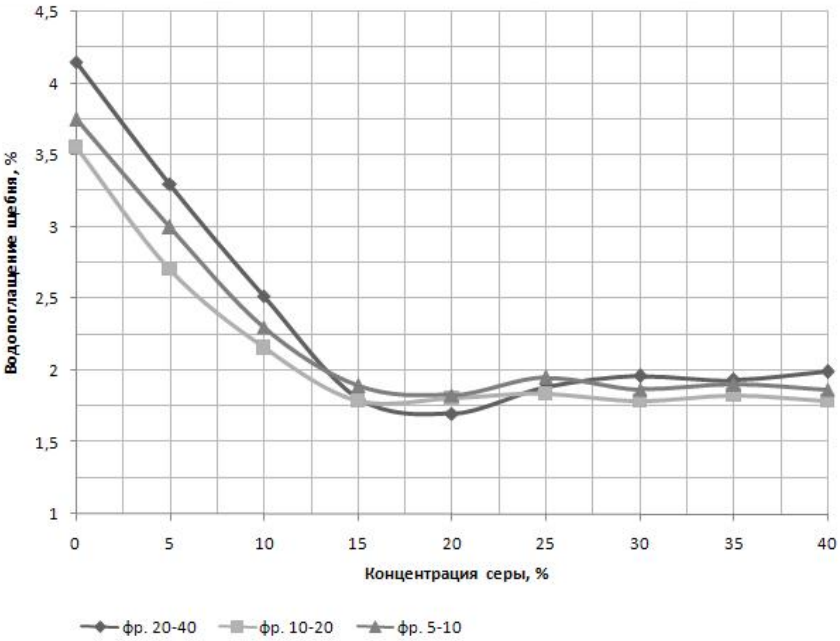

Рисунок 9. *Влияние концентрации серы в серобитумном вяжущем на водопоглощение известнякового щебня (рис. авт.)*

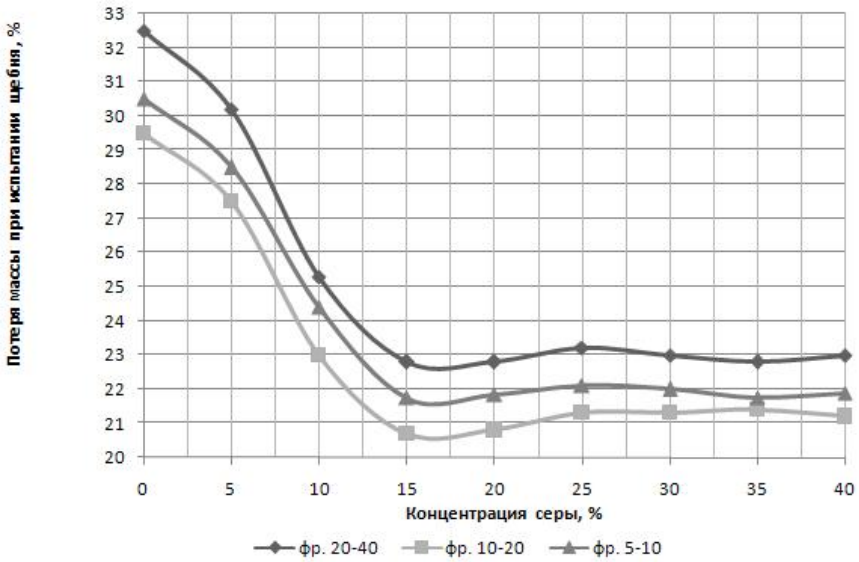

Рисунок 10. *Влияние концентрации серы в серобитумном вяжущем на истираемость известнякового щебня (рис. авт.)*

Выводы. Обсуждение результатов

На основании выше приведенных результатов можно сделать заключение, что при обработке поверхности щебня серобитумным вяжущим с концентрацией серы 15-20, масс. % марка прочности щебня повышается с М400 до М800, водопоглощение уменьшается с 3,8% до 1,8%, повышается показатель марки щебня по истираемости с И2 до И1 и морозостойкости.

Использование известнякового щебня после обработки серобитумным вяжущим, позволит расширить сырьевую базу Волгоградской области и даст возможность его применения для строительства автомобильных дорог с малой интенсивностью движения и тем самым обеспечить низкую стоимость строительства [17].

ЛИТЕРАТУРА

1. Иваньски М. Асфальтобетон как композиционный материал (с нанодисперсными и полимерными компонентами) / М. Иваньски, Н.Б. Урьев.-М.: Техполиграфцентр, 2007.-668 с.
2. Фомин А.Ю. Применение серы в производстве дорожно-строительных материалов / А.Ю. Фомин, В.Г. Хозин // Строительные материалы.-2009.-№11.-С. 20-22.
3. Руденская И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И.М. Руденская, А.В. Руденский.-М.: Транспорт, 1984.-229 с.
4. Веренько В.А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства / под ред. И.И. Леоновича.-Минск: Наука и техника, 1998.-246 с.

5. Плотникова И.А. Возможность экономии битума за счет добавок серы / И.А. Плотникова, Е.М. Гурарий, И.В. Степанян // Автомобильные дороги.-1982.-№9.-С. 15-16.

6. Советско-чехословацкое научное сотрудничество по проблеме использования серы в асфальтобетоне / И.А. Плотникова и др. // Автомобильные дороги.-1985.-№6.-С. 13-15.

7. Dah-yinn L. Modificatoin of asphalt and asphalt pawing mixtures by sulfur additives / L. Dah-yinn // Ind. And. Eng. Chem. Proc. Res and Develop.-1975.-№3.-P. 171-177.

8. Sulfur may be enroute to partially replacing asphalt in highway pavements // Chem. long.-1977.-№15.-Part 1.-52 p.

9. Sulfurasphalt pavement improved with silicones // Highway and Hauvy Constr.-1978.-121.-№2.-P. 104-106.

10. Mc Bee W.C. Improved resistance of sulfur-asphalt paving formulations to attack by fuels / W.C. Mc Bee, A. Tomas Sullivan // Ind. and Eng. Chem. Prod Res and Develop.-1977.-16.-№1.-P. 93-95.

11. Kennedi T.W. An engineering evaluation of sulphurasphalt mixtures / T.W. Kennedi, R. Haas, P. Smith // 56-th Agg, Meeting of T.R.B. Jan.-1977.-P. 146-171.

12. Tomkowiak K. Wplyw dodatky sidrky do asphaltow / K. Tomkowiak, K. Zelinski // Drogownictwo.-1983.-№2.-S. 55-59.

13. Kalabinska M. Technologia materialow I nawierzchni drogowych / M. Kalabinska, J. Pilat.-Warszawa, 1985.-235 s.

14. Pronk F.E. Sulphur modified asphalt concrete / F.E. Pronk, A.F. Soderberg, R.T. Frizeeie // Ann / Conference of Canadian Technical Asphalt Ass.-Toronto, 1975.-P. 192-215.

15. Zawadzki J. Stosowanie siarki w budownistwie drogowym / J. Zawadzki, I. Blasiak // Sprawozdanie ze stazu technicznego w Kanadze / Biuro Programu Rozwoju Sieci Drogowej.-Warszawa, 1978.-89 s.

16. Bukowski I.R. Sulphur in pavement construction / I.R. Bukowski.-The Asphalt Institute, Summaru Rep.-1978.-№27.-P. 36-78.

17. Физико-химические основы применения серы как материала в качестве вяжущего для сероасфальтобетона и сероцементобетона / Ю.Э. Васильев, Н.В. Мотин, И.Ю. Сарычев, А.В. Кочетков // В сборнике: Строительство, дизайн, архитектура: разработка научных основ создания здоровой среды обитания Сборник материалов международной научной конференции. Под редакцией А.В. Кочеткова. 2013. С. 64-71.

Katasonov Maksim Viktorovich
Volgograd state technical university, Russia, Volgograd
E-mail: max.inga@rambler.ru

Leskin Andrey Ivanovich
Volgograd state technical university, Russia, Volgograd
E-mail: leskien@inbox.ru

Gofman Dmitriy Ivanovich
Volgograd state technical university, Russia, Volgograd
E-mail: dima.0103@mail.ru

Kochetkov Andrey Viktorovich
Perm national research polytechnical university, Russia, Perm
E-mail: soni.81@mail.ru

Research of possibility of improvement of the slaboprochny physicomechanical properties of calcareous crushed stone by way of processing by serobitumny knitting

Abstract. In this article it is considered results of pilot studies on increase of physicomechanical properties of slaboprochny calcareous crushed stone by serobitumny knitting for the purpose of its further application in road construction got in pits of the Volgograd region by processing of its surface. By results of researches and practical approbations authors claim that the calcareous stone materials processed by serobitumny the knitting differ in the best strength characteristics, than the calcareous stone materials processed by the bituminous knitting. Specifics of sulfur as material, consists that it can carry out some functions and are used as independent knitting by production serovya-zhushchy or a component and as filler in combination with bitumen. The sizes of particles of not melted sulfur in bitumen significantly influence characteristics of serobitumny knitting generally on cohesion and viscosity. Gradual fall of temperature of the prepared knitting forms strong and permanent crystal communications because of release of sulfur. Use of calcareous crushed stone after processing by serobitumny knitting will allow to expand a source of raw materials of the Volgograd region and will give the chance of its application for construction of highways with small intensity of the movement and by that to provide the low cost of construction.

Keywords: sulfur; calcareous crushed stone; cohesion; adhesion; viscosity; durability; the dispergating; bitumen; construction materials; limestone; crushed stone serobitumny knitting