

УДК 625.7

Фомин Алексей Юрьевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: fomin-al.78@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Кайс Абдулрахман Али

начальник отдела спецификаций и количественных показателей

E-mail: qaiseng@gmail.com

Главное управление гражданской авиации и метеорологии

Адрес организации: 1042, Йемен, г. Санаа, ул. Зубери, д. 32, оф. 211

Литой серный бетон на основе асфальтогранулята

Аннотация

Поставленные задачи. Целью работы является разработка литой дорожной серобетонной смеси на основе асфальтогранулята для устройства и ремонта дорожных и аэродромных покрытий.

Результат. На основе асфальтогранулята и минеральных материалов осадочного происхождения месторождений Республики Татарстан получены литые безусадочные серобетонные смеси. Установлено, что серные бетоны, полученные в результате самоуплотнения серобетонных смесей обладают сравнительно высокими прочностями при сжатии и изгибе – до 20 и 12 МПа соответственно и низким водопоглощением, а эффект пластификации смесей обусловлен поверхностным взаимодействием частиц асфальтогранулята, покрытых асфальтовязующим с расплавом серы. В процессе твердения на границе раздела фаз формируется переходной слой, повышающий когезионную прочность структуры серного бетона.

Выводы. Значимость полученных результатов для дорожно-строительной отрасли состоит в снижении объемов прямых финансовых затрат на производство асфальто- и цементобетонов, в том числе приобретение высокопрочного щебня из изверженных пород и в возможности расширения номенклатуры строительных материалов новыми дорожно-строительными смесями.

Ключевые слова: асфальтобетон, вяжущее, сера, асфальтогранулят, серный бетон, структура.

Введение

Внедрение новых эффективных дорожно-строительных материалов для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог является актуальной задачей, в том числе разработка и применение ресурсосберегающих технологий, направленных на применение маловостребованных крупнотоннажных минеральных материалов, полуфабрикатов, отходов промышленных производств и их побочных продуктов.

Традиционным материалом для устройства покрытий автомобильных дорог был и остается асфальтобетон и его наиболее эффективная форма – полимерасфальтобетон [1, 2]. Однако применение последнего требует соответствующего технико-экономического обоснования.

Широким направлением является возможность использования переработанного старого асфальтобетона или асфальтогранулята (АГ) в составе дорожных смесей для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог.

Применение асфальтогранулята в дорожном строительстве

Асфальтогранулят образуется в результате демонтажных работ существующих конструкций автомобильных дорог, требующих ремонта или реконструкции, и согласно определению ГОСТ Р 54401-2011 представляет собой смесь дробленых частиц заполнителей и асфальтовязующего получаемую в результате фрезерования изношенного асфальтобетона.

Основной сферой применения АГ является производство асфальтобетонных смесей (АБС). Так, введение асфальтогранулята в состав АБС в количестве до 60 масс. % позволяет сократить расход дорогостоящего сортового щебня и снизить себестоимость асфальтобетонных смесей до 40 % без потери их качества. При этом введение 20...30 масс. % АГ в асфальтобетонные смеси позволяет повысить их теплостойкость, прочность при сжатии при 20 °С и 50 °С и снизить водонасыщение.

Перспективным направлением является производство дорожных смесей, производимых способами холодной и горячей регенерации, с введением органических и минеральных вяжущих материалов. Данные технологии реализуются с применением комплексов дорожно-строительных машин марки Wirtgen и др.

Так, в технологии холодного ресайклинга применяемой при устройстве оснований дорожных одежд, асфальтогранулят смешивают с известью, портландцементом, битумом, битумной эмульсией, с последующим образованием нового материала – асфальтогранулобетона.

Целесообразно применять АГ и для устройства подстилающих слоев временных дорог, эксплуатируемых в условиях небольших транспортных нагрузок.

Технология серосодержащих материалов, состояние вопроса

В данной работе рассматривается разработка и исследование свойств литых серобетонных смесей на основе асфальтогранулята для устройства и ремонта покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Актуальность темы обусловлена следующими предпосылками.

В России ежегодно производится порядка 7 млн. тонн технической серы, образующейся в результате нефте- и газоочистки, с ежегодным приростом в среднем на 0,2 млн. тонн. Подавляющий объем выпуска такой «попутной» серы приходится на газовую промышленность. В Республике Татарстан основными «носителями» серы являются высокосернистые нефти. Так в ОАО «ТАНЕКО» (г. Нижнекамск) (в 2012 году началось пробное опробование) ежегодный объем производства серы составляет около 300 тыс. т серы. Кроме того в Республике имеются ресурсы газовой серы, получаемой в процессе газоочистки на предприятиях «Татнефтегазпереработка» и ОАО «Татнефть».

Сера характеризуется низкими температурой плавления 112,8-119,3°С и вязкостью расплава – $6,5 \times 10^{-3}$ Па·с в интервале температур 120-155 °С, нетоксичностью в твердом состоянии, высокой адгезией к пористым материалам, гидрофобностью, достаточной механической прочностью: пределом прочности при сжатии 12 ... 22 МПа и при разрыве 1.28...4.32 МПа. Сера обладает стойкостью к воздействию агрессивных сред (растворов кислот и солей), водостойкостью, что позволяет получить на ее основе химически и водостойкие строительные материалы.

В связи с этим к настоящему времени в строительстве определились следующие направления в применении серы: серные бетоны, серобитумные композиции кровельного и дорожного назначения, гидроизоляционные и горячие антикоррозионные мастики, заливочные композиции, горячие и холодные («водорастворимая сера») композиции для пропитки капиллярно пористых материалов с целью их гидрофобизации и упрочнения.

Из всех вышеперечисленных материалов наиболее известен серный бетон – по структуре (конгломерат) аналогичен другим видам бетонов: цементному, битумному (асфальтобетону) и полимербетонам. Серные бетоны обладают рядом положительных свойств, к которым, в первую очередь, относятся: быстрый набор прочности, связанный с периодом остывания смеси, относительно высокая прочность при сжатии (до 60 МПа), стойкость к воздействию агрессивных сред, низкое водопоглощение и, следовательно, высокая морозостойкость [4-7]. К тому же свойства серы и ее расплава позволяют заменить прочные заполнители слабыми каменными материалами (песчаными грунтами, отсевами дробления карбонатного щебня) и техногенными отходами промышленности (золами, шлаками).

Также известным направлением применения серы в строительстве является модификация ею нефтяных дорожных битумов. При этом сера может играть роль модификатора свойств отдельных фракций битума (асфальтенов и смол), а так же его наполнителя, обладающего усиливающим действием. В первом случае

предусматривается введение серы в битум в небольших количествах (до 20 масс. %). Во втором случае – большего количества серы с получением коллоидной системы «сера-битум», устойчивой при хранении и переплавке. При этом, избыточная часть серы, не растворенная в битуме, в процессе кристаллизации проявляет себя как своеобразный наполнитель. Серобитум или серобитумное вяжущее применяется в технологии асфальтобетонов, производимых по горячей технологии, а конечным продуктом является материал – сероасфальтобетон [8-12]. Его эффективность обусловлена возможностью замены до 40 % битума в асфальтобетонных смесях на серу, увеличением прочности асфальтобетона на 30 %, повышением его тепло- и динамической устойчивости, сопротивляемости к воздействию топлив, масел и других агрессивных сред.

Научная гипотеза

В данной работе предполагается совмещение асфальтогранулята – материала с нарушенной структурой и идентичного по составу асфальтобетону и серного вяжущего (серного цемента) – механической смеси расплава серы и тонкодисперсного наполнителя.

Мы полагаем, что в результате введения расплава серного цемента (СЦ) в массу асфальтогранулята, на поверхности частиц последнего будет образована равномерная пленка вяжущего, формирующая коагуляционную макроструктуру материала. При этом битум, входящий в состав АГ будет способствовать пластификации серобетонной смеси образующиеся в результате смещения и повысит ее удобоукладываемость. Далее в процессе отверждения смеси, в покрытии или основании, будет образована прочная коагуляционно-кристаллизационная структура материала.

Известно, что введение в состав серобетонных смесей битума позволяет не только снизить их жесткость, но и способствует проявлению упругопластических свойств отвержденных серных бетонов, что в конечном итоге положительно влияет на долговечность покрытий [3].

Результаты исследований серных бетонов

На начальном этапе исследований производилась сравнительная оценка показателей свойств образцов материалов, полученных на основе асфальтогранулята и серы. Для этого были изготовлены образцы-кубы с размером граней 10×10 см. Состав первой смеси включал асфальтогранулят, а второй – смесь асфальтогранулята, модифицированного 10 масс. % серы. Смеси материалов разогревали до 140 °С и заполняли ими формы. Принудительное уплотнение смесей не производилось, то есть формирование образцов происходило под действием сил гравитации. Согласно требований нормативной документации, полученные материалы можно классифицировать как асфальтогранулобетоны (АГБ). Далее определяли показатели свойств образцов материалов, перечень которых приведен в табл.

Таблица

Перечень показателей свойств асфальтогранулобетонов

№ п.п.	Наименование показателя	Условное обозначение
1	средняя плотность, г/см ³	ρ _a
2	средняя плотность минеральной части, г/см ³	ρ _c
3	истинная плотность минеральной части, г/см ³	ρ _и
4	истинная плотность, г/см ³	ρ _{ип}
5	пористости минеральной части, %	v _m
6	остаточная пористость, %	v _{оп}
7	воданасыщение, %	W
8	прочность при сжатии, МПа	σ

На рис. 1 приведены результаты проведенных испытаний. Установлено, что введение 10 масс. % серы в асфальтогранулят, способствует снижению показателей пористости минеральной части и остаточной пористости АГБ в 2 и 20 раз соответственно, что коррелирует с показателем воданасыщения, значение которого

снижается в 6 раз. Показатель прочности при сжатии модифицированного АГБ состава в 13 раз превышает аналогичный показатель исходного материала и составляет 4 МПа.

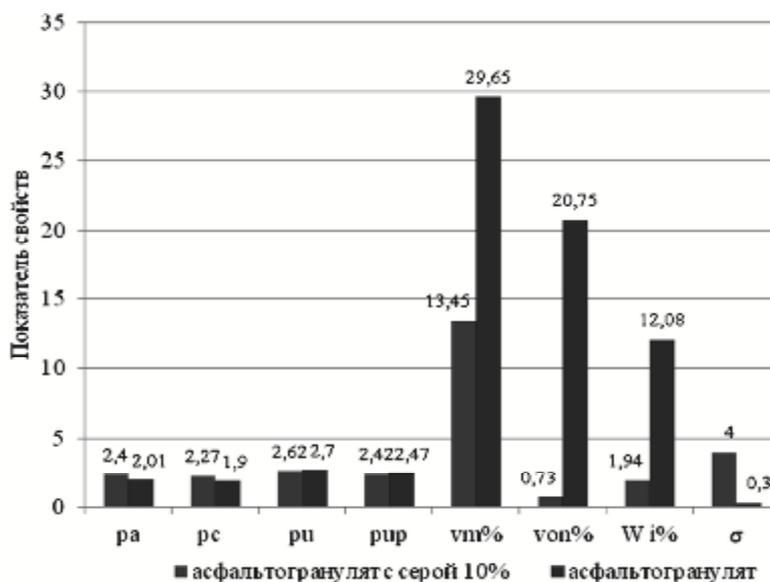


Рис. 1. Характеристика показателей физико-механических свойств асфальтогранулобетонов

Поскольку асфальтогранулят является полидисперсным материалом, с размером частиц от 0,071 мм до 20 мм, мы определили, какая группа его фракций наиболее активно взаимодействует с серой и влияет на повышение свойств. Для этого мы взяли три фракции гранулята: с размером частиц менее 0,63 мм, от 0 до 5 мм и более 5 мм. Далее при температуре 140 °С совместили каждую фракцию в расплавленном расчетном количестве серы, получили образцы и определили их прочности при сжатии. Далее построили концентрационные зависимости, которые имели экстремальный вид. Так, максимум прочности равной 6,8 МПа имеют образцы с частицами гранулята менее 0,63 мм, что вероятно обусловлено большей площадью поверхности взаимодействия серного вяжущего и частиц АГ (рис. 2).

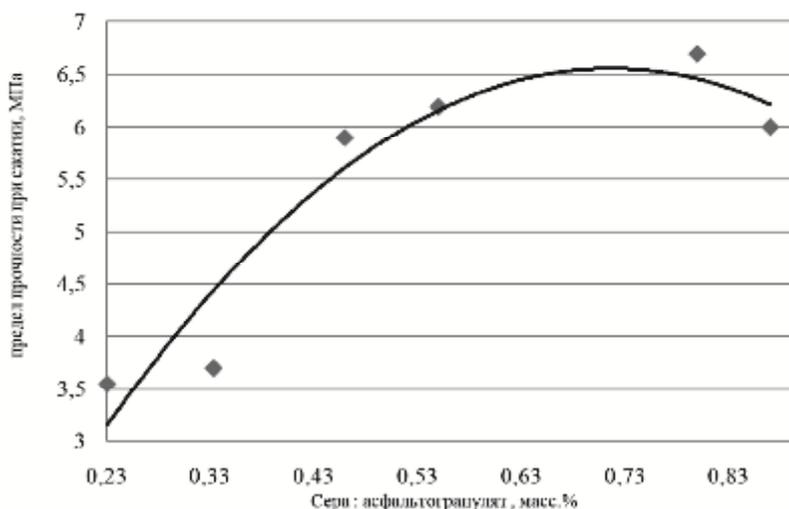


Рис. 2. Зависимости прочности при сжатии серных цементов с применением асфальтогранулята фракции ≤0,63мм

Однако получить серный бетон с нормативной прочностью не возможно без предварительного структурирования серы, которое производится путем ее наполнения тонкодисперсными минеральными материалами.

Наполнение серы оказывает положительное воздействие на ее структуру, что отражается на повышении прочностных показателей. Поэтому для разработки составов литых серобетонных смесей, на начальном этапе, был произведен подбор составов серных цемента.

В качестве наполнителей применялись порошок из карбонатных известняковых пород и тальк. Оптимальность составов СЦ определялась по концентрационным зависимостям их прочности при сжатии. Так максимальные показатели прочности серных цемента на тальке и известняке составляют 17,2 и 36,5 МПа соответственно.

Параллельно мы оценивали реологические свойства серных цемента и установили, что при разных соотношениях наполнителя и серы предельное напряжение сдвига достаточно велико и лежит в пределах 150...1500 Па. Введение же в цемент 4 масс.% битума ведет к его пластификации и снижению предельного напряжения сдвига до 50...400 Па, увеличению диаметра расплава до 30 см, что характеризует данные состава как самоуплотняющиеся. Для изучения реологических свойств мы применяли вискозиметр Суттарда.

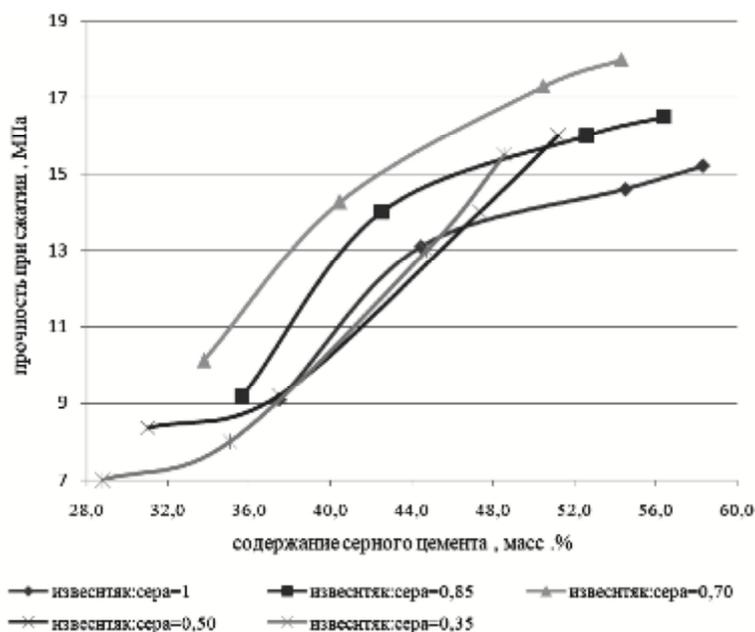


Рис. 3. Концентрационная зависимость прочности при сжатии серных бетонов

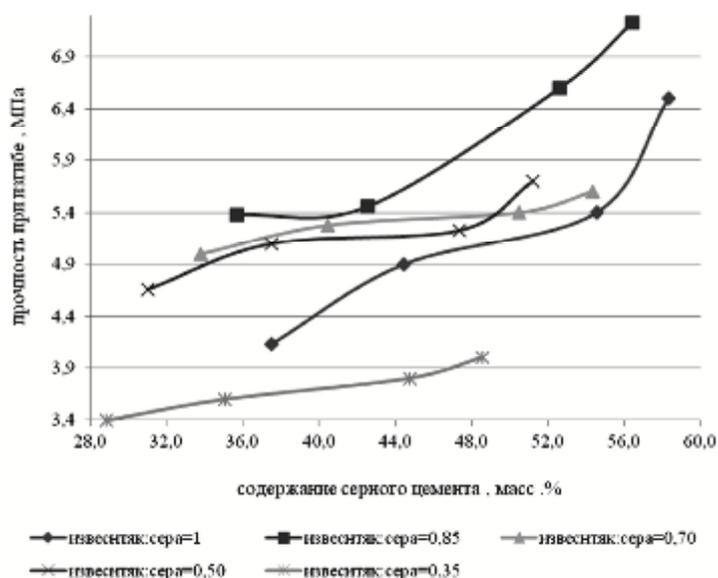


Рис. 4. Концентрационная зависимость прочности на растяжение при изгибе серных бетонов

Для установления предполагаемых синергетических эффектов пластификации и прочности, обусловленных взаимодействием серного вяжущего на границе раздела с частицами гранулята, нами были исследованы свойства мелкозернистых серных бетонов.

Установлено, что полученные материалы обладают максимальными пределами прочности при сжатии и изгибе, равными 18 и 7,5 МПа соответственно (рис. 3-4), а оптимальные показатели предельного напряжения сдвига лежат в районе 160...370 Па. Введение серного цемента в асфальтогранулят способствуют монотонному снижению показателя водонасыщения серных бетонов с 3...3,5 до 0,5 %, а кривые их деформаций в процессе разрушения характерны для упруго-пластичных тел.

Целью дальнейших исследований является оптимизация составов серных бетонов.

Заключение

Исследованы зависимости реологических свойств серобетонных смесей и прочностных показателей серных бетонов от состава исходных компонентов: серы, асфальтогранулята, минерального наполнителя. Полученные результаты имеют практическую значимость и могут быть применены для дальнейшей оптимизации экспериментальных составов серных бетонов и уточнения области их применения для целей дорожной отрасли.

Список библиографических ссылок

1. Хафизов Э. Р., Семенов Д. Ю. Повышение качества дорожных покрытий путем введения в щебеночно-мастичную асфальтобетонную смесь добавок резиновой крошки // Известия КГАСУ. 2017. № 2 (40). С. 305–311.
2. Хафизов Э. Р., Фомин А. Ю. Применение полимерасфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах Республики Татарстан // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 312–316.
3. Яушева Л. С. Серобетоны каркасной структуры. Саранск, 1998. 170 с.
4. Токтибаева Х. Р., Бекжигитова К. А., Джаппарова М. Т., Сатывалдиев А. С., Имангалиев Т. А., Серкебаев М. К. Получение серного бетона из комовой серы – отхода добычи углеводородного сырья // Фундаментальные исследования. 2015. № 2 (16). С. 352–353.
5. Михеева М. В., Черезова Е. Н., Фомин А. Ю. Использование серы и отходов нефтехимической промышленности в качестве вяжущего : сб. ст. V Международной научно-технической WEB-конференции «Композиционные материалы» / Киев, 2010. С. 321–326.
6. Михеева М. В. Черезова Е. Н., Хозин В. Г., Фомин А. Ю. Вяжущее для бетонов на основе сополимеров серы и нефтеполимерной смолы // Строительные материалы. 2010. № 5. С. 54–56.
7. Усов Б. А., Волгушев А. Н. Технология модифицированных серных бетонов. М. : МГОУ, 2010. 321 с.
8. Dah-yinn L. Modificatoin of asphalt and asphalt pawing mixtures by sulfur additives // Ind. And. Eng. Chem. Proc. Res and Develop. 1975. № 3. P. 171–177.
9. Sulfur may be enroutе to partially replacing asphalt in highway pavements // Chem. long. 1977. № 15. Part 1. 52 p.
10. Sulfurasphalt pavement improved with silicones // Highway and Heavy Constr. 1978. № 2. P. 104–106.
11. Галдина В. Д. Серобитумные вяжущие: монография. Омск : СиБАДИ, 2011. 124 с.
12. Способ получения серобитумного вяжущего : пат. 2159218 Рос. Федерация. № 2000102780/03 ; заявл. 03.02.2000 ; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32. 3 с.

Fomin Aleksei Yurievich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: fomin-al.78@mail.ru**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Qais Abdulrahman Ali

head of specification and quantities section

E-mail: qaiseng@gmail.com**Civil Aviation and Meteorology Authority**

The organization address: 1042, Yemen, Sanaa, Zubeiry st., 32, of . 211

Cast sulfuric concrete based on asphalt granulate**Abstract**

Problem statement. The aim of the work is the development of a cast road concrete mixture on the basis of asphalt-granulate for the construction and repair of road and airfield coatings.

Results. On the basis of asphalt-granulate and mineral materials of sedimentary origin of deposits of the Republic of Tatarstan, cast non-shrinkage sulfur-concrete mixtures were obtained. It has been established that sulfuric concretes obtained as a result of self-compacting of sulfur-concrete mixtures have relatively high compressive and bending strengths of up to 20 and 12 MPa, respectively, and low water absorption, and the effect of plastification of mixtures is due to the surface interaction of asphalt granulate particles coated with asphalt with a melt of sulfur. During the hardening at the interface, a transition layer is formed, which increases the cohesive strength of the sulfur concrete structure.

Conclusions. The significance of the results obtained for the road construction industry is to reduce the amount of direct financial costs for the production of asphalt and cement concrete, including the purchase of high-strength crushed stone from igneous rocks and the possibility of expanding the range of construction materials with new road-building mixtures.

Keywords: asphaltic concrete, binder, sulfur, asphalt-granulate, sulfur concrete, structure.

References

1. Hafizov E. R., Fomin A. Yu. Application of polymer-concrete coatings on highways of the Republic of Tatarstan // *Izvestiya KGASU*, 2015, № 4 (34). P. 312–316.
2. Khafizov E. R., Semenov D. Yu. Improving the quality of road surfaces by adding rubber crumb additives to the crushed-mastic asphalt-concrete mixture // *Izvestiya KGASU*, 2017. № 2 (40). P. 305–311.
3. Yausheva L. S. Serobetons of the framework structure. Saransk, 1998. 170 p.
4. Toktibaeva H. R., Bekzhigitova K. A., Dzhapparova M. T., Satyvaldiev A. S., Imangaliev T. A., Serkebaev M. K. Obtaining sulfuric concrete from sulfuric sulfur-waste of hydrocarbon raw materials extraction // *Fundamental'nyye issledovaniya*. 2015. № 2 (16). P. 352–353.
5. Mikheeva M. V., Cherezova E. N., Fomin A. Yu. The use of sulfur and waste petrochemical industry as a binder : sat. art. V International Scientific and Technical WEB-conference «Composite Materials» / Kiev, 2010. P. 321–326.
6. Mikheeva M. V., Cherezova E. N., Khozin V. G., Fomin A. Yu. The binder for concretes based on copolymers of sulfur and petroleum resin // *Stroitel'nyye materialy*. 2010. № 5. P. 54–56.
7. Usov B. A., Volgushev A. N. Technology of modified sulfur concretes. M. : MGOU, 2010. 321 p.
8. Dah-yinn L. Modificatoin of asphalt and asphalt pawing mixtures by sulfur additives // *Ind. And. Eng. Chem. Proc. Res and Develop*. 1975. № 3. P. 171–177.
9. Sulfur may be enroutte to partially replacing asphalt in highway pavements // *Chem. long*. 1977. № 15. Part 1. 52 p.
10. Sulfurasphalt pavement improved with silicones // *Highway and Heavy Constr*. 1978. № 2. P. 104–106.
11. Galdina V. D. Serobitum binders: monograph. Omsk : SibADI, 2011. 124 p.
12. A method for producing a sulfur bituminous binder : pat. 2159218 Ros. Federation. № 2000102780/03 ; claimed. 03.02.2000 ; publ. 20.11.2010, Bul. № 32. 3 p.