

УДК 699.82

ТЕХНОЛОГИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНОЙ ЗОЛЫ В МАСТИКЕ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ МОСТОВЫХ И ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Докт. техн. наук, проф. ЛЯХЕВИЧ Г. Д.¹⁾, канд. экон. наук, доц. ЛЯХЕВИЧ А. Г.¹⁾,
асп. АГАБАБА РАНГРАЗ АЛИРЕЗА НАДЖИБ¹⁾, студ. ДАЛИДОВСКАЯ А. А.¹⁾*

¹⁾*Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)*

E-mail: lfidi@hotmail.com

Перспективным способом защиты мостов и тоннелей от агрессивного воздействия воды является обмазочная гидроизоляция на основе органоминерального вяжущего. Его структурная прочность может быть увеличена за счет введения частиц, сопоставимых с размерами асфальтенов, а эластичность дисперсионной среды – благодаря введению полимеров. Эти теоретические предпосылки указывают на возможность одновременного обеспечения гибкости при низких температурах и повышенной теплостойкости для мастик на основе органоминеральных вяжущих. В этой связи поставлена цель получить мастику с высокой гибкостью и повышенной теплостойкостью с применением высокодисперсной активированной торфяной золы. Для достижения указанной цели использовали: дробленую резину по ТУ 38.108035–87; дивинилстирольный термоэластпласт DST-30P-20ПС; битум марки 20/30 по СТБ ЕН 12591–2010; золу от сжигания торфа на Лидском торфобрикетном заводе; промышленное масло широкого назначения селективной очистки с повышенным индексом вязкости; суперпластификатор – натриевую соль продукта конденсации сульфоксидата ароматических углеводородов с формальдегидом и нейтрализации гидроокисью натрия (тип 1). С применением этих материалов разработаны составы и технология приготовления органоминеральных мастик. Испытания показали, что модификация мастик высокодисперсной торфяной золой, активированной суперпластификатором НСПКАУсФ-1, различными полимерными добавками, содействует повышению их теплостойкости, эластичности, водонепроницаемости, а также позволяет регулировать технологические и эксплуатационные свойства мастик. Экспериментально подтверждено, что торфяная зола может успешно использоваться для приготовления высококачественных гидроизоляционных мастик, так необходимых для защиты мостовых и тоннельных конструкций. Это обеспечит не только большой экономический эффект, но и будет способствовать улучшению экологической обстановки в местах сжигания торфа и захоронения золы.

Ключевые слова: мастика, зола, экспериментальные исследования, физико-механические свойства, защита, мостовые и тоннельные конструкции, экономический и экологический эффекты.

Табл. 5. Библиогр. 17 назв.

TECHNOLOGIES AND EFFICIENT USE OF PEAT ASH MASTICS FOR WATERPROOFING OF BRIDGE AND TUNNEL STRUCTURES

*LYAHEVICH G. D.¹⁾, LYAHEVICH A. G.¹⁾,
AGABABA RANGRAZ ALIREZA NAJIB¹⁾, DALIDOVSKAYA A. A.¹⁾*

¹⁾*Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)*

A promising way to protect bridges and tunnels from aggressive water surface waterproofing is organic-based binder. Its structural strength can be increased by the introduction of particle sizes comparable to asphaltene dispersion medium and the elasticity due to the introduction of polymers. These theoretical background indicate simultaneous flexibility at low temperatures and high heat resistance to organic-based mastic binders. In this regard, it sets a goal to obtain paste with high flexibility and high heat resistance by using finely divided activated peat ash. To achieve this goal used: rubber crushed TU 38.108035–87; divinylstyrolny termoelastplast DST-30R-20PS; bitumen grade 20/30 for STB EN 12591–2010; ash from burning peat Lida peat briquette plant; general-purpose industrial oil selective treatment with high viscosity index; superplasticizer – sodium salt of the condensation product sulfoksidata aromatics with formaldehyde and sodium hydroxide neytralizatsii type 1. With the use of these materials has been developed compositions and technology of preparation of organic-compound. Their tests showed that the modification of finely mastic peat ash, activated superplasticizer NSPKSAUsF-1, various polymer additives, contributes to an increase in their heat resistance, elasticity, water resistance, and allows you to adjust their technological and operational characteristics. Thus experimentally confirmed that the peat ash, used successfully for the preparation of high-quality waterproofing mastic, so necessary for the protection of bridge and tunnel constructions. Its use will provide not only a great economic impact, but also contribute to the improvement of ecological situation in the areas of burning peat and ash disposal.

Keywords: paste, ash, experimental studies, physical and mechanical properties, protection, bridge and tunnel constructions, economic and ecological effects.

Tabl. 5. Bibl. 17 titles.

Введение. Долговечность бетонных и железобетонных конструкций мостов и тоннелей достигается эффективной гидроизоляцией. Срок ее службы в атмосфере около 5–14 лет [1–4]. Среди основных причин разрушения мостовых и тоннельных сооружений – образование протечек в местах сопряжения гидроизоляции, а также изменившаяся экология, неправильный выбор типа и конструкции гидроизоляции, некачественное выполнение гидроизоляционных работ и др.

Наиболее распространенным видом при строительстве мостов, прежде всего малых и средних, является обмазочная гидроизоляция. Применение обмазочной гидроизоляции на основе органоминерального вяжущего – один из эффективных методов защиты мостовых и тоннельных конструкций от агрессивного воздействия окружающей среды. Основные компоненты обмазочных битумно-полимерных гидроизоляционных мастик – битум, пластификатор, полимер и наполнитель. Свойства таких композиций существенно зависят от структуры и свойств битума.

Согласно классификации А. С. Колбановской [5, 6], различают битумы I, II и III структурных типов, которые можно отождествлять с коллоидными системами гель, золь и золь-гель. Битумы I типа содержат более 25 % асфальтенов, менее 24 % смол и более 50 % углеводородов. При этом доля асфальтенов в общей сумме асфальтосмолистых веществ составляет более 0,50, а отношение их к сумме углеводородов и смол – более 0,35. Битумы данного типа не рекомендованы для дорожного строительства в связи с низкой устойчивостью против воздействия окислительных факторов в процессе технологической переработки [6–14].

Битумы II типа содержат менее 18 % асфальтенов, более 36 % смол и менее 48 % углеводородов. Доля асфальтенов в общей сумме асфальтосмолистых веществ составляет менее 0,3, а отношение их к сумме углеводородов и смол – менее 0,2. Преимущества битумов данного типа – высокая когезия, деформационная устойчивость в упруговязком состоянии и повышенная сопротивляемость воздействию окислительных факторов, приводящих к старению [6, 7, 14–16]. К недостаткам относятся отсутствие эластического и упругопластического

состояний, низкая теплоустойчивость, плохая водоустойчивость. Ко II типу относятся битумы марок БН с регламентированными показателями свойств.

Битумы III типа содержат асфальтены (21–23 %), смолы (29–34 %) и углеводороды (46–50 %). При этом доля асфальтенов в общей сумме асфальтосмолистых веществ составляет 0,39–0,44, а их отношение к сумме углеводородов и смол 0,25–0,30. Структура битума III типа не имеет явно выраженных недостатков первых двух типов и рекомендована для применения во всех дорожно-климатических зонах под маркой БНД [5–9]. При изменении температуры можно наглядно проследить непрерывный переход структуры битумов от истинных растворов к дисперсиям – сначала неструктурированным «золям», когда дисперсная фаза представлена несвязными между собой дисперсными частицами, разделенными дисперсионной средой, затем структурированным – с дисперсионной фазой в виде коагуляционной сетки «гелям» и далее к конденсационным структурам с переходом в стеклообразное твердое состояние [6–8, 12–16].

Для создания такой гидроизоляции необходимо повысить когезионную прочность вяжущего путем увеличения коагуляционных контактов между компонентами мастики. Введение в битумное вяжущее наполнителя, размер частиц которого соизмерим с размерами частиц дисперсионной фазы, позволяет повышать вязкость дисперсионной среды, что обеспечит повышение теплостойкости и деформативности.

Для дисперсных систем имеется возможность использовать формулу Муни

$$\eta^* = \exp(ac_{\nu}/1 - kc_{\nu}), \quad (1)$$

где $\eta^* = \eta/\eta_s$; η^* – относительная сдвиговая вязкость системы; η – вязкость дисперсионной системы; η_s – вязкость дисперсионной среды; a – коэффициент, равный 2,5; c_{ν} – концентрация асфальтенов по объему; k – постоянная для каждой дисперсионной системы, подбирается экспериментально.

Если $k = 1,35$, то система наиболее упакована, а если $k = 1,91$ – тогда упаковка наименее плотная.

Благодаря исследованиям А. С. Колбановской [5, 6] вязкость битумов в зависимости от

концентрации в них асфальтенов по массе C_m преобразована в следующий вид:

$$\eta^* = \exp(5,2c_m/1 - 3,4c_m). \quad (2)$$

При этом с увеличением c_m возрастает отклонение η^*/c_m от линейной зависимости, и при критической концентрации $c_m = 18$ % мас. дисперсная фаза образует коагуляционный каркас из асфальтеновых комплексов. Увеличение значения c_m до 23 % мас. (вторая критическая точка) ведет к предельному уменьшению толщины сольватных оболочек за счет связывания части дисперсионной среды асфальтенами. Таким образом, структурная прочность битумов может быть повышена за счет введения частиц, сопоставимых с размерами асфальтенов, а эластичность дисперсионной среды – благодаря введению полимеров. Эти теоретические предпосылки указывают на возможность одновременного обеспечения гибкости при низких температурах и повышенной тепло-

стойкости для мастик на основе органоминеральных вяжущих.

Цель исследования – учитывая высказанные теоретические предпосылки, получить мастику с высокой гибкостью и повышенной теплоустойчивостью с использованием высокодисперсной активированной торфяной золы.

Характеристика исходных материалов.

Для приготовления гидроизоляционной мастики использовали перечисленные ниже материалы:

- дробленую резину по ТУ 38.108035–87 (размер зерен от 1 до 5 мм; потеря массы при высушивании 0,3 %; содержание включений черных металлов 0 %; содержание включений кордного волокна 2,1 % мас.);
- дивинилстирольный термоэластпласт ДСТ-30Р-20ПС по ТУ 38.40370–91;
- битум марки 20/30 по СТБ ЕН 12591–2010. Его характеристика представлена в табл. 1;

Таблица 1

Физико-химическая характеристика битума марки 20/30 по СТБ ЕН 12591–2010

Показатель	Метод испытания	Битум марки 20/30	Исследуемый битум
Пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	EN 1426	20–30	29
Температура размягчения по кольцу и шару	EN 1427	55–63	56
Стойкость к затвердеванию при 163 °С:	EN 12607-1		
остаточная пенетрация, %		≥55	71
увеличение температуры размягчения, °С		≤8	4
изменение массы, %		≤0,5	0,2
Температура вспышки, °С	EN ISO 2592	≥240	253
Растворимость, % мас.	EN 12592	≥99,0	99,5
Индекс пенетрации	EN 12591–2010 Приложение А	От –1,5 до +0,7	–0,2
Температура хрупкости по Фраасу, °С	EN 12593	–	–12
Групповой химический состав:			
метано-нафтеновые			21,7
циклические ароматические:			28,4
моно~			8,7
би~			7,9
поли~			11,8
смолы			23,4
асфальтены			26,5
Содержание кислородсодержащих функциональных групп, мг КОН/г:	[7]		
карбоксильных, –COOH		–	0,71
сложноэфирных, –COOR		–	21,06
гидроксильных, –ОН		–	6,34
карбонильных, =C=O		–	2,62

• золу от сжигания торфа на Лидском торфобрикетном заводе (ТБЗ) следующего химического состава, мас. %: SiO_2 – 34,99; Al_2O_3 – 7,60; Fe_2O_3 – 10,65; CaO – 39,01; MgO – 2,12; MnO_2 – 0,18; K_2O – 0,94; Na_2O – 0,44; TiO_2 – 0,42; P_2O_5 – 1,13; SO_3 – 0,61; потери при прокаливании 1,86.

Активность торфяной золы: основной критерий, определяющий ее способность проявлять вяжущие свойства, – наличие кальция в свободном или связанном виде. Для оценки активности золы использовали следующие критерии [14, 15]:

– модуль основности (гидросиликатный модуль) M_o , который представляет собой отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов;

– силикатный (кремнеземистый) модуль M_c , показывающий отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа;

– коэффициент качества K – отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность к оксидам, снижающим ее.

Расчеты модуля основности (гидросиликатного) M_o , силикатного (кремнеземистого) модуля M_c , коэффициента качества K показали, что зола, полученная при сжигании торфа на Лидском ТБЗ, относится к скрыто активным золошлаковым материалам и требует интенсификации твердения. Результаты испытаний физических свойств торфяной золы Лидского ТБЗ представлены в табл. 2;

Таблица 2

Физические свойства золы, образующейся при сжигании торфа на Лидском ТБЗ (после помола в шаровой мельнице)

Физическое свойство	Показатель золы, отобранной на Лидском ТБЗ
Средняя плотность, кг/м^3	2246
Насыпная плотность, кг/м^3	728
Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	3209
Влажность, % мас.	0,36

• минеральное масло с характеристикой, представленной в табл. 3;

Таблица 3

Физико-химическая характеристика индустриального масла широкого назначения селективной очистки с повышенным индексом вязкости

Наименование показателя	Значение
Вязкость при 50 °С, $\text{мм}^2/\text{с}$	48,7
Индекс вязкости	86
Температура, °С:	
вспышки в открытом тигле	223
застывания	-19
Содержание, мас. %:	
механических примесей	Отсутствует
серы	0,4
водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствует
фенола и воды	Отсутствует
Зольность, мас. %.	0,002
Коксуемость, мас. %	0,11
Кислотное число, мг КОН/г	0,03

• суперпластификатор – натриевая соль продукта конденсации сульфоксида ароматических углеводородов с формальдегидом и нейтрализации гидроокисью натрия, тип 1 (НСПКСАУсФ-1).

Для получения суперпластификатора были использованы:

– ароматические нефтепродукты – экстракт селективной очистки масел (плотность при 20 °С 0,9815 г/см^3 ; показатель преломления 1,5804; молекулярная масса 264; пределы кипения 232–436 °С; групповой химический состав, мас. %: парафино-нафтеновые 8,1; циклические ароматические 91,2; смолы 0,7; количество кислородсодержащих функциональных групп, мг КОН/г: карбоксильных (-COOH) 0,12; сложноэфирных (-COOR) 1,38; гидроксильных (-OH) 0,21; карбонильных (>C=O) 0,15;

– кальцинированная сода марки Б ОКП 21 3111 0100 второго сорта ОКП 21 3111 0140 с содержанием Na_2CO_3 99,3 мас. %;

– олеум 20%-й с содержанием серной кислоты 104,5 % плотностью 1,8965 г/см^3 ;

– гидроокись натрия 42,5 % (водный раствор).

Суперпластификатор получен на кафедре мостов и тоннелей БНТУ по следующей технологии. Предварительно получали оксидат ароматических углеводородов (оксидат масла ПН-6ш) путем окисления ароматических углеводородов кислородом воздуха при температуре 175 °С в присутствии катализатора гидроокиси натрия при атмосферном давлении.

Суперпластификатор получали путем сульфирования оксидата ароматических углеводородов 20%-м олеумом (из расчета 1,00 мас. часть оксидата и 1,25 мас. частей олеума) при температуре 156 °С в течение 92 мин; продукт сульфирования конденсировали формальдегидом при 128 °С в течение 3,4 ч, а затем массу нейтрализовали гидроокисью натрия до pH = 7,3. В результате получили суперпластификатор со следующими качественными показателями: массовая доля сухих веществ 62,3 %, плотность при 20 °С 1,2756 г/см³, показатель активности водородных ионов 8,12;

- микрокремнезем марки МК-85 (ТУ 5743-048-02495332), который подвергался активации при температуре ±110 °С. Характеристика микрокремнезема после активации: истинная плотность 2,2436 г/см³, удельная поверхность 21,97 м²/г, в неуплотненном состоянии с насыпной плотностью 169 кг/м³.

Технология приготовления гидроизоляционной мастики. Расчетное количество нефтяного битума марки 20/30 (СТБ ЕН 12591–2010) загружали в лопастную мешалку, нагревали до температуры 150–180 °С, подавали резиновую крошку, модифицированную индустриальным маслом широкого назначения селективной очистки с повышенным индексом вязкости (табл. 2), и дивинилстирольный термоэластпласт ДСТ-30Р-20ПС. Массу перемешивали в течение 20–30 мин, затем вводили высокодисперсную торфяную золу, активированную суперпластификатором НСПКСАУсФ-1, смесь перемешивали в течение 10–15 мин до однородной массы и готовую гидроизоляционную мастику выгружали, охлаждали и исследовали. Образцы мастик испытывали по [16].

Составы гидроизоляционной мастики представлены в табл. 4, характеристики исследуемых мастик даны в табл. 5.

Таблица 4

Состав гидроизоляционных мастик

Компонент	Состав образцов мастик, мас. %				
	1	2	3	4	5
Битум нефтяной марки 20/30	59,3	56,8	54,3	51,8	49,3
Термоэластпласт дивинилстирольный ДСТ-30Р-20ПС	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4
Резина дробленая (ТУ 38.108035–87)	11,2	11,2	11,2	11,2	12,2
Масло минеральное индустриальное	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
Суперпластификатор НСПКСАУсФ-1	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Зола от сжигания торфа на Лидском ТБЗ	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5

Таблица 5

Физико-механические характеристики гидроизоляционных мастик

Компонент	Состав образцов мастик, мас. %				
	1	2	3	4	5
Теплостойкость, °С	78	87	101	109	118
Гибкость, °С	–42	–41	–38	–32	–27
Потеря массы при 163 °С за 5 ч, %	0,35	0,31	0,27	0,24	0,21
Температура вспышки, °С	>250	>250	>250	>250	>250
Водонепроницаемость в течение 72 ч при давлении 0,001 МПа	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает
Прочность сцепления при (20 ± 5) °С, МПа:					
	с бетоном	0,19	0,23	0,26	0,34
с металлом	0,17	0,18	0,21	0,32	0,29
Водопоглощение в течение 24 ч, % по массе	0,15	0,18	0,21	0,34	0,42

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что структурная прочность мастик увеличивается за счет введения частиц, сопоставимых с размерами асфальтенов, а эластичность дисперсионной среды – благодаря введению полимера ДСТ (табл. 3). Модификация мастик высокодисперсной торфяной золой, активированной суперпластификатором НСПКСаУсФ-1, различными полимерными добавками, содействует повышению их теплостойкости, эластичности, водонепроницаемости, а также позволяет регулировать технологические и эксплуатационные свойства мастик.

2. Экспериментально подтверждено, что высокодисперсная торфяная зола, активированная суперпластификатором НСПКСаУсФ-1, может успешно применяться для приготовления высококачественных гидроизоляционных мастик, так необходимых для защиты мостовых и тоннельных конструкций. Ее использование обеспечит не только большой экономический эффект, но и будет способствовать улучшению экологической обстановки в местах сжигания торфа и захоронения золы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые гидроизоляционные и кровельные материалы и их долговечность / А. М. Кисина [и др.]. – Л.: Энергия, 1980. – 80 с.
2. Виноградский, Д. Ю. Эксплуатация и долговечность мостов / Д. Ю. Виноградский, Ю. Д. Руденко, А. А. Шкуратовский. – Киев: Будвельник, 1985. – 104 с.
3. Джигит, С. Г. Проблемы долговечности железобетонных мостов / С. Г. Джигит, Ю. Л. Родин, Д. Г. Джигит // Автодорожник Украины. – 1990. – № 2. – С. 32–34.
4. Джигит, С. Г. Надійний гідроізоляційний захист – запорука довговічності транспортних споруд / С. Г. Джигит, Ю. Л. Родин, Н. А. Кузьмина // Автошляховик України. – 2001. – № 2. – С. 39–42.
5. Колбановская, А. С. Исследование дисперсных структур в нефтяных битумах с целью получения оптимального материала для дорожного строительства: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.17.07 А. С. Колбановская / Московский институт нефтехимической и газовой промышленности имени И. М. Губкина. – М., 1967. – 54 с.
6. Колбановская, А. С. Дорожные битумы / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1973. – 264 с.
7. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы / Р. Б. Гун. – М.: Химия, 1989. – 432 с.

8. Руденская, И. М. Реологические свойства битумов / И. М. Руденская, А. В. Руденский. – М.: Высш. шк., 1967. – С. 3–12.

9. Руденская, И. М. Состав, структура и физико-механические свойства нефтяных битумов / И. М. Руденская, А. В. Руденский // Дороги и мосты. – 2009. – № 22. – С. 278–295.

10. Сюняев, З. И. Реологические свойства битумов в области фазового перехода / З. И. Сюняев, А. А. Гуреев, С. А. Бегунц // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1983. – № 1. – С. 48–52.

11. Сюняев, З. И. Физико-химическая механика дисперсных систем / З. И. Сюняев. – М.: МИНХ и ГП имени И. М. Губкина, 1981. – 90 с.

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

13. Киричек, Ю. А. Экспериментальные исследования свойств модифицированных битумов, применяющихся в дорожном строительстве / Ю. А. Киричек, В. В. Демьяненко, А. А. Сухоребрий // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2008. – № 6–7. – С. 14–17.

14. Ляхевич, Г. Д. Технология и экономика вяжущих материалов с использованием кислых гудронов / Г. Д. Ляхевич, А. Г. Ляхевич. – Минск: БНТУ, 2006. – 251 с.

15. Ляхевич, Г. Д. Технология термoplastификации сапропелитовых и каменных углей / Г. Д. Ляхевич, А. Г. Ляхевич. – Минск: БНТУ, 2009. – 250 с.

16. Ляхевич, Г. Д. Технология и экономика переработки вторичных резиновых материалов, включая шины с металлокордом / Г. Д. Ляхевич, А. Г. Ляхевич. – Минск: БГПА, 1999. – 244 с.

17. Ляхевич, Г. Д. Технология производства гидроизоляционных работ: метод. пособие / Г. Д. Ляхевич. – Минск: БНТУ, 2013. – 140 с.

Поступила 20.10.2015

REFERENCES

1. Kicina, A. M., Ladyzhenskajab L. L., Popchenko, S. N., & Trofimov, V. N. (1980) *New Waterproof and Roofing Materials and their Durability*. Leningrad, Energia. 80 p. (in Russian).
2. Vinogradsky, D. Yu., Rudenko, Yu. D., & Shkuratovsky, A. A. (1985) *Operation and Durability of Bridges*. Kiev, Publishing House "Budivelnik". 104 p. (in Russian).
3. Djigit, S. G., Rodin, Yu. L., & Djigit, D. G. (1990) *Problems in Durability of Reinforced Concrete Bridges*. *Avtodorozhnik Ukrainy* [Automobile Road Builder of the Ukraine], 2, 32–34 (in Russian).
4. Djigit, S. G., Rodin, Ju. L., Kuzmina, N. A. (2001) *Reliable Waterproof Protection – Durability Guarantee of Transport Infrastructure Facilities*. *Avtošliakhovik Ukrainy* [Automobile Road Builder of the Ukraine], 2, 39–42 (in Ukrainian).
5. Kolbanovskaya, A. S. (1967) *Issledovanie Dispersnyh Struktur v Neftjanyh Bitumah s Celju Poluchenija Optimalnogo Materiala dlja Dorozhnogo Stroitelstva*. *Avtoref. Dis. d-ra*

tehn. nauk [Investigation of Disperse Structures in Oil Bitumen with the Purpose to Obtain Optimum Material for Road Construction. Extended Abstract of Dissertation on D.Sc. in Engineering]. Moscow. 54 p. (in Russian).

6. Kolbanovskaya, A. S., & Mikhailov, V. V. (1973) *Road Bitumen*. Moscow, Transport. 264 p. (in Russian).

7. Gun, R. B. (1989) *Oil Bitumen*. Moscow, Khimiya. 432 p. (in Russian).

8. Rudenskaya, I. M., & Rudensky, A. V. (1967) *Rheological Properties of Bitumen*. Moscow, Vysshaya Shkola, 3–12 (in Russian).

9. Rudenskaya, I. M., & Rudensky, A. V. (2009) Composition, Structure and Physical and Mechanical Properties of Oil Bitumen. *Dorogi i Mosty* [Roads and Bridges], 22, 278–295 (in Russian).

10. Sunyaev, Z. I., Gureev, A. A., Begunts, S. A. (1983) Rheological Properties of Bitumen in the Field of Phase Transition. *Izvestija Vysshih Uchebnyh Zavedenij. Neft i Gaz* [Higher Educational Institutions News. Oil and Gas], 1, 48–52 (in Russian).

11 Sunyaev, Z. I. (1981) *Physical and Chemical Mechanics of Disperse Systems*. Moscow: Moscow Institute of Petrochemical Oil and Gas Industry Named After I. M. Gubkin. 90 p. (in Russian).

12. Rudenskaya, I. M., & Rudensky, A. V. (1984) *Organic Binders for Road Construction*. Moscow, Transport. 229 p. (in Russian).

13. Kirichek, Yu. A., Demyanenko, V. V., Sukhorebry, A. A. (2008) Experimental Investigations on Properties of Modified Bitumen Applied in Road Construction. *Visnik Pridniprovskoi Derzhavnoi Akademii Budivnictva ta Arhitekturi* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture], 6–7, 14–17 (in Ukrainian).

14. Lyakhevich, G. D., & Lyakhevich, A. G. (2006) *Technology and Economics of Binding Materials while Using Acid Sludge*. Minsk: BNTU. 251 p. (in Russian).

15. Lyakhevich, G. D., & Lyakhevich, A. G. (2009) *Technology of Thermoplastification for Sapropelite and Bituminous Coal*. Minsk: BNTU. 250 p. (in Russian)

16. Lyakhevich, G. D., & Lyakhevich, A. G. (1999) *Technology and Economics for Recycling of Secondary Rubber Materials Including Tyres with Steel Cords*. Minsk: BSPA. 244 p. (in Russian).

17. Lyakhevich, G. D. (2013) *Technology for Execution of Waterproofing Works*. Minsk: BNTU. 140 p. (in Russian).

Received 20.10.2015