

ТЕХНОЛОГИЧНЫЕ ГОРЯЧИЕ И ЛИТЫЕ ДОРОЖНЫЕ
АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СМЕСИВ. И. Братчун¹, В. Л. Беспалов², О. А. Пшеничных³, В. П. Демешкин⁴, Н. С. Леонов⁵

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹ bratv09@yandex.ru, ² v.l.bespalov@donnasa.ru, ³ o.a.pshenichnyh@donnasa.ru,⁴ v.p.demeshkin@donnasa.ru, ⁵ n.s.leonov@donnasa.ru

Получена 26 августа 2022; принята 23 сентября 2022.

Аннотация. На основе методологии системного анализа предложенных физико-химических моделей модифицированных асфальтовяжущих веществ и асфальтобетонов с использованием экспериментально-статистического описания разработаны и реализованы новые научно обоснованные технологические решения получения комплексно-модифицированных горячих и литых асфальтополимерсеробетонных смесей для устройства и текущего ремонта покрытий нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности, способных противостоять колебаниям, усталостному разрушению, трещиностойкости и термоокислению, в результате комплексной модификации нефтяного дорожного битума бутадиевметилстирольным каучуком СКМС-30 совместно с технической серой и формированием в органическом вяжущем пространственной полимерной сетки. Горячие асфальтополимерсеробетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой оптимальных составов характеризуются следующими показателями качества: предел прочности при сжатии, МПа при 0 °C $R_0 = 8...10$, при 20 °C $R_{20} = 5,0...6,5$, при 75 °C $R_{75} = 1,2...1,4$; набухание, % от объема – 0; водонасыщение, % от объема 1,5...2,0. Литые асфальтополимерсеробетоны характеризуются повышенным сопротивлением сдвигу при высоких положительных температурах эксплуатации (условная жесткость по Маршаллу при 60 °C 23,1 кН), коэффициентом длительной водостойкости (90 суток), $K_{вд} = 0,89$, коэффициентом морозостойкости после 100 циклов попеременного замораживания–оттаивания $F = 0,85$, коэффициентом теплового старения после 2 000 часов прогрева в климатической камере ИП-1 при температуре 75 °C и ультрафиолетовом облучении, $K_{ст} = 1,27$. Разработаны технологии производства, укладки и уплотнения горячих асфальтополимерсеробетонных смесей.

Ключевые слова: комплексно-модифицированные бутадиевметилстирольным каучуком СКМС-30 и технической серой горячие и литые асфальтополимерсеробетонные смеси, оптимальные температуры производства, укладки и уплотнения горячих асфальтополимерсеробетонных смесей.

ТЕХНОЛОГІЧНІ ГАРЯЧІ ТА ЛИТІ АСФАЛЬТОБЕТОННІ ДОРОЖНІ
СУМІШІВ. І. Братчун¹, В. Л. Беспалов², О. О. Пшеничних³, В. П. Демешкін⁴, М. С. Леонов⁵

ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»,

2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: ¹ bratv09@yandex.ru, ² v.l.bespalov@donnasa.ru, ³ o.a.pshenichnyh@donnasa.ru,⁴ v.p.demeshkin@donnasa.ru, ⁵ n.s.leonov@donnasa.ru

Отримана 26 серпня 2022; прийнята 23 вересня 2022.

Анотація. На основі методології системного аналізу запропонованих фізико-хімічних моделей модифікованих асфальтов'язючих речовин та асфальтобетонів з використанням експериментально-



статистичного опису розроблено та реалізовано нові науково обґрунтовані технологічні рішення отримання комплексно-модифікованих гарячих та литих асфальтополімерсіркобетонних сумішей для улаштування та поточного ремонту покриттів підвищеної довговічності, здатних протистояти колійності, втомному руйнуванню, тріщиностійкості та термоокисленню, в результаті комплексної модифікації нафтового дорожнього бітуму бутадієнметилстирольним каучуком СКМС-30 спільно з технічною сіркою та формуванням в органічному в'язучому просторової полімерної сітки. Гарячі асфальтополімерсіркобетони з комплексно-модифікованою мікроструктурою оптимальних складів характеризуються такими показниками якості: межа міцності при стиску, МПа при 0°C $R_0 = 8...10$, при 20°C $R_{20} = 5,0...6,5$, при 75°C $R_{75} = 1,2...1,4$; набухання, % від об'єму – 0; водонасичення, % від об'єму 15...20. Литі асфальтополімерсіркобетони характеризуються підвищеним опором зсуву при високих позитивних температурах експлуатації (умовна жорсткість по Маршаллу при 60°C 23,1 кН), коефіцієнтом тривалої водостійкості (90 діб), $K_{\text{vd}} = 0,89$, коефіцієнтом морозостійкості після 100 циклів $F = 0,85$, коефіцієнтом теплового старіння після 2 000 годин прогріву в кліматичній камері ІП-1 при температурі 75°C та ультрафіолетовому опроміненні, $K_{\text{st}} = 1,27$. Розроблено технології виробництва, укладання та ущільнення гарячих асфальтополімерсіркобетонних сумішей.

Ключові слова: комплексно-модифіковані бутадієнметилстирольним каучуком СКМС-30 та технічною сіркою гарячі та литі асфальтополімерсіркобетонні суміші, оптимальні температури виробництва, укладання та ущільнення гарячих асфальтополімерсіркобетонних сумішей.

TECHNOLOGICAL HOT AND CAST ROAD ASPHALT MIXES

Valery Bratchun ¹, Vitaly Bespalov ², Oleg Pshenichnykh ³, Valentin Demeschkin ⁴,
Nikita Leonov ⁵

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeevka, DPR, 83123.*

*E-mail: ¹ bratv09@yandex.ru, ² v.l.bespalov@donnasa.ru, ³ o.a.pshenichnykh@donnasa.ru,
⁴ v.p.demeshkin@donnasa.ru, ⁵ n.s.leonov@donnasa.ru*

Received 26 August 2022; accepted 23 September 2022.

Abstract. Based on the methodology of the system analysis of the proposed physical and chemical models of modified asphalt binders and asphalt concretes using an experimental and statistical description, new science-based technological solutions have been developed and implemented for obtaining complex-modified hot and cast asphalt-polymer-sulfur concrete mixtures for the installation and maintenance of non-rigid pavement pavements of highways increased durability, capable of withstanding rutting, fatigue failure, crack resistance and thermal oxidation, as a result of the complex modification of petroleum road bitumen with butadiene methylstyrene rubber SKMS-30 together with technical sulfur and the formation of a spatial polymer network in the organic binder. Hot asphalt polymer concrete with complex modified microstructures of optimal compositions is characterized by the following quality indicators: compressive strength, MPa at 0°C $R_0 = 8...10$, at 20°C $R_{20} = 5,0...6,5$, at 75°C $R_{75} = 1,2...1,4$; swelling, % of volume – 0; water saturation, % of the volume 1,5...2,0. Cast asphalt polymer-sulfur concretes are characterized by increased shear resistance at high positive operating temperatures (conditional Marshall stiffness at 60°C 23,1 kN), long-term water resistance coefficient (90 days), $K_{\text{vd}} = 0,89$, frost resistance coefficient after 100 cycles of alternating freezing thawing $F = 0,85$, coefficient of thermal aging after 2 000 hours of heating in the climatic chamber IP-1 at a temperature of 75°C and ultraviolet irradiation, $K_{\text{st}} = 1,27$. Technologies for the production, laying and compaction of hot asphalt-polymer-sulphur-concrete mixtures have been developed

Keywords: complex-modified butadienemethylstyrene rubber SKMS-30 and technical sulfur hot and cast asphalt-polymer-sulphur-concrete mixtures, optimal temperatures for the production, laying and compaction of hot asphalt-polymer-sulphur-concrete mixtures.

Формулировка проблемы

Донецкая область располагает разветвленной сетью с жесткими покрытиями автомобильных дорог общего пользования: внутригородских около 40 тыс. км и 8 тыс. км внегородских.

Автомобильная промышленность добила отмены ограничений на осевые нагрузки, поэтому возросшая интенсивность движения и особенно доля в ней большегрузных автомобилей, автомобильных поездов и нагрузки на ось выше 15 кН приводит к существенному возрастанию изнашивающего и разрушающего воздействия автомобилей на дорогу [1].

Таким образом, действие на асфальтобетонное покрытие комплекса транспортных нагрузок и атмосферных факторов, вызывающих истирающие действия, нормальные и касательные усилия, а также ударные нагрузки в зонах контакта колес с покрытием приводит к большому разнообразию дефектов, образующихся на асфальтобетонном покрытии: наплывы, волны,

колеи, трещины, выбоины, шелушение и др. (рис. 1, 2, 3, 4).

Анализ последних исследований и публикаций

Свойства асфальтобетона – композиционного материала с коагуляционным типом контактов – определяются прежде всего качеством органического вяжущего и процессами взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее–минеральный материал» [2–5].

Используемые дорожные нефтяные битумы характеризуются невысокими температурами размягчения, отсутствием эластичности, а также неудовлетворительными адгезионно-когезионными свойствами.

Следовательно, необходимо разрабатывать такие способы направленного регулирования качества нефтяных дорожных битумов и интенсификации процессов взаимодействия на поверхности раздела фаз «битум–минеральный



Рисунок 1. Сдвиг покрытия из мелкозернистого асфальтобетона с образованием волн.



Рисунок 2. Хрупкий разрыв асфальтобетонного покрытия.



Рисунок 3. Сдвиг покрытия из мелкозернистого асфальтобетона с образованием волн.



Рисунок 4. Выбоины на асфальтобетонном покрытии.

материал», которые бы позволили обеспечить нормативный срок эксплуатации автомобильных дорог [6–8].

Цель исследования

Является разработка составов и технологии производства технологичных горячих и литых дорожных асфальтобетонных смесей для строительства и ремонта покрытий нежестких дорожных одежд повышенной долговечности.

Основной материал

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработаны составы и технологии производства горячих и литых асфальтополимерсеробетонных смесей для строительства покрытий нежестких дорожных одежд с оптимальным сочетанием характеристик макро-, мезо- и микроструктуры, и порового пространства, в которых создан устойчивый пространственный минеральный каркас, прочное, деформационно-релаксирующее с высокими адгезионно-когезионными свойствами асфальговязующее вещество, а объем остаточных пор в структуре асфальтобетона минимальный (рис. 5) [9–12].

Для этого минеральный порошок активируют растворами полимеров, например каучука

СКМС-30, олигомерами, содержащими функциональные группы (карбонидо-формальдегидная смола, эпоксидсодержащие олигомеры, кубовые остатки ректификации стирола и др.), а битум модифицируют комплексной добавкой включающей 2 % бутадиен-метилстирольного каучука СКМС-30 и 25...30 % технической серы. Составы асфальтополимерсеробетонного вяжущего оптимизированы. Факторы варьирования – массовая концентрация в битуме СКМС-30 $X_1 = 1 \dots 5\%$ мас. и технической серы $X_2 = 20 \dots 60\%$ мас. Параметры оптимизации асфальтополимерсеробетона, приготовленного на известняковом минеральном порошке, который активирован 0,5 % мас. СКМС-30: предел прочности при сжатии при 0°C $R_0(Y_1)$ – не более 12 МПа, при 75°C $R_{75}(Y_2)$ – не менее 1,2 МПа, а также коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении $K_{\text{вд}}(Y_3)$ – не менее 0,8 (рис. 7). Регрессионный анализ выполнен с помощью ЭВМ по программе, написанной на языке MathCAD. Y_1 (1) и Y_2 (2) аппроксимированы полиномами второй степени, а Y_3 (3) первой:

$$Y_1(X_1, X_2) = 9,033 + 0,633 \cdot x_1 + 0,825 \cdot x_2 - 0,658 \cdot x_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2(X_1, X_2) = 1,367 + 0,177 \cdot x_1 + 0,242 \cdot x_2 - 0,225 \cdot x_2^2 \quad (2)$$

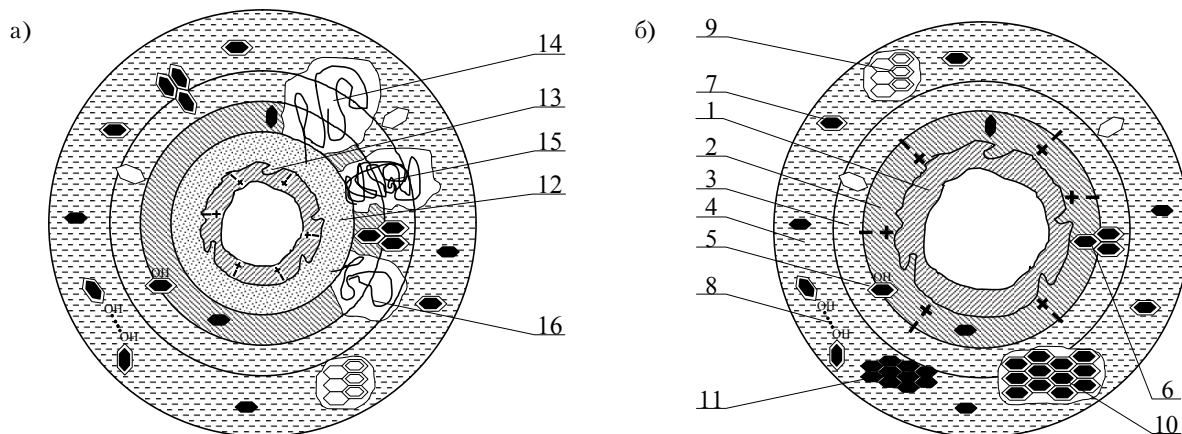


Рисунок 5. Предполагаемые схемы формирования межфазного контакта в системе: а) битум–неактивированный минеральный порошок; б) битумополимерсеробетонное вяжущее–активированный олигомером минеральный порошок; 1 – частица минерального порошка; 2, 3, 4 – структурированный, диффузный и объемный слой вяжущего соответственно; 5 – полярное вещество битума; 6 – асфальтеновый комплекс; 7 – смолы; 8 – ассоциативный комплекс; 9 – кристалл полициклического углеводорода; 10, 11 – фрагменты коагуляционной и конденсационной структур; 12 – слой олигомера (полимера) – активатора поверхности МП; 13 – пора, заполненная олигомером (полимером); 14 – фрагмент полимерной сетки; 15, 16 – фрагменты структур с аутогезионными взаимодействиями.

$$Y_3(X_1, X_2) = 0,912 - 0,09 \cdot x_2 \quad (3)$$

Коэффициент корреляции 0,97, 0,98 и 0,94, коэффициент вариации 0,034, 0,028 и 0,043 соответственно. Информационная способность моделей 1, 2, 3 проверена с помощью критерия Фишера. Определены доверительные интервалы значений для функций отклика. Выделена область оптимальных значений факторов системы «битум–бутадиенметилстирольный каучук–техническая сера», обеспечивающих заданные параметры оптимизации модифицированного асфальтовязующего вещества (рис. 6) [11, 12].

На поверхности минерального порошка формируется структурированный слой модификатора, приводящий к существенному усилению межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «битумополимерсерное вяжущее–минеральный порошок» (рис. 8). Это приводит к существенному упрочнению асфальто-

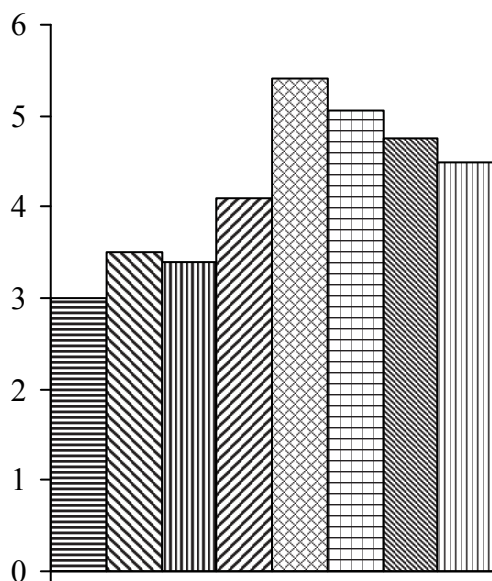


Рисунок 6. Диаграмма предела прочности при сжатии при температуре 20 °С R_{20} мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовязующего вещества: 1 – вяжущее – битум (Б), P_{25} = 59 град. шкалы пенетromетра, известняковый минеральный порошок (ИМП) не активирован; 2 – вяжущее – Б, P_{25} = 59 град. с 2 % бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 и с 30 % S, ИМП не активирован; 3 – вяжущее – Б, P_{25} = 59 град. с 30 % технической серы (S), ИМП не активирован; 4 – вяжущее – Б, P_{25} = 59 град. с 2 % СКМС-30 и 30 % S, ИМП не активирован; 5, 6, 7, 8 – вяжущее – Б, P_{25} = 59 град. с 2 % СКМС-30 и с 30 % S, ИМП активирован 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 % СКМС-30 соответственно.

бетона. Формируется структура композиционного материала абсолютно водостойкая и морозостойкая.

Асфальтополимерсеробетонные смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в более широком диапазоне температур (60–130 °С) по сравнению с традиционными горячими асфальтобетонными смесями (90–130 °С). Это позволяет увеличить дальность транспортирования асфальтополимерсеробетонных смесей и расширить строительный сезон, значительно снизить энергоемкость уплотнения, сформировать плотную структуру и текстуру покрытия.

Асфальтополимерсеробетоны характеризуются большими критическими напряжениями, чем горячий асфальтобетон (рис. 9). Следовательно, покрытия, построенные с использованием модифицированного асфальтобетона, будут более долговечны под действием транспортных нагрузок.

Асфальтополимерсеробетоны отличаются широким интервалом вязкоупругого поведения в покрытии дорожной одежды (температура стеклования минус 32,5 °С, а температура перехода в вязкотекучее состояние 75 °С) (рис. 10). В то же время интервал вязкоупругого состояния не превышает 70 °С у традиционного асфальтобетона (рис. 10), повышенным сопротивлением сдвигу и динамическим модулем упругости в области положительных температур. Они значительно устойчивее к старению и более водостойки, чем традиционные горячие асфальтобетоны (рис. 11, 12).

Экономический эффект от внедрения асфальтополимерсеробетонных смесей при годовом объеме производства 50 тыс. т смесей составит 5 млн руб. и обусловлен снижением себестоимости их производства и значительным повышением долговечности покрытий автомобильных дорог (в 2–3 раза).

В связи с ростом интенсивности и грузонапряженности движения транспортных средств особенно важную роль приобретает своевременность и качество проведения работ по текущему ремонту покрытий автомобильных дорог. Дорожно-строительные организации Донецкой области ежегодно выполняют значительный объем работ по текущему ремонту автомобильных дорог,

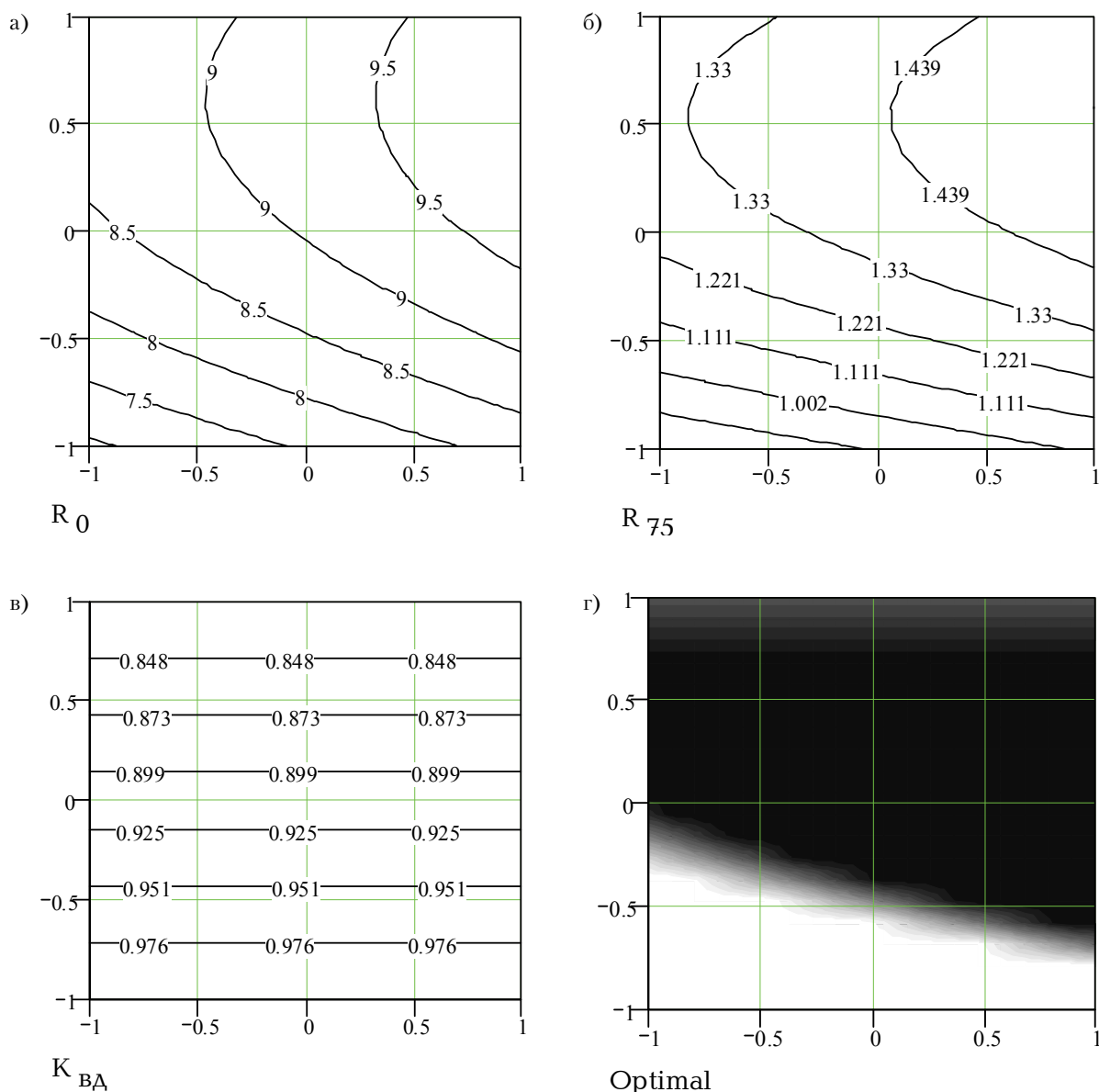


Рисунок 7. Зависимость предела прочности при сжатии, МПа при 0°C R_0 (а), при 75°C R_{75} (б), коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении $K_{вд}$ (в) и области оптимальных составов битумополимерсерного вяжущего от массовой концентрации в битуме СКМС-30 X_1 и технической серы X_2 (г).

основным видом которого является ликвидация ямочности.

Ямочность на автомобильных дорогах возникает прежде всего при неблагоприятных погодных условиях. В то же время этот вид дефекта устраняют в основном, в теплое время года. Несвоевременность выполнения текущего ремонта вызывает в дальнейшем существенное увеличение объема ремонтных работ и снижает безопасность движения.

Одним из наиболее эффективных материалов для ямочного ремонта покрытий автомобильных дорог в неблагоприятных погодных условиях являются литые асфальтополимерсеробетонные смеси, которые позволяют выполнить качественный и долговечный ремонт нежестких одежд автомобильных дорог при температуре окружающей среды до -10°C . Высокая температура укладки литых смесей ($170\ldots 180^\circ\text{C}$) и избыток органического вяжущего способствует высокой адгезии нового ма-

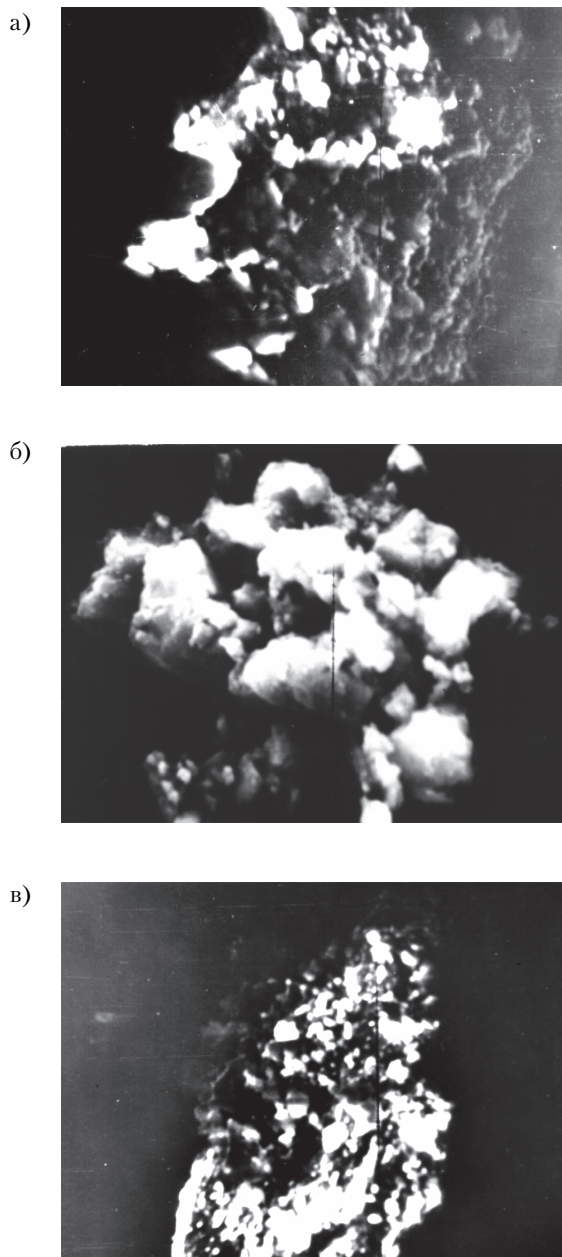


Рисунок 8. Электронные микрофотографии активированного КФ-МТ известнякового минерального порошка ($\times 900$): а), б), в) – массовая концентрация КФ-МТ на поверхности ИМП 0,25, 0,5 и 1,25 % соответственно.

териала к стенкам и дну выбоины. Литые асфальтополимерсеробетонные смеси не требуют уплотнения. После остывания смеси движение по отремонтированному участку возобновляется.

Литая асфальтополимерсеробетонная смесь удовлетворяет условиям целостности работы системы, представленным старым материалом

(ремонтируемый слой асфальтобетонного покрытия (СМ)) – контактном слоем (КС) и новым материалом (НМ) (литая асфальтополимерсеробетонная смесь) (рис. 13).

Технология производства асфальтополимерсеробетонной смеси, приведенная на рис. 14, включает следующие элементные процессы: производство раствора полимера 1, 2, 3, 4, 9; битумополимерсерного вяжущего 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12; активированного олигомером или полимером минерального порошка 13, 14, 15, 16, 6, 17; горячей или литой асфальтополимерсеробетонной смеси 18. Характерно, что по сравнению с традиционной технологией производства литых асфальтополимерсеробетонных смесей температура смеси на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, не нужно нагревать минеральный порошок до $220\text{...}230\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это значительно снижает энергоемкость процесса производства литых асфальтобетонных смесей и замедляет процессы технологического старения смесей.

Ремонт покрытия литой асфальтополимерсеробетонной смесью выполняют в соответствии с «ТР 103-07»: границы выбоины оконтуривают прямыми линиями, захватывая на $3\text{...}5\text{ см}$ неповрежденную часть покрытия; старый асфальтобетон удаляют, например, холодным фрезированием; с помощью нагревателей инфракрасного излучения выбоину разогревают до температуры $170\text{...}180\text{ }^{\circ}\text{C}$; раскирковуют разогретые края выбоины на глубину $1\text{...}2\text{ см}$; дно выбоины распушивают; раскиркованную смесь планируют по дну карты и укладывают литую асфальтополимерсеробетонную смесь. Движение по отремонтированному участку открывают после остывания отремонтированной карты до температуры окружающей среды.

Стоимость литой асфальтополимерсеробетонной смеси на 20% дороже горячей асфальтобетонной смеси, но срок ее эксплуатации $40\text{--}45$ лет, в то время как срок эксплуатации традиционного асфальтобетонного покрытия до капитального ремонта $8\text{--}10$ лет. Экономический эффект от внедрения литых асфальтополимерсеробетонных смесей только в Донецкой области составит 20 млн рос. руб.

В Российской Федерации изготавливаются комплекты для транспортирования литых асфальтобетонных смесей КДМ-1501 (рис. 15), асфальтоукладчики и технологическое оборудование

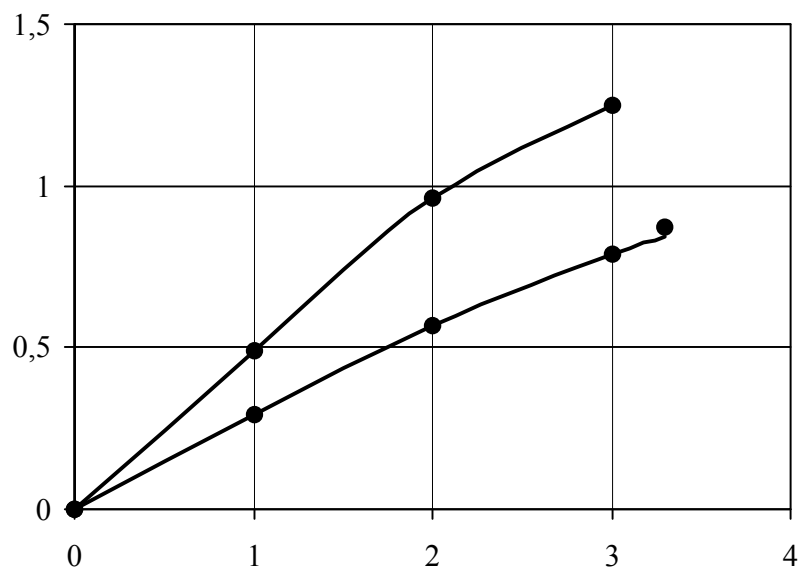


Рисунок 9. Зависимость между напряжением σ в мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б) и относительной деформацией ϵ при частоте деформирования 0,5 Гц и температуре 20 °С: 1 – вяжущее–нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра, минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее–нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетromетра, модифицированный 2 % мас. СКМС-30 и 40 % технической серы, минеральный порошок активирован 0,5 % мас. СКМС-30.

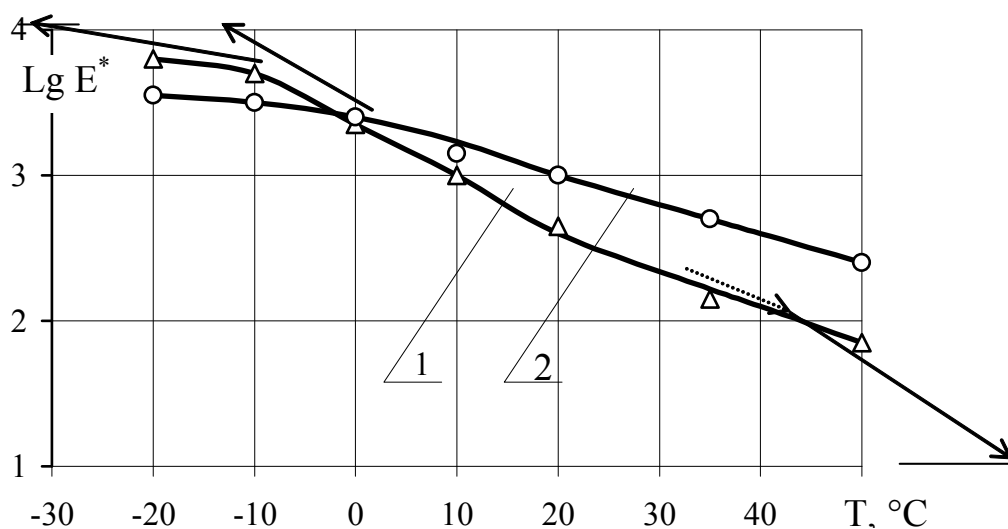


Рисунок 10. Температурная зависимость комплексного модуля упругости E^* мелкозернистого асфальтобетона (тип Б) при частоте деформирования 0,5 Гц, отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее–нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра, минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее–нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетromетра, модифицированный 2 % мас. СКМС-30 и 30 % технической серы, минеральный порошок активирован 0,5 % мас. СКМС-30.

для производства литых асфальтополимерсеробетонных смесей.

При небольших объемах работ, например при устройстве слоя износа ($h = 2$ см), укладывать

литую асфальтобетонную смесь можно вручную (рис. 16).

Покрывтия из литого асфальтополимерсеробетона водонепроницаемы, обладают абсолютной

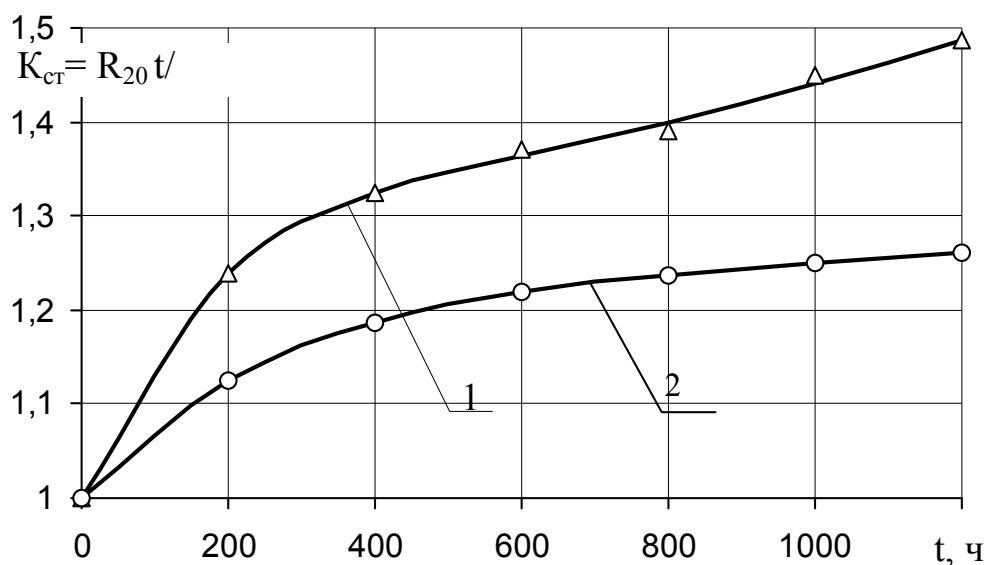


Рисунок 11. Зависимость коэффициента теплового старения $K_{ст}$ от времени прогрева t в климатической камере ИП при температуре $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ мелкозернистого асфальтового бетона (тип Б): 1 – вяжущее–нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетрометра, минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее–нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетрометра, модифицированный 2 % мас. СКМС-30 и 40 % технической серы, минеральный порошок активирован 0,5 % мас. СКМС-30.

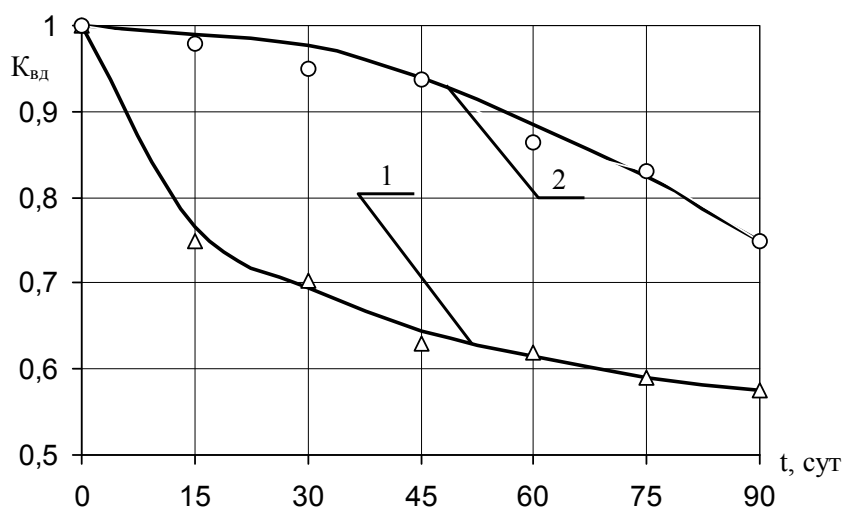


Рисунок 12. Зависимость коэффициента длительной водостойкости $K_{вд}$ от времени водонасыщения t мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее–нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетрометра, минеральный порошок известняковый не активирован; 2 – вяжущее–нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетрометра, модифицированный 2 % мас. СКМС-30 и 30 % технической серы, минеральный порошок активирован 0,5 % мас. СКМС-30.

коррозионной стойкостью, трещино- и износостойки. Из всех разновидностей асфальтобетонных покрытий покрытия из литого асфальтобетона являются наиболее устойчивыми к меха-

ническим и физическим воздействиям окружающей среды и транспортных средств, особенно при применении противогололедных солей, специальных химических растворов.

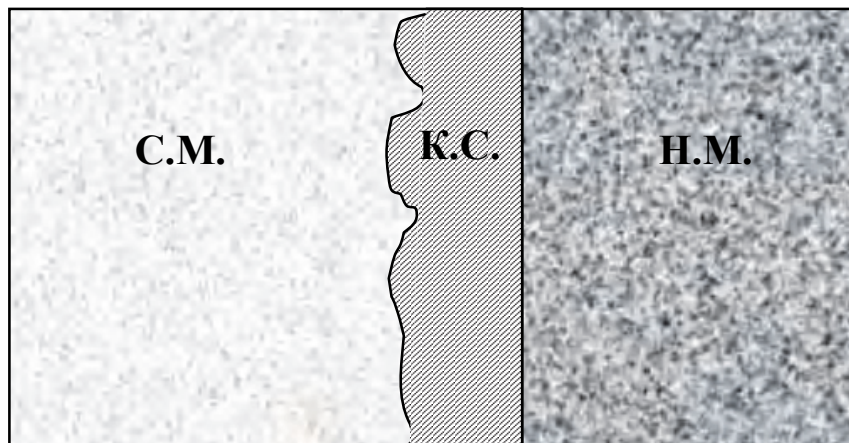


Рисунок 13. Схема формирования макроструктуры в ремонтируемой карте асфальтобетона: С.М. – старый материал (ремонтируемый слой асфальтобетонного покрытия); К.С. – контактный слой; Н.М. – новый материал (литая смесь).

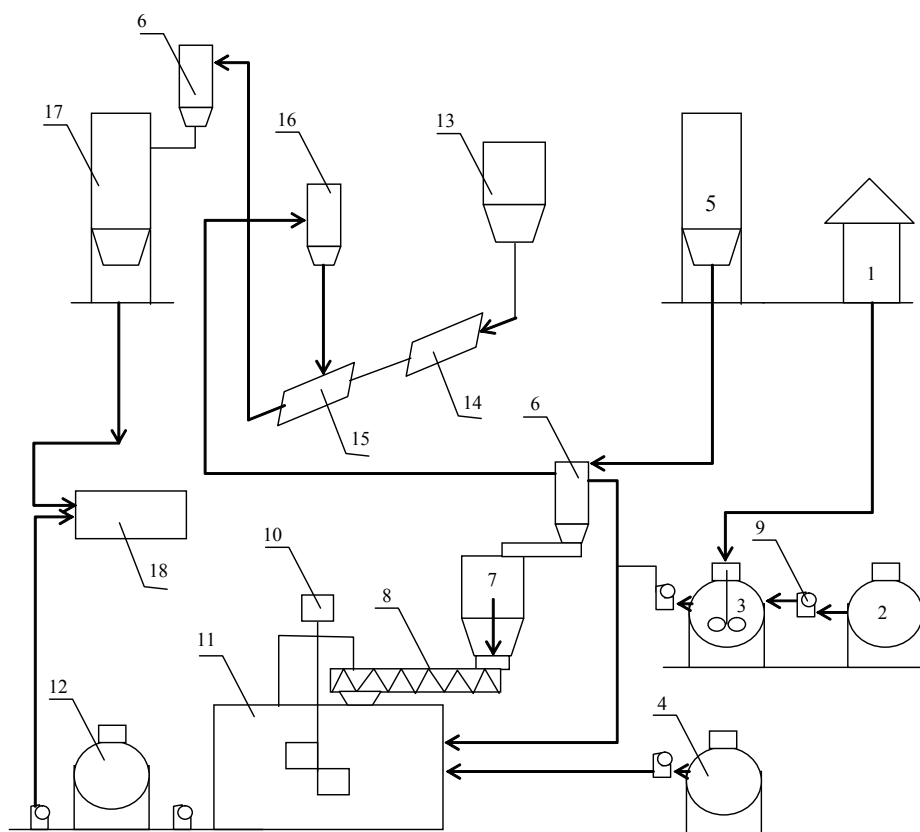


Рисунок 14. Принципиальная технологическая схема производства асфальтополимерсеробетонной смеси: 1 – склад СКМС-30; 2 – ёмкость растворителя СКМС-30; 3 – ёмкость для приготовления раствора СКМС-30; 4 – битумоварочный котёл; 5 – силосный склад технической серы; 6 – циклон; 7 – бункер для межоперационного складирования технической серы; 8 – шнековый питатель; 9 – битумонасос; 10 – мешалка; 11 – битумоварочный котёл производства битумополимерсерного вяжущего; 12 – расходный битумоварочный котёл битумополимерсерного вяжущего; 13 – бункер для межоперационного складирования известнякового щебня; 14 – сушильный барабан; 15 – мельница; 16 – дозатор раствора СКМС-30; 17 – силосный склад активированного СКМС-30 минерального порошка; 18 – асфальтосмеситель.

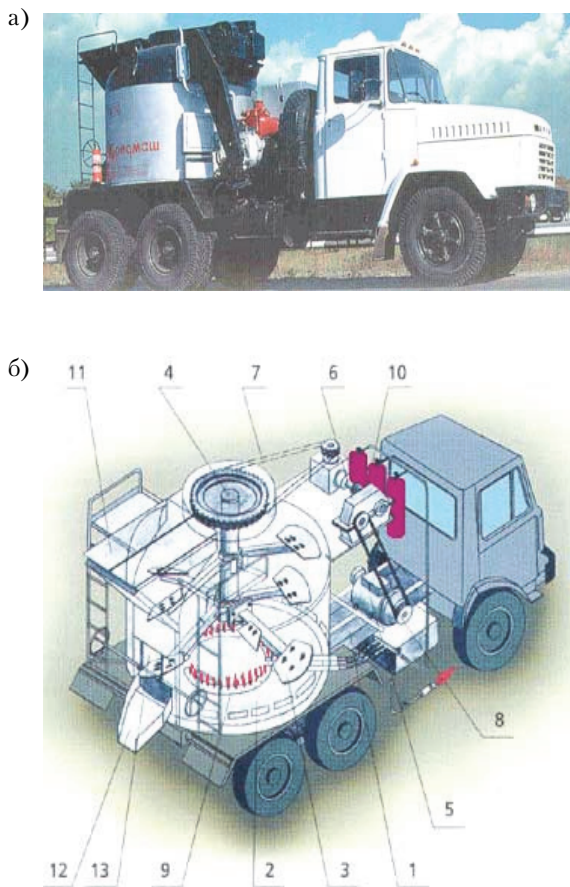


Рисунок 15. Комплект для транспортировки литой асфальтобетонной смеси КДМ-1501: а) общий вид; б) разрез КДМ-1501.



Рисунок 16. Устройство покрытия из литой асфальтобетонной смеси.

Выводы

1. С использованием экспериментально-статистического метода планирования эксперимента установлено, что оптимальная массовая концентрация бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 в битумах III структурно-реологического типа БНД 40/60, БНД 60/90 должна составлять 2... 3 % мас., технической серы 25...30 % мас., а массовая концентрация СКМС-30 на поверхности минерального порошка 0,5 % мас. При данных концентрационных отношениях формируется структурный слой модификатора, приводящий к усилению межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «битумополимерсерное вяжущее–поверхностно-активированный СКМС-30 минеральный порошок». Асфальтополимерсеробетонные смеси отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в диапазоне температур 60...130 °С. Асфальтополимерсеробетоны характеризуются широким интервалом вязкоупругого поведения. Температура перехода в вязкотекучее состояние 75 °С, температура стеклования – 32,5 °С, устойчивость по Маршаллу 23 кН против 15 кН для традиционного горячего асфальтобетона. Они более долговечны, коэффициент старения при 75 °С и ультрафиолетовом облучении после 2 000 часов прогрева составляет $K_{ст} = 1,25$, для стандартного асфальтобетона $K_{ст} = 1,6$; коэффициент водостойкости после 90 суток водонасыщения $K_{вд} = 0,87$, коэффициент морозостойкости после 100 циклов, $F = 0,83$, для стандартного асфальтобетона $F = 0,41$.
2. С использованием метода планирования эксперимента оптимизирован состав асфальтополимерсерного вяжущего вещества литой асфальтополимерсеробетонной смеси оптимального состава (массовая концентрация поверхностно-активированного 0,5 % мас. СКМС-30 известнякового минерального порошка 17...18 % мас., битумополимерсерного вяжущего 8...9,5 % мас., что обеспечивает подвижность смеси при 150 °С, $ОК > 30$ мм, глубину погружения штампа при 40 °С, $h < 4$ мм. Для литого асфальтополимерсеробетона предел прочности при изгибе на растяжение при 0 °С, $R_{изг} > 5,6$ МПа, коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении

Квд = 1,0, устойчивость по Маршаллу $R = 21$ кН, коэффициент морозостойкости после 100 циклов $F = 0,85$, коэффициент старе-

ния после 2 000 часов прогрева в климатической камере ИП-I при температуре 75°C и ультрафиолетовом облучении $K_{\text{ст}} = 1,23$).

Литература

1. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования = Classification of automobile roads. General parameters and requirements : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2005 г. № 296-ст. : введен впервые : дата введения 2006-05-01 / разработан Московским автомобильно-дорожным институтом (Государственным техническим университетом), Российской академией транспорта, ООО «ИнжинирингИнвест». – Москва : Стандартинформ, 2006. – 19 с. – Текст : непосредственный.
2. Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцвей, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королёв. – Москва : Транспорт, 1985. – 350 с. – Текст : непосредственный.
3. Илиополов, С. К. Динамика дорожных конструкций / С. К. Илиополов, М. Т. Селезнев, Е. В. Углова. – Ростов-на-Дону : РГСУ, 2002. – 258 с. – Текст : непосредственный.
4. Золотарев, В. А. Перспективы повышения долговечности асфальтобетона / В. А. Золотарев. – Текст : непосредственный // Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство на рубеже 3-го тысячелетия. – Харьков : ХНАДУ, 2000. – С. 58–61.
5. Калгин, Ю. И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов : монография / Ю. И. Калгин. – Воронеж : Издательство ВГУ, 2006. – 272 с. – Текст : непосредственный.
6. Носов, В. П. Увеличение сроков службы дорожных одежд – стратегическая задача дорожной науки / В. П. Носов. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги. – 2006. – № 12. – С. 8–86.
7. Смирнов, А. В. Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности жестких дорожных одежд : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание научной степени доктора технических наук / Смирнов Александр Владимирович ; Московский автомобильно-дорожный институт. – Омск, 1989. – 376 с. – Текст : непосредственный.
8. Углова, Е. В. Расчет усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий : учебное пособие /

Reference

1. GOST R 52398-2005. Classification of automobile roads. General parameters and requirements. – Moscow : Standartinform, 2006. – 19 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Gezentsvey, L. B.; Gorelyshev, N. V.; Boguslavsky, A. M.; Korolev, I. V. Road asphalt concrete. – Moscow: Transport, 1985. – 350 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Iliopolov, S. K.; Seleznev, M. T.; Uglova, E. V. Dynamics of road structures. – Rostov-on-Don : RSUCE, 2002. – 258 p. – Text : direct. (in Russian)
4. Zolotarev, V. A. Prospects for increasing the durability of asphalt concrete. – Text : direct. – In: *Automobile transport and road economy at the turn of the 3rd millennium*. – Kharkiv : KNARU, 2000. – P. 58–61. (in Russian)
5. Kalgin, Yu. I. Road bitumen-mineral materials based on modified bitumen: monograph. – Voronezh : Publishing House VSU, 2006. – 272 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Nosov, V. P. Extending the service life of pavements is a strategic challenge for road science. – Text : direct. – In: *Highways*. – 2006. – № 12. – P. 81–86. (in Russian)
7. Smirnov, A. V. Theoretical and experimental studies of the performance of non-rigid pavements : Thesis of D. Sc. In Engineering ; Moscow Automobile and Road Institute. – Omsk, 1989. – 376 p. – Text : direct. (in Russian)
8. Uglova, E. V.; Drovleva, O. V. Fatigue life calculation for asphalt concrete pavements : tutorial. – Rostov-on-Don : RSUCE, 2008. – 104 p. – Text : direct. (in Russian)
9. Bratchun, V. I.; Bepalov, V. L.; Pakter, M. K. [et. al.]. Asphalt-polymer concretes with a complex-modified microstructure. – Text : direct. – In: *Science and technology in the road industry: International scientific and technical journal*. – 2013. – № 3. – P. 35–41. (in Russian)
10. Patent № 82922 Ukraine. Cast asphalt polymer concrete mixture : № UA a200607364 ; declared 03.07.2006 : published 26.05.2008 / Bratchun V. I., Stoliarova N. O., Bepalov V. L. ; declarant : DNACEA. – 3 p. – Text : direct. (in Ukraine)
11. Bratchun, V. I.; Bepalov, V. L. Theoretical and methodological provisions for the formation of optimal structures of complex-modified road asphalt concrete of increased durability. – Text : direct. – In: *Builder of Donbass*. – 2018. – № 1 (2). – P. 17–23. (in Russian)

- Е. В. Углова, О. В. Дровлева. – Ростов-на-Дону : РГСУ, 2008. – 104 с. – Текст : непосредственный.
9. Асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер [и др.]. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли: международный научно-технический журнал. – 2013. – № 3. – С. 35–41
10. Патент № 82922 Украина, МПК51 (2006), СО4В 26/26, СО8L 95/00, E01C 7/00. Лита асфальто-полімерсіркобетонна суміш : № UA a200607364 ; заявл. 03.07.2006 : опубл. 26.05.2008 / Братчун В. І., Столярова Н. О., Беспалов В. Л. ; заявник : ДонНАБА. – 3 с. – Текст : непосредственный.
11. Братчун, В. И. Теоретико-методологические положения формирования оптимальных структур комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов. – Текст : непосредственный // Строитель Донбасса. – 2018. – №1 (2). – С. 17–23.
12. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Фолиант, 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.
12. Bratchun, V. I.; Bespalov, V. L.; Pakter, M. K.; Romasiuk, E. A. Theoretical and experimental principles for obtaining modified road asphalt concrete of increased durability. – Donetsk : Foliant, 2020. – 244 p. – Text : direct. (in Russian)

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Беспалов Виталий Леонидович – доктор технических наук, профессор кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: синтез органических вяжущих для производства композиционных дорожно-строительных материалов, используемых при строительстве конструктивных слоев жестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности.

Пшеничных Олег Александрович – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны армированные полимерными волокнами.

Демешкин Валентин Павлович – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Леонов Никита Сергеевич – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування

структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Беспалов Віталій Леонідович – доктор технічних наук, професор кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг підвищеної довговічності.

Пшеничных Олег Олександрович – асистент кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони армовані полімерними волокнами.

Демешкін Валентин Павлович – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Леонов Микита Сергійович – асистент кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Bratchun Valery – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and lasting road concretes for building of structural layers of non-rigid road coats on the basis of modification of organic astringent and complex microstructure modification of concretes; elaboration of effective technologies of processing of technogenous raw material in to the components of compositional materials.

Bespalov Vitaly – D. Sc. (Eng.), Professor, Highways and Air Fields Department, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: synthesis of organic astringent for a production road-build materials of compositions, used for building of structural layers of non-rigid travelling clothes of highways of the promoted longevity.

Pshenichnykh Oleg – postgraduate Assistant, Highways and Air Fields, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex-modified asphalt-polymer concrete reinforced with polymer fibers.

Demeschkin Valentin – Senior Lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies of processing of technogenic raw material in the components of materials of compositions.

Leonov Nikita – Assistant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.