

В. П. Лосев (вед.инж.) ¹, Р. Р. Япаев (асп.) ¹, Р. Ш. Япаев (к.т.н., доц.) ¹,
О. Ю. Белоусова (к.т.н., доц.) ¹, А. Ф. Ахметов (д.т.н., проф.) ¹, Б. Г. Печеный (д.т.н., проф.) ²

ПРИМЕНЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет
кафедра технологии нефти и газа
450064, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; e-mail: seriyjah@gmail.com

² Северо-Кавказский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова
357202, г. Минеральные Воды, ул. Железноводская, 24; e-mail: kurbatov_bgtu@list.ru

V. P. Losev ¹, R. R. Yapaev ¹, R. Sh. Yapaev ¹, O. Yu. Belousova ¹,
A. F. Akhmetov ¹, B. G. Pechenyi ²

THE USE OF RESIDUAL PRODUCTS OF OIL REFINING IN THE MANUFACTURE OF HIGH-QUALITY ASPHALT MIXTURES

¹ Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450064, Ufa, Russia; e-mail: seriyjah@gmail.com

² North-Caucasian branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
24, Zheleznovodskaya Str., 357202, Mineralnye Vody, Russia; e-mail: kurbatov_bgtu@list.ru

Представлены результаты исследования возможностей получения высококачественных асфальтобетонных смесей с применением тяжелого вакуумного остатка процесса висбрекинга в качестве основного компонента и прямогонного гудрона в качестве пластификатора. Внедрение предлагаемой авторами методики позволит обеспечить: высокую технологическую подвижность асфальтобетонной, полимерасфальтобетонной, щебеночно-мастичной смеси; теплостойкость дорожного покрытия, сохранение прочности при повышенной температуре летом и предохранение его от волнообразования, сдвигов, наплывов; устойчивое сцепление с минеральными материалами разных пород и водостойкость асфальтобетона; снижение себестоимости асфальтобетонной смеси.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь; битумное вяжущее; висбрекинг-остаток; прямогонный гудрон; тяжелые нефтяные остатки.

The results of a study of the possibilities of obtaining high-quality asphalt concrete mixtures using a heavy vacuum residue of the visbreaking process as the main component and straight-run tar as a plasticizer are presented. The implementation of the methodology proposed by the authors will ensure: high technological mobility of asphalt concrete, polymer asphalt concrete, crushed stone-mastic mixture; heat resistance of the road surface, maintaining strength at elevated temperatures in summer and protecting it from wave formation, shifts, and influxes; stable adhesion to mineral materials of different breeds and water resistance of asphalt concrete; reducing the cost of asphalt concrete mix.

Key words: asphalt concrete mixture; bitumen binder; visbreaking residue; straight-run tar; heavy oil residues.

С каждым годом все более актуальным становится вопрос повышения качества асфальтобетонных дорожных покрытий. Асфальтобетон и асфальтобетонная смесь представляют собой высококонцентрированную дисперсную систему^{1–3}, состоящую из органического вяжущего и минерального материала, где доминирующее влияние на качество асфальтобетонных покрытий оказывает качество органического вяжущего, используемого при производстве асфальтобетонных смесей, технология приготовления и технологические свойства смеси при укладке в покрытие. Это обстоятельство ставит задачу получить на основе битума долговечный материал, обладающий комплексом необходимых структурно-механических и адгезионных свойств. Для удовлетворения этих требований особо значение имеют такие свойства битума, как высокая теплостойкость, обеспечивающая сохранение прочности дорожного покрытия при повышенной температуре летом и предохранение его от волнообразования, сдвигов, наплывов; высокое и устойчивое сцепление с сухой и влажной поверхностью минерального материала (адгезия); высокое внутримолекулярное сцепление (когезия). В России товарные нефти характеризуются низким содержанием смол и асфальтенов, которые являются носителями теплостойкости и адгезии^{4, 5}. Поэтому для получения дорожных битумов марок БНД (битум нефтяной дорожный) требуется процесс окисления прямогонного гудрона с наиболее благоприятной вязкостью при 80 °С от 20 до 60 с для образования смол и накопления асфальтенов. Между тем, в последние годы выпускаемые отечественными производителями битумы марки БНД по отдельным показателям не удовлетворяют требованиям ГОСТ 33133-2013. Снижение качества битума связано с ухудшением качества битумного сырья, поступающего на окислительные установки^{6–8}. Основной причиной является все возрастающий отбор из нефти светлых нефтепродуктов и масляной части на нефтеперерабатывающих заводах. В результате из полученного остатка высоковакуумной дистилляции (гудрона) с условной вязкостью при 80 °С более 80 до 160 с даже при использовании современных технологий не всегда удается получить способом окисления хороший дорожный битум. Сложившаяся ситуация вынуждает дорожников зачастую использовать в дорожном строительстве недоброкачественный битум либо искать способы улучшения качества такого битума введением различных присадок, добавок и модификаторов. Однако применение и использование добавок и модификаторов приводит к удорожанию стоимости дорожного строительства.

Известно, что одним из важных показателей качества битума является его сцепление с минеральными материалами, обеспечивающее водостойкость и прочность дорожных покрытий. В тоже время большинство отечественных дорожных битумов не обеспечивают сцепление с каменными материалами даже из основных пород.

Поэтому целью настоящей работы было создание и внедрение новых органических вяжущих для дорожного покрытия, способных повысить экономичность и срок службы автомобильных дорог.

Установлено, что органическое вяжущее в асфальтобетонной смеси может находиться как в объемном, так и в структурированном состоянии. По мнению многих ученых, основополагающее значение в составе асфальтобетона отводится не свободному битуму, а микроструктуре, которая вносит наибольший вклад в формирование свойств асфальтобетона. Для повышения прочности и водостойкости обеспечения требуемой деформативности дорожного покрытия, выполненного из асфальтобетонной смеси, необходимо, чтобы максимальное количество органического вяжущего было адсорбировано минеральным материалом, а содержание свободного битума сведено к минимальному значению⁹.

Исследования химического состава структурированного битума показали его значительное отличие от химического состава свободного битума. При контакте минерального материала и битума возникает процесс адсорбции. Воздействие поверхности минерального материала на битум может распространяться на определенную толщину битума, что в свою очередь, зависит от природы минерального материала, химического состава битума и содержания в нем собственных поверхностно-активных веществ^{10, 11}. На поверхности каменного материала образуются структурированные оболочки битума, плотность и вязкость которых имеют максимальное значение у границы раздела битум–минеральный материал. При удалении от этой границы вязкость и плотность битума уменьшаются и достигают минимальных значений в зоне перехода структурированной оболочки в объемный битум. При объединении минерального материала с вяжущим параллельно с адсорбционными процессами имеет место и капиллярная диффузия более легких компонентов битума в зерна минерального материала. Наибольшую активность при этом проявляют высокомолекулярные соединения вяжущего – смолисто-асфальтеновые вещества, содержащие активные функциональные группы ($-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$), а наименее активными являются масла. Также принято считать, что битумы, имеющие в своем составе ненасыщенные углеводородные соединения,

обладают хорошими адгезионными свойствами. Активный битум имеет либо коагуляционную структурную сетку из полярных асфальтенов, либо при надмолекулярной структуре содержит достаточно большое количество поверхностно-активных веществ, либо в своем составе имеет много ненасыщенных соединений¹¹.

В то же время, асфальтеновые химически активные функциональные группы, входящие в состав смолисто-асфальтеновых комплексов, способны полностью вступать в реакцию лишь при отсутствии закрывающей их масляной пленки и частично в зависимости от толщины масляной пленки. Химически активные компоненты битума, способные обеспечить надежное сцепление с минеральным материалом, блокированы масляной оболочкой. Следовательно, чем выше содержание смолисто-асфальтеновых компонентов и ненасыщенных углеводородов в битуме и тоньше масляная пленка, тем лучше его адгезионные свойства. Отсюда следует, что качество органического вяжущего как в структурированном, так и в свободном виде можно связывать с его групповым химическим составом, что значительно упростит целенаправленное получение требуемых свойств асфальтобетона. Обладая эффективным методом регулирования микроструктуры, можно существенно менять свойства асфальтобетона.

Для решения этой задачи нами был предложен метод нанесения на минеральный материал не менее двух слоев органического вяжущего разного химического состава, обеспечивающего требования для ориентировочного слоя и свободного битума, используя при этом в качестве органического вяжущего остаточные продукты нефтепереработки.

Методика базируется на применении активного (битума) остаточного продукта процесса висбрекинга в качестве основного компонента органического вяжущего для создания ориентировочного слоя на минеральном материале, а в качестве свободного неактивного битума использовать остаточный продукт высоковакуумной переработки нефти (гудрон).

Тяжелый остаток висбрекинга образуется на ПАО АНК «Башнефть» («Башнефть-Новый») после процесса висбрекинга гудрона и вакуумной перегонки крекинг-остатка. В настоящее время крекинг-остаток является сырьем для производства котельных топлив.

Остаток висбрекинга, изготовленный по определенной технологической схеме в режиме работы установки, с температурой размягчения от 60 до 70 °С, с содержанием асфальтенов от 30 до 37 % имеет свойства активного битума и благоприят-

ный химический состав, который обеспечивает 100% сцепление с минеральным материалом основных пород и не менее 80% с кислыми породами. Остаток висбрекинга обладает уникальными физико-химическими свойствами для ориентировочного слоя и достижения поставленной задачи по повышению адгезии с минеральным материалом и теплостойкости асфальтобетона. Это объясняется тем, что остаток висбрекинга кроме повышенного содержания асфальтенов, в сравнении с окисленными дорожными битумами, содержит малостабильные непредельные углеводороды и минимально необходимое количество ароматических и парафино-нафтеновых углеводородов для смачивания и абсорбции.

Комплекс вышеперечисленных отдельных физико-химических свойств, остаток висбрекинга имеет преимущество над окисленным дорожным битумом и позволяет достигать хорошего сцепления остатка висбрекинга со щебнем, песком и минеральным порошком в течение 10–15 с их контакта на первом этапе смешивания. Известно, что битумы из крекинг-остатков имеют один существенный недостаток – они нестабильны и «стареют» быстрее окисленных битумов из-за присутствия непредельных углеводородов и свободных радикалов⁵. На первом этапе смешивания с минеральными материалами остаток висбрекинга формирует адсорбционные слои, молекулы которого имеют меньшую подвижность, чем в свободном битуме, что снижает их реакционную способность, а, следовательно, и скорость старения. Известно также, что окислением крекинг-остатков с гудроном первичной перегонки в определенных соотношениях удастся получать битумы всех марок⁵.

Гудрон высоковакуумной перегонки нефти с содержанием масляной части более 60% является пластификатором, наносится вторым слоем и выполняет функции диффузного слоя и объемного органического вяжущего в пленке на минеральных материалах асфальтобетонной смеси, а также выполняет охранную функцию против старения органического вяжущего ориентированного слоя, образовавшегося после смешивания минеральных материалов с остатком висбрекинга.

Материалы и методы

Материалы исследования и физико-химические свойства сырья:

В качестве связующего использовался остаток висбрекинга установки Уфимского НПЗ «Новый» с температурой размягчения по методу «Кольцо и Шар» (КиШ) 60 С и 69 °С (табл. 1).

Таблица 1
Физико-химические свойства остатка висбрекинга

№ обр.	Плотность, d_{20}^{20} , г/см ³	Пенетрация, 0.1 мм при 25 °С	Температура размягчения по КиШ, °С	
1	1.056	18	60	
2	1.062	11	69	
Групповой химический состав, %				
№ обр.	асфальтены	смолы	масла	
			ароматические	парафино-нафтеновые
1	30	26	32	12
2	36	24	29	11

В качестве пластификатора использовались:

- гудрон высоковакуумной перегонки нефти Грозненского НПЗ с условной вязкостью Ву5 при 80 °С 105 с;
- гудрон высоковакуумной перегонки нефти Московского НПЗ с условной вязкостью Ву5 при 80 °С 161 с;
- гудрон высоковакуумной перегонки нефти Омского НПЗ с условной вязкостью Ву5 при 80 °С 77 с (табл. 2).

Таблица 2
Физико-химические свойства гудрона

Гудроны	Плотность, d_{20}^{20} , г/см ³	Температура размягчения по КиШ, °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С	
ВУ ₈₀ -161	0.998	36	240	
ВУ ₈₀ -105	0.993	33	220	
ВУ ₈₀ -77	0.991	28	190	
Групповой химический состав, %				
Гудроны	асфальтены	смолы	масла	
			ароматические	парафинонафтеновые
ВУ ₈₀ -161	12.7	28.3	38.0	21.0
ВУ ₈₀ -105	9.8	29.2	39.6	21.4
ВУ ₈₀ -77	7.1	30.7	41.2	22.0

Минеральные материалы:

- щебень, песок (отсев от дробления) – порфировые изверженных пород Абзаковского месторождения Абзелиловского района Республики Башкортостан с маркой по дробимости 1200, маркой морозостойкости F-300, маркой истираемости И1;
- минеральный порошок МП1 (известняк карьера Мурсалимкино) производства ОАО «Башкиравтодор», соответствующий ГОСТ 9128-2013.

Методика проведения испытаний

На первом этапе производства горячей асфальтобетонной смеси, минеральные материалы разогревают до 160–170 °С перемешивали в течение 15–20 с в смесителе с разогретым до 160–170 °С нефтяным органическим вяжущим, представляющим собой полутвердый остаток процес-

са висбрекинга с температурой размягчения по КиШ 60–70 °С.

На втором этапе дозировался пластификатор (гудрон) и перемешивался еще в течение 10 с.

Количество остатка висбрекинга в общей массе подбиралось в зависимости от марки и типа асфальтобетонной смеси (ориентировочно от 3.5 до 4.0 % от массы смеси). Количество пластификатора (гудрона) подбиралось в зависимости от его группового химического состава или вязкости, а также климатической зоны эксплуатации дорожного покрытия (ориентировочно от 2.0 до 3.0 % от массы смеси).

Рекомендуемая область применения органических вяжущих по дорожно-климатическим зонам представлена в табл. 3.

Таблица 3
Рекомендуемая область применения остатков висбрекинга и гудрона в зависимости от дорожно-климатической зоны

Дорожно-климатическая зона	Остаток от процесса висбрекинга с температурой размягчения по КиШ °С	Гудрон с условной вязкостью при 80 °С, с
I–II	60–65	20–80
III	60–67	20–100
IV	60–70	20–120
V	60–70	20–160

Результаты и их обсуждение

Согласно предлагаемой методики были изготовлены мелкозернистые плотные горячие асфальтобетонные смеси тип «Б» марки I по примерам 1–8 и для сравнения изготовлены асфальтобетонные смеси по ГОСТ 9128-2013 (пример 9), табл. 4, 5.

Изготовленные по примерам 1–9 асфальтобетонные смеси были испытаны согласно ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов». Соотношение компонентов асфальтобетонных смесей и результаты испытаний приведены в табл. 4 и 5. Анализ результатов испытания горячих асфальтобетонных смесей свидетельствует о том, что:

- физико-механические показатели качества асфальтобетонной смеси, приготовленной на дорожном битуме марки БНД 60/90 по ГОСТ 9128-2013 (образец 9) уступают показателям качества такой же смеси, приготовленной на остатке висбрекинга и гудроне (образцы 1–8);

Таблица 4

**Состав и показатели качества асфальтобетонных смесей
(при КиШ 60 °С для остатка висбрекинга)**

Состав и показатели качества асфальтобетонной смеси	Примеры по предлагаемой методике								по ГОСТ 9128-13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Состав асфальтобетонной смеси, % мас.: - остаток висбрекинга КиШ 60 °С - гудрон с ВУ ₈₀ 161 с - гудрон с ВУ ₈₀ 105 с - гудрон с ВУ ₈₀ 77с - минеральный материал: щебень-50, песок 34 МП-10	3.5 2.5	3.5 2.5	3.5 2.5	4.0 2.0	4.0 2.0	4.0 2.0	3.8 2.2	3.8 2.2	Битум БНД 60/90 6%
Предел прочности при сжатии, МПа при 50 °С	2.5	2.3	2.2	2.9	2.5	2.4	2.7	2.3	1.7
Предел прочности при сжатии, МПа при 20 °С	4.8	4.6	4.3	5.2	4.9	4.5	4.8	4.4	4.1
Предел прочности при сжатии, МПа при 0 °С	11.4	10.2	8.7	12.6	10.0	8.9	10.6	8.8	9.0
Водостойкость при длительном водонасыщении	0.91	0.90	0.89	0.93	0.88	0.87	0.91	0.90	0.85
Сцепление связующего с минеральным материалом, %	100	100	100	100	100	100	100	100	70

Таблица 5

**Состав и показатели качества асфальтобетонных смесей
(при КиШ 69 °С для остатка висбрекинга)**

Состав и показатели качества асфальтобетонной смеси	Примеры по предлагаемой методике								по ГОСТ 9128-13
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Состав асфальтобетонной смеси, % мас.: - остаток висбрекинга КиШ 69 °С - гудрон с ВУ ₈₀ 161 с - гудрон с ВУ ₈₀ 105 с - гудрон с ВУ ₈₀ 77 с - Минеральный материал: щебень-50, песок 34 МП-10	3.5 2.5	3.5 2.5	3.5 2.5	4.0 2.0	4.0 2.0	4.0 2.0	3.8 2.2	3.8 2.2	Битум БНД 60/90 6%
Предел прочности при сжатии, МПа при 50 °С	2.7	2.4	2.3	3.0	2.6	2.5	2.8	2.4	1.7
Предел прочности при сжатии, МПа при 20 °С	4.9	4.7	4.5	5.3	5.1	4.7	4.9	4.7	4.1
Предел прочности при сжатии, МПа при 0 °С	12.7	10.8	9.0	13.0	11.0	9.0	10.9	9.0	9.0
Водостойкость при длительном водонасыщении	0.92	0.91	0.90	0.94	0.89	0.88	0.94	0.91	0.85
Сцепление связующего с минеральным материалом, %	100	100	100	100	100	100	100	100	70

- при одном и том же количественном соотношении остатка висбрекинга и гудрона в смеси показатели прочности асфальтобетона возрастают с увеличением вязкости гудрона;

- при увеличении температуры размягчения остатка висбрекинга с 60 до 69 °С прочность возрастает;

- при увеличении содержания остатка висбрекинга и снижении содержания гудрона в смеси прочности асфальтобетона возрастает.

- предельные содержания остатка висбрекинга и гудрона в смеси определены требованиями ГОСТ 9128-2013 по пределу прочности при 0 °С для каждой дорожно-климатической зоны;

- количество вводимого остатка висбрекинга в 3.5% является граничной и минимальным для полного обволакивания минеральной части смеси;

- количество вводимого остатка висбрекинга в 4.0% является граничной и максимальным по пределу прочности при 0 °С;

- оптимальное содержание остатка висбрекинга в смеси 3.5–4.0 %;

- предельные температуры размягчения по КиШ остатка висбрекинга в смеси определены требованиями ГОСТ 9128-2013 по пределу прочности при 0 °С для каждой дорожно-климатической зоны и соответствует не более 70 °С.

Таблица 6

Исследование подвижности смеси

Наименование смеси	Подвижность смеси, мм, при температуре, °С								
	150	140	120	100	80	70	60	5	0
Образец 8	$\frac{30}{175}$	$\frac{28}{165}$	$\frac{25}{160}$	$\frac{25}{160}$	$\frac{22}{155}$	$\frac{22}{150}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$
Образец 9	$\frac{25}{160}$	$\frac{20}{150}$	$\frac{20}{150}$	$\frac{20}{145}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$

Примечание: В числителе – величина осадки, в знаменателе – диаметр осадки

- количество вводимого гудрона зависит от вязкости и требований по пределу прочности при 0 °С к асфальтобетону для каждой дорожно-климатической зоны и является оптимальным в пределах 2.0–2.5 %;

- содержание остатка висбрекинга 3.5–4.0 % и гудрона 2.0–2.5 % с вязкостью не более 77 с является оптимальным для асфальтобетона первой дорожно-климатической зоны;

- содержание остатка висбрекинга 3.5–4.0 % и гудрона 2.0–2.5 % с вязкостью не более 105 с является оптимальным для асфальтобетона второй–пятой дорожно-климатических зон;

- содержание остатка висбрекинга 3.5–4.0 % и гудрона 2.0–2.5 % с вязкостью не более 161 с является оптимальным для асфальтобетона четвертой–пятой дорожно-климатических зон.

Известно ⁴, что подвижность асфальтобетонной смеси зависит от температуры смеси и вязкости битума. Известно также, что вязкость дорожных битумов выше, чем вязкость гудрона. При традиционной технологии приготовления асфальтобетонных смесей формирование битумной пленки сопровождается повышением вязкости «свободного» битума, что отрицательно влияет на подвижность смеси. В предлагаемом методе в качестве «свободного» битума выступает гудрон, менее вязкое органическое вяжущее. Поэтому применяя гудрон вместо битума, время формирования диффузной зоны и объемного битума пленки на минеральном материале увеличится, а значит и подвижность смеси, будет сохраняться при более низких температурах.

Оценка таких важных технологических свойств, как подвижность и удобоуплотняемость, не предусмотрена требованиями ГОСТ 9128-2013 для жестких смесей, поскольку отсутствуют апробированные методики и соответствующие им простые и надежные в производственных условиях эксплуатации приборы. Поэтому сравнительные испытания на подвижность мы проводили по ТУ 5718-002-04000633-2006 «Смеси асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон». Для экспериментальной проверки подвижности была взята горячая асфальтобетонная смесь, образцы 8 и 9. Результаты испытаний представлены в табл. 6.

Сравнительные испытания образцов 8 и 9 проводились при одинаковом времени остывания на воздухе. Подвижность оценивали по вертикальной осадке и диаметру образовавшегося конуса по истечении 3 с после снятия формы. Температуру потери подвижности смеси считалась температура, при которой усеченный конус сохранял первоначальную высоту и диаметр более 3 с после снятия формы. Из результатов испытания видно, что потеря подвижности образца 9, приготовленного по традиционной технологии на вязком битуме марки БНД 60/90, наступает при 80 °С, а потеря подвижности образца 8, приготовленного по предлагаемой технологии, наступает при 60 °С. Кроме этого, при одинаковой температуре испытания осадка и диаметр конуса имеют лучшие значения у образца 8 ¹².

Таким образом, предлагаемая нами методика обеспечивает высокую технологическую подвижность асфальтобетонной, полимерасфальтобетонной, щебеночно-мастичной смеси; повышает долговечность дорожного покрытия, сохранение прочности при повышенной температуре летом и предохранение его от волнообразования, сдвигов, наплывов; обеспечивает устойчивое сцепление с минеральными материалами разных пород и долговечность асфальтобетона. Появляется возможность регулировать и выбирать наиболее важные показатели качества асфальтобетонной смеси при устройстве дорожного покрытия в конкретной климатической зоне и условий эксплуатации дорожного покрытия на фоне снижения себестоимости асфальтобетонной смеси.

Литература

1. Иваньски М., Урьев Н.Б. Асфальтобетон как композиционный материал (с нанодисперсным и полимерным компонентами).– М.: Техполиграфцентр, 2007.– 668 с.
2. Дедюхин А. Ю. Дисперсно-армированный асфальтобетон // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура.– 2009.– №1(13).– С.116-120.
3. Галдина В.Д., Гурова Е.В., Кривonos О.И. Минеральные порошки из горючих сланцев // Наука и техника в дорожной отрасли.– 2015.– №2(72).– С.20-24.
4. Завьялов М. А. Принцип обеспечения удобообработываемости асфальтобетонной смеси // Известия высших учебных заведений. Строительство.– 2003.– № 6(534).– С.79-82.
5. Гун Р. Б. Нефтяные битумы.– М.: Химия, 1989.– 148 с.
6. Быстров Н. В. О технической политике в области органических вяжущих материалов // Автомобильные дороги.– 2006.– №7.– С.23-25.
7. Илиополов С.К., Мардиросова И.В., Углова Е.В. Новый взгляд на старую проблему – долговечность асфальтобетона // Автомобильные дороги.– 2008.– №1.– С.108-113.
8. Опанасенко О., Лукша О. Как улучшить битум? Влияние добавок на устойчивость битума к термоокислению // Автомобильные дороги.– 2008.– №6.– С.122-125.
9. Ядыкина В.В., Гридчин А.М., Высоцкая М.А., Якимович И.В. Эффективность применения адгезионной добавки ДАД 1 // Строительные материалы.– 2009.– №7.– С.14-17.
10. Салихов М.Г., Веюков Е.В., Марасанов В.А., Кошкин А.В. Корреляционные связи между значениями коэффициента старения образцов из асфальтобетонных и битумоминеральных смесей // Инновации и инвестиции.– 2022.– №4.– С.139-142.
11. Ядыкина В. В. Управление процессами формирования и качеством строительных композитов с учетом состояния поверхности дисперсного сырья.– М.: Издательство АСВ, 2009.– 374 с.
12. Патент №2693170 РФ. Способ получения горячей асфальтобетонной смеси / В. П. Запорин, В. П. Лосев, С. В. Сухов, И. Г. Лапшин // Оpubл. 01.07.2019.

References

1. Ivan'ski M., Ur'ev N.B. *Asfal'tobeton kak kompozitsionnyi material (s nanodispersnym i polimernym komponentami)* [Asphalt concrete as a composite material (with nanodisperse and polymer components)]. Moscow, Tekhpolygraftsentr Publ., 2007, 668 p.
2. Dedyukhin A. Yu. *Dispersno-armirovannyy asfal'tobeton* [Dispersed reinforced asphalt concrete]. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture], 2009, no.1(13), pp.116-120.
3. Galdina V. D., Gurova E. V., Krivonos O. I. *Mineral'nye poroshki iz goryuchikh slantsev* [Mineral powders from oil shale]. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli* [Science and technology in the road industry], 2015, no.2(72), pp.20-24.
4. Zav'yalov M. A. *Printsip obespecheniya udoboobrabatyvaemosti asfal'tobetonnoy smesi* [The principle of ensuring the workability of asphalt concrete mix]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2003, no.6(534), pp.79-82.
5. Gun R. B. *Neftyanye bitумы* [Oil bitumen]. Moscow, Khimiya Publ., 1989, 311 p.
6. Bystrov N. V. *O tekhnicheskoy politike v oblasti organicheskikh vyazhushchikh materialov* [About the technical policy in the field of organic binders]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile Roads], 2006, no.7, pp.23-25.
7. Iliopolov S. K., Mardirosova I. V., Uglova E. V. *NovyyI vzglyad na staruyu problemu – dolgovechnost' asfal'tobetona* [A new look at an old problem – the durability of asphalt concrete]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile Roads], 2008, no.1, pp.108-113.
8. Opanasenko O., Luksha O. *Kak uluchshit' bitum? Vliyaniye dobavok na ustoychivost' bituma k termookisleniyu* [How to improve bitumen? The effect of additives on the resistance of bitumen to thermal oxidation]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile Roads], 2008, no.6, pp.122-125.
9. Yadykina V. V., Gridchin A. M., Vysotskaya M. A., Yakimovich I. V. *Effektivnost' primeneniya adgezionnoy dobački DAD 1* [The effectiveness of the application of the adhesive additive DAD 1]. *Stroitel'nye materialy* [Building Materials], 2009, no.7, pp.14-17.
10. Salikhov M. G., Veyukov E. V., Marasanov V. A., Koshkin A. V. *Korrelyatsionnye svyazi mezhdz znacheniyami koeffitsienta stareniya obraztsov iz asfal'tobetonnykh i bitumomineral'nykh smesey* [Correlations between the values of the aging coefficient of samples from asphalt concrete and bitumen mineral mixtures]. *Innovatsii i investitsii* [Innovations and Investments], 2022, no.4, pp.139-142.
11. Yadykina V. V. *Upravleniye protsessami formirovaniya i kachestvom stroitel'nykh kompozitov s uchetoм sostoyaniya poverkhnosti dispersnogo syr'ya* [Management of the processes of formation and quality of building composites, taking into account the condition of the surface of dispersed raw materials]. Moscow, ASV Publ., 2009, 374 p.
12. Zaporin V. P., Losev V. P., Sukhov S. V., Lapshin I. G. *Sposob polucheniya goryachey asfal'tobetonnoy smesi* [Method of obtaining hot asphalt concrete mixture]. Patent RF, no.2693170, 2018.