

О ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИКАЦИИ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

В. И. Братчун, д.т.н., профессор; Н. И. Яркова, к.э.н., доцент; Э. Л. Радюкова, О. А. Пшеничных

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. Теоретико-экспериментальные исследования, выполненные учеными ФГБОУ ВО «ДОННАСА», показали, что наиболее эффективными составами для строительства конструктивных слоев асфальтобетонных дорожных одежд является производство и использование комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей II типа макроструктуры (тип Б, щебеночно-мастичные) с комплексно-модифицированной микроструктурой, а именно получением битумополимерного вяжущего модификацией нефтяного дорожного битума бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 (2-3 % мас.) и технической серой (25-30 % мас.) с поверхностной активацией минерального порошка бутадиенметилстирольным каучуком (0,5-0,7 % мас.), и введением в микроструктуру волокон хризотил-асбеста марки А-6К-30.

Годовой экономический эффект от внедрения комплексно-модифицированной асфальтобетонной смеси на асфальтобетонном заводе ООО «ДОНСПЕЦПРОМ» Донецкой Народной Республики составляет 202 262 рубля, срок окупаемости дополнительных затрат 0,1 года.

Ключевые слова: микроармированный хризотил-асбестом комплексно-модифицированный дорожный асфальтополимерсеробетон, годовая экономическая эффективность от внедрения инновационной разработки.

ON THE TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF COMPREHENSIVE MODIFICATION OF ROAD ASPHALT CONCRETE

Bratchun V. I., Yarkova N. I., Radyukova E. L., Pshenichnykh O. A.

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Makeevka

Abstract. Theoretical and experimental studies carried out by scientists from the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “DONNACEA” have shown that the most effective compositions for the construction of structural layers of asphalt concrete road pavements are the production and use of complex-modified asphalt concrete mixtures of type II macrostructure (type B, crushed stone mastic) with a complex-modified microstructure, namely, the production of a bitumen-polymer binder by modifying petroleum road bitumen with butadiene methyl styrene rubber SKMS-30 (2-3% by weight) and technical sulfur (25-30% by weight) with surface activation of mineral powder with butadiene methyl styrene rubber (0.5-0.7% by weight), and the introduction of chrysotile asbestos fibers of the A-6K-30 brand into the microstructure. The annual economic effect from the introduction of a complex-modified asphalt concrete mixture at the asphalt concrete plant of OOO DONSPETSPPROM of the Donetsk People's Republic is 202,262 rubles, the payback period for additional costs is 0.1 years.

Key words: micro-reinforced chrysotile asbestos complex-modified road asphalt-polymer-sulfur concrete, annual economic efficiency from the introduction of an innovative development.



Братчун
Валерий Иванович



Яркова
Нина Ивановна



Радюкова
Элина Львовна



Пшеничных
Олег Александрович

ВВЕДЕНИЕ

Свойства дорожного асфальтобетона – композиционного материала с коагуляционным типом контактов – определяются, прежде всего, качеством нефтяного дорожного битума, рациональным сочетанием типов макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры минерального остова, а также энергией взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал» [1-5]. Применяемые битумы для производства горячих асфальтобетонных смесей в Донецкой Народной Республике, Российской Федерации, Белоруссии марок БНД 50/70, БНД 70/100 характеризуются невысокими температурами размягчения, отсутствием эластичности, а также неудовлетворительными адгезионно-когезионными свойствами [6, 7].

В эксплуатационных условиях нежесткие дорожные одежды на автомобильных дорогах общего пользования в последнее десятилетие подвергаются значительному росту осевых нагрузок (нагрузка на ось автомобиля свыше 80 кН до 115 кН) и интенсивности воздействия автомобильного транспорта (более 15 тысяч автомобилей в сутки), вследствие чего верхние слои дорожной одежды подвергаются действию нормальных и касательных, а также ударных нагрузок в зонах контакта колеса автомобиля с покрытием в сочетании с действием солнечной радиации, дождя, снега и температуры [8-10].

Это приводит к большому разнообразию разрушений и деформаций: колейность, волны, усталостные трещины [11-13]. К тому же в процессе производства, термостатирования в термосбункерах, транспортирования к месту укладки в конструктивные слои дорожной одежды и в условиях эксплуатации в покрытии нежесткой дорожной одежды автомобильной дороги асфальтобетон подвергается старению [14-16]. Время эксплуатации нежестких дорожных одежд составляет не более 7 лет [17, 18]. В связи с этим целесообразно дорожные асфальтобетонные смеси подвергать комплексной модификации. Технология производства комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонов состоит в механоактивации поверхности минерального порошка бутадиенметилстирольным каучуком

СКМС-30 совместно с модификацией нефтяного дорожного битума комплексом СКМС-30 0,5...1,0 % и технической серой. Активация поверхности минерального порошка приводит к формированию на его поверхности структурно-упрочненного полимерного слоя [19, 20]. Этот слой способствует увеличению адгезии и когезии между битумополимерным вяжущим и минеральным порошком, создавая прочные и упругие трехмерные связи в структуре асфальтобетона. Для повышения прочности термофлуктуационной полимерной сетки вводится техническая сера до 30 % масс органического вяжущего и хризотил-асбестовые волокна 1 % масс от минеральной составляющей комплексно-модифицированной дорожной асфальтобетонной смеси.

Комплексно-модифицированные асфальтополимерсеробетоны обладают широким диапазоном вязкоупругого поведения в дорожных покрытиях (от температуры механического стеклования, которая составляет минус 32,5° С до температуры перехода в вязкотекучее состояние 75° С), а также повышенным сопротивлением сдвигу и динамическим модулем упругости при положительных температурах [19, 20].

Целью работы является расчет экономической эффективности применения комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона, микроармированного волокнами хризотил-асбеста, для строительства покрытий автомобильных дорог в Донецкой Народной Республике.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Производство комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонных смесей ведут на асфальтобетонном заводе, оборудованном по схеме рис. 1.

Производство фиброармированной асфальтополимерсеробетонной смеси включает следующие элементные процессы:

- приготовление раствора бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30;

- производство битумополимерного вяжущего.

Для приготовления раствора СКМС-30 из емкости 2 с помощью насоса 10 транспортируют техни-

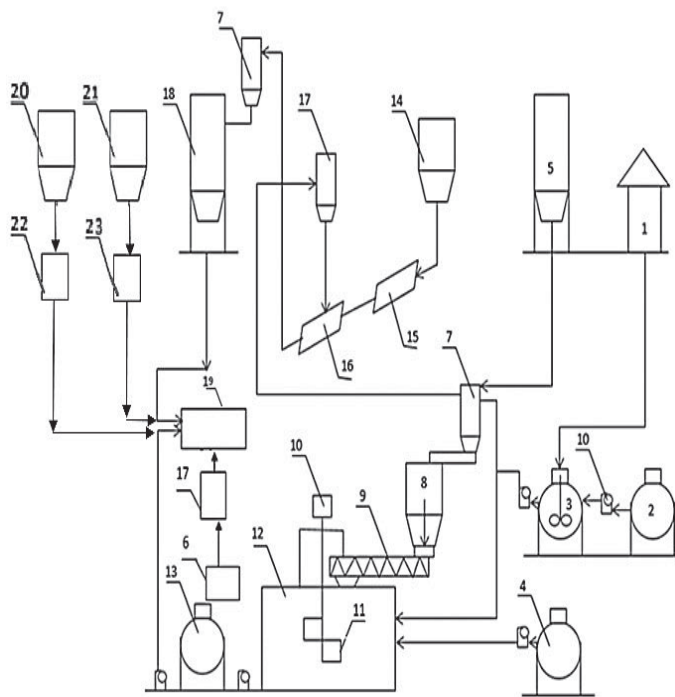


Рис. 1. Технология производства комплексно-модифицированной мелкозернистой асфальтополимерсеробетонной смеси, микроармированной хризотил-асбестовыми волокнами:

- 1 – склад дивинилстирольного каучука СКМС-30;
- 2 – емкость технического керосина;
- 3 – раствор СКМС-30; 4 – битумоварочный котёл;
- 5 – склад технической серы; 6 – промежуточный склад хризотил-асбестовых волокон; 7, 8, 9 – оборудование для подачи технической серы в битумоварочный котел; 10 – электродвигатель;
- 11, 12, 13 – механизмы производства битумополимерсерного вяжущего; 14, 15, 16 – технологическая линия производства механоактивированного СКМС-30 известнякового минерального порошка; 17 – весовой дозатор СКМС-30; 18 – бункер межоперационного складирования механоактивированного раствором метилстирольного каучука известнякового минерального порошка; 19 – асфальтосмеситель, 20 – бункер складирования гранитного щебня, 21 – бункер складирования песка, 22 – весовой дозатор гранитного щебня, 23 – весовой дозатор песка

ческий керосин в емкость 3 (рис. 1). В технический керосин загружают СКМС-30 в виде крошки и перемешивают в течение суток. Для обеспечения однородности раствора СКМС-30, необходимой вязкости при пониженных температурах концентрация СКМС-30 в техническом керосине должна быть не более 15 %. При этом условная вязкость раствора полимера не должна превышать 600 с по аналогии с раствором дивинилстирольного термоэластопласта ДСТ-30.

Используя технологическое оборудование: емкость 3, насос 9 формируют оптимальную концентрацию СКМС-30 (2 % мас.) в нефтяном дорожном

битуме. Битумополимерное вяжущее структурируют технической серой 25-30 % мас., применяя технологическое оборудование 5, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 (рис. 1).

В частности, мешалка 10, установленная в вертикальном положении в битумоварочном котле 11, выполнена в форме пропеллера или лопасти. Ее характеристики, включая количество оборотов и размеры лопастей, должны быть спроектированы так, чтобы обеспечить турбулентность потока в области введения термоэластопласта СКМС-30 и технической серы при температуре 150-155 °С. Например, при длине лопастей мешалки $l = 0,3$ м, число оборотов ее должно быть не менее $n = 140$ об/мин.

Производство активированного минерального порошка включает сушку дробленого известнякового материала в сушильном барабане 15; помол известнякового щебня в активирующем растворе СКМС-30 в шаровой мельнице 16.

Все работы по производству, укладке и уплотнению асфальтополимерсеробетонных смесей осуществляют в соответствии с положениями нормативного документа «Дороги автомобильные общего пользования. Покрытия асфальтобетонные» ГОСТ Р 58831-2020.

Для производства асфальтополимерсеробетонных смесей с добавкой хризотиласбеста используются асфальтобетонные смесители с лопастными мешалками и принудительным перемешиванием, такие как ДС-158, ДС-84-2 с температурой выпуска смеси 135-155 °С.

Для строительства оснований и нижних слоев покрытий на дорогах I и II технических категорий целесообразно использовать пористые асфальтополимерсеробетонные смеси.

Правила производства работ при строительстве дорожных одежд должны соответствовать нормативными требованиями стандарта «Автомобильные дороги. Устройство асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог». М.: СОЮЗДОРСТРОЙ, СТО СОЮЗДОРСТРОЙ 2.1.3.1.3.2-2012.

Для вычисления экономического эффекта от внедрения новой конструкции дорожного покрытия (асфальтополимерсеробетона с микроармированием хризотиласбестовым волокном) выполнен расчет годового экономического эффекта с использованием формулы (3) СН 509-78 (с последующими обновлениями), поскольку производится сравнение с традиционным вариантом (горячий асфальтобетон) и определение срока службы конструкции в контексте всей автомобильной дороги.

$$\Theta_{\text{год}} = (3_1 - 3C_1)\varphi + \Theta_3 - (32 - 3C_2) \cdot A_r \quad (1)$$

φ – коэффициент изменения срока службы новой конструкции, отражающий степень её повышенной долговечности в сравнении с базовым вариантом.

Экспериментальные исследования, приведенные в работах [19, 20], свидетельствуют о том, что новое асфальтополимерсеробетонное покрытие значительно превосходит длительность эксплуатационного состояния в сравнении с традиционным

Таблица 1.

Стоимость дополнительного оборудования, необходимого для производства микроармированных хризотиласбестом асфальтополимерсеробетонных смесей

№ п/п	Показатели	Обозначения	Ед. измерений	Значение показателя		Обоснования
				базовый вариант	новый вариант	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Себестоимость производства 1 т асфальтобетонной смеси	C ₁	руб.	4 648,589	-	Калькуляция
2.	Себестоимость производства 1 т асфальтополимерсеробетонной смеси, микроармированной хризотиласбестом	C ₂	руб.		5 875,266	Калькуляция
3.	Стоимость основных фондов	C _{оф}	руб.	1 000 000	1 983 632	https://img.promportal.su/img/logo.svg
4.	Стоимость перемешивающего устройства	C _м	руб.	-	690	-/-
5.	Битумоварочный котел (2шт)	C _б	руб.	-	120000*2= 240 000	-/-
6.	Ёмкость для растворителя	C _{ем'}	руб.	-	15 000	-/-
7.	Силос (15т)	C _с	руб.	-	600 000	-/-
8.	Циклон	C _ц	руб.	-	6 300	-/-
9.	Битумонасос	C _н	руб.	-	1 560	-/-
10.	Бункер (2шт-V=3м³)	C _{б.м.}	руб.	-	1 620	-/-
11.	Сушильный барабан	C _{с.б.}	руб.	-	24 000	-/-
12.	Шаровая мельница	C _{ш.м.}	руб.	-	60 000	-/-
13.	Дозатор весовой	C _{доз}	руб.	-	1056*2=2112	-/-
14.	Шнековый питатель	C _{ш.п.}	руб.	-	13 000	-/-
15.	Ящичный подаватель	C _{я.п.}	руб.	-	2 670	-/-
16.	Эlevator	C _э	руб.	-	16 680	-/-
				Σ = 983 632 руб.		

асфальтобетонным, обеспечивая четырехкратное увеличение. Тогда – находим из приложения 7 «Руководство по определению экономической эффективности повышения качества и долговечности строительных конструкций» – М.: Стройиздат, 1981. – 57 с.= 2,126.

Э_э – экономия в процессе эксплуатации сравниваемых конструкций (верхних слоев дорожного покрытия) на всем протяжении их срока службы.

A_г – представляет собой количественные характеристики производства асфальтополимерсеробетонных смесей за год, измеренные в физических единицах.

В случае равенства затрат на устройство покрытий и экономии в эксплуатации для обоих вариантов, формула упрощается при применении «метода на разность».

$$Э_{год} = [Z_1 - Z_2] \cdot A_g = [(C_1 - C_2) + E_n (K_1 - K_2)] \cdot A_g \quad (2)$$

где Z₁ и Z₂ – расходы на производство каждой единицы продукции для традиционного и нового материала соответственно.

A_г – указывает на планируемый объем производства нового материала на асфальтобетонном заводе ООО «ДОНСПЕЦПРОМ» Донецкой Народной Республики.

C₁ и C₂ – указывают на расходы при производстве одной тонны асфальтобетонной смеси и асфальтополимерсеробетонной смеси, соответственно, с учетом микроармирования хризотиласбестовыми волокнами.

E_н – нормативный коэффициент эффективности (E_н = 0,15).

Вычисляем удельные капитальные вложения по базовому и новому варианту

$$K_{уд1} = K_{оф} / A_g = 1\,000\,000 / 50\,000 = 20 \text{ руб./т;}$$

$$K_{уд2} = (K_{оф} + C_{доп}) / A_g = 1\,983\,632 / 50\,000 = 39,7 \text{ руб./т}$$

где C_{доп} - стоимость дополнительного оборудования, необходимого для производства микроармированных хризотиласбестом асфальтополимерсеробетонных смесей: сумма позиций 4...16 таблицы 1.

$$Э_{год} = ((4664,957+20)*2,126 - (5875,266+39,7))*50\,000 = (9960,219 - 5914,966)*50\,000 = 4045,253*50\,000 = 202\,262,65 \text{ тыс. руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных затрат:

$$\text{Ток} = C_{доп} / \Pi_p \cdot A_g = 986,632 / 587,527 * 50 = 986,632 / 29376,35 = 0,1 \text{ год}$$

ВЫВОДЫ:

1. Для ООО «ДОНСПЕЦПРОМ» Министерства транспорта Донецкой Народной Республики разработаны «Рекомендации по производству и применению комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных волокнами хризотил-асбеста». Результаты исследований по комплексной модификации дорожного асфальтобетона с использованием хризотил-асбес-

Таблица 2.

Калькулирование себестоимости продукции и расчёт цены асфальтополимерсеробетонной смеси, микроармированной хризотиласбестом

№№ пп	Статьи затрат	Ед. измер.	Единица измерения: Годовой выпуск:			Сумма зат- рат на год. объем т. руб.
			Затраты на единицу			
			Кол. пр.	Стоимость, руб.		
един.	всего					
1	2	3	4	5	6	7
I. Материальные затраты						
1	Основные материалы: в т.ч.	руб.				548,858
	Битум БНД 50/70	т	0,055	14500,000	797,50	79,750
	Щебень гранитный фракционный 5-20 мм	т	0,400	1200,000	480,00	48,000
	Гранитный отсев 0,14-5 мм	т	0,528	800,000	422,40	42,240
	Известняковый минеральный порошок	т	0,072	2400,000	172,80	17,280
	СКМС-30 на поверхности минерального порошка	т	0,020	82000,000	1640,00	164,000
	Бутадиенметилстирольный каучук	т	0,005	82000,000	410,00	41,000
	Техническая сера	т	0,300	4500,000	1350,00	135,000
	Хризотиласбест марки А-6К-30 ГОСТ 12871-93	т	0,010	21588,350	215,88	21,588
2	Вспомогательные материалы (5% от п.1)	руб.				27,443
3	Топливо и все виды энергии	руб.				17,983
	Электроэнергия	кВт-ч	12,93	3,467	44,83	4,483
	Мазут	т	0,005	27000,000	135,00	13,500
4	Амортизационные отчисления на полное восстановление ОПФ (983632 руб./5лет)	руб.				196,726
	Итого материальных затрат	тыс. руб.				791,010
II. Затраты на переработку						
5	Основная зарплата произв. рабочих (229,39 руб. X22,75)	руб.				5,219
6	Дополнительная зарплата (10 % от п.5)	руб.				0,522
7	Цеховые расходы (20 % от п. 5)	руб.				1,044
8	Общезаводские расходы (20 % от п.5)	руб.				1,044
9	Внепроизводственные расходы (10 % от п.5)	руб.				0,522
	Итого на переработку					10,129
	Итого затрат	тыс. руб.				801,140
	Себестоимость единицы продукции	руб.		8011,398		
	Прибыль с единицы продукции (20 % от с/с)	руб.		801,140		160,228
	Отпускная цена (с/с + Пр)	руб.		8812,538		961,368
	Налог с оборота (1,5 %)	руб.		132,188		14,421
	Всего рыночная цена	руб.		8944,726		975,788

тового волокна внедрены в учебный процесс. Экономическая эффективность от внедрения 1 т асфальтополимерсеробетонных смесей, армированных хризотил-асбестовыми волокнами, составляет 202,26 руб.

Список литературы

1. Гезенцевей, Л. Б. Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцевей, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королев. – Москва : Транспорт, 1985. – 350 с. – Текст : непосредственный.
2. Reginald B. Kogbara A state-of-the-art review of parameters influencing measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavements / Reginald B. Kogbara, Eyad A. Masad, Emad Kassem [et al.]. – Текст : непосредственный // Construction and Building Materials. – 2016. – Volume 114, issue 5. – P. 602-617. – DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.002.
3. Бонченко, Г. А. Асфальтобетон. Сдвиг устойчивости и технология модифицирования полимером / Г. А. Бонченко. – Москва : Машиностроение, 1994. – 176 с. – Текст : непосредственный.
4. Королев, И. В. Дорожный теплый асфальтобетон / И. В. Королев, Е. Н. Агеева, В. А. Головкин, Г. Р. Фоменко. – Киев : Вища школа, 1981. – 200 с. – Текст : непосредственный.
5. Илиополов, С. К. Динамика дорожных конструкций : монография / С. К. Илиополов, М. Г. Селезнев, Е. В. Углова. – Ростов-на-Дону, 2002. – 258 с. – Текст : непосредственный.
6. Гохман, Л. М. Применение полимерно-битумных вяжущих в дорожном строительстве / Л. М. Гохман. – Текст : непосредственный // Применение полимер-

- но-битумных вяжущих на основе блоксополимеров типа СБС. — Москва : Центр метрологии, испытаний и сертификации МАДИ (ТУ), 2001. — С. 3-60.
7. Гохман, Л. М. Руководство по применению комплексных органических вяжущих (КОВ), в том числе ПБВ, на основе блоксополимеров типа СБС в дорожном строительстве / Л. М. Гохман, Е. М. Гурарий, К. И. Давыдова, А. Р. Давыдова // — Минтранспорта Российской Федерации. — Москва : СоюзДорНИИ, 2003. — 100 с. — Текст : непосредственный.
 8. Горельшева, Л. А. Оценка усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий / Л. А. Горельшева, А. А. Штромберг. — Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2009. — № 1. — С. 25-26.
 9. Кривисский, А. М. Принципы назначения конструкций одежд нежесткого типа на магистральных автомобильных дорогах : специальность 05.00.00 «Техника» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кривисский Александр Михайлович. — Ленинград, 1962. — 587 с. — Текст : непосредственный.
 10. Калгин, Ю. И. Усталостная долговечность холодного асфальтобетона на основе модифицированных жидких битумов / Ю. И. Калгин, В. Т. Ерофеев. — Текст : непосредственный // Строительство, архитектура, дизайн. — 2008 — № 2 (51). — С. 98-103.
 11. Жабцев, А. В. Методы оценки устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи / А. В. Жабцев, А. С. Строккин, Е. Б. Тюков [и др.]. — Текст : непосредственный // Высокие технологии в строительном комплексе. — 2023. — Воронеж. — С. 48-53.
 12. Илиополов, С. К. Динамика дорожных конструкций : монография / С. К. Илиополов, М. Г. Селезнев, Е. В. Углова. — Ростов-на-Дону, 2002. — 258 с. — Текст : непосредственный.
 13. Братчун, В. И. Отходы промышленности Донбасса — эффективные компоненты дегтебетонных и асфальтобетонных смесей / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов, В. В. Жеванов, А. И. Сазанов [Текст] // Научно-практический журнал: СТРОИТЕЛЬ ДОНБАССА, Вып. № 3 (20). 2022. — С. 45-50.
 14. Лукашевич, В. Н. Исследования изменений показателей свойств волокон дисперсной арматуры в асфальтобетонных покрытиях под воздействием природно-климатических факторов / В. Н. Лукашевич, В. А. Власов, О. Д. Лукашевич [и др.]. — Текст : непосредственный // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. — 2017. — № 6 (65). — С. 193-200. — EDN: ZWJBFH.
 15. Поздняков, М. К. Зарубежный опыт оценки сдвигоустойчивости асфальтобетона / М. К. Поздняков, Н. В. Быстров. — Текст : непосредственный // Ассоциация исследователей асфальтобетона : сборник статей и докладов ежегодной научной сессии, Москва, 2009. — Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2009. — С. 7-17.
 16. Маляр, В. В. Расчет напряженно-деформированного состояния асфальтобетона на основе моделирования его структуры / В. В. Маляр. — Текст : непосредственный // Вестник ХНАДУ. — 2014. — вып. 67. — С. 98-101.
 17. Кирюхин, Г. Н. К вопросу о долговременной прочности асфальтобетона / Г. Н. Кирюхин. — Текст : непосредственный // Труды СоюзДорНИИ. — 1977. — Выпуск 99 Повышение устойчивости дорожных покрытий с применением органических вяжущих материалов. — С. 31-38.
 18. Дедюхин, А. Ю. Разработка технологии дисперсного армирования асфальтобетонных смесей несортowymi фракциями волокон хризотила: специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дедюхин Александр Юрьевич. — Екатеринбург, 2009. — 143 с. — Текст: непосредственный.
 19. Братчун, В. И. Теоретико-методологические положения формирования оптимальных структур комплексно-модифицированных дорожных асфальтобетонных повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. А. Беспалов // Строитель Донбасса, 2018, № 1. — С. 17-23.
 20. Братчун, В. И. Дорожные асфальтополимерсеробетоны, структурированные хризотиласбетовыми волокнами / В. И. Братчун, О. А. Пшеничных, Е. А. Ромасюк, В. Л. Беспалов, Э. Л. Радюкова, Н. С. Леонов // Агротехника и энергообеспечению, 2024, № 1(42). — С. 68-80.