

EDN: AOHSAY

УДК 625.855.3

В. И. БРАТЧУН, О. А. ПШЕНИЧНЫХ, В. Л. БЕСПАЛОВ, А. И. СЕРДЮК, Т. В. РОДЗИНА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**КОМПЛЕКСНО-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОЖНЫЕ
АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНЫ, МИКРОАРМИРОВАННЫЕ
ХРИЗОТИЛАСБЕТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ**

Аннотация. Для комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона, микроармированного хризотиласбестовыми волокнами марки А-6К-30, установлены оптимальные температуры: укладки 140...155 °С; уплотнения 60...130 °С, что в свою очередь увеличивает строительный сезон и дальность транспортировки асфальтобетонной смеси. Модифицированные асфальтополимерсеробетонные смеси характеризуются более низкой удельной энергией уплотнения $0,95 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ против $1,27 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ для горячих асфальтобетонных смесей. Модифицированные асфальтополимерсеробетоны характеризуются более высокими эксплуатационными свойствами, чем горячие асфальтобетоны: устойчивость по Маршаллу 26,83 кН против 15,26 кН, коэффициент теплостойкости в диапазоне температур при сжатии 3,6 против 6,5; предел прочности при сжатии при 50 °С 2,2 МПа > 1,2 МПа; коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении 1,0 > 0,85. Жесткость по И. А. Рыбьеву в 12 раз выше, что свидетельствует о более высокой способности сопротивляться напряжениям, которые приводят к пластическим деформациям.

Ключевые слова: дорожный асфальтополимерсеробетон, микроармированный хризотиласбестовыми волокнами, технологические свойства, деформационно-прочностные характеристики, долговечность.

ВВЕДЕНИЕ

Свойства дорожного асфальтобетона композиционного материала с коагуляционным типом контактов определяется прежде всего качеством органического вяжущего, 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 в Донецкой Народной Республике, Российской Федерации, Белоруссии марок БНД 40/60 и БНД 60/90 характеризуются невысокими температурами размягчения, отсутствием эластичности, а также неудовлетворительными адгезионно-когезионными свойствами [6, 7].

В эксплуатационных условиях нежесткие дорожные одежды на автомобильных дорог общего пользования в последнее десятилетие подвергаются значительному росту осевых нагрузок (нагрузка на ось автомобиля свыше 80 кН (до 110 кН)) и интенсивности воздействия автомобильного транспорта (более 15 тыс. 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. Это приводит к большому разнообразию разрушений и деформаций покрытия: колейность, волны, усталостные трещины [8, 9]. К тому же в процессе производства, термостатирования в термобункерах, транспортирования к месту укладки в слои покрытия дорожной одежды и в условиях эксплуатации в покрытии нежесткой дорожной одежды автомобильной дороги бетонные смеси и бетон на органических вяжущих подвергается старению [10, 11]. Это приводит к тому, что срок службы асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в ДНР и Российской Федерации составляет 5–7 лет вместо 12 до капитального ремонта.



В ГОУ ВПО «ДОННАСА» разработаны составы и технологии производства технологичных комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонных смесей для устройства не жестких дорожных одежд повышенной долговечности [12]. Анализ мирового опыта свидетельствует о том, что одним из эффективных способов повышения долговечности асфальтобетонных покрытий является дисперсное армирование асфальтобетонных смесей [13–16]. Это позволяет одновременно снизить вероятность возникновения трещин в покрытии и повысить их деформационно-прочностные характеристики. Равномерное распределение дисперсной арматуры (полимерные, базальтовые, асбестхризотилловые волокна) приводит к равномерному распределению прежде всего растягивающих напряжений вследствие хаотичного защемления и переплетения армирующих волокон с частицами минерального остова [17]. Благодаря высокой прочности микроволокон при растяжении рост трещин существенно замедляется. Каждая минеральная частица, прежде всего микро- и мезоструктуры дорожного асфальтобетона, будет структурирована волокнами, например хризотиласбеста, содержащим на своей поверхности адсорбционно-сольватные слои битумополимерсерного вяжущего. Это создаст прочный пространственный каркас, что позволит значительно повысить предел прочности дисперсно-армированного асфальтополимерсеробетона при растяжении, сдвигоустойчивость, трещиностойкость и усталостную долговечность не жестких дорожных одежд.

Цель исследования: экспериментальное обоснование получения технологичных асфальтополимерсеробетонных смесей и долговечных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотиласбетовыми волокнами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты и методы исследования

В качестве асфальтобетонных смесей использовали смесь типа Б, приготовленную на битуме марки БНД 40/60 ($P_{25} > 59$ град. шкалы пенетromетра), а также асфальтополимерсеробетонную смесь, приготовленную на битуме с $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетromетра, модифицированную 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы, минеральный порошок известняковый поверхностно-активированный 0,5 % мас. бутадииенметилстирольным каучуком СКМС-30 [12].

В качестве микроволокна использовали хризотил-асбест (ГОСТ 12871-93, производитель УРАЛ-АСБЕСТ) марки А-6К-30, фракционный состав, характеризуемый остатками на ситах с размером стороны ячейки в свету: $d = 1,35$ мм – 30 %; $d = 0,4$ мм – не > 20 %; массовая доля гали – 0,6 %; удельная эффективная активность естественных радионуклидов Бк/кг – менее 59,8.

Для исследования уплотняемости асфальтополимерсеробетонных смесей использовали приборы, изготовленные и поверенные на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» ГОУ ВПО «ДОННАСА» [12].

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Рассчитываем ориентировочно количество контактов, создаваемых линейно одним волокном хризотил-асбеста $l = 1,35$ мм с учетом того, что формируется структурированное асбестхризотилом асфальтовяжущее вещество, в котором частицы известнякового минерального порошка $d < 0,071$ мм. Тогда одно хризотиловое волокно будет связывать линейно 19 частиц порошка. Так как концентрация асбестовых волокон 30 % мас., то количество одновременно реализуемых линейных контактов ≈ 6 . Аналогично определяли количество связей, которое формируется в плоскости в результате армирования волокнами хризотиласбеста марки А-6К-30 $l > 1,4$ мм, $l_1 \times l_2 = 6 \times 6 = 36$ межмолекулярных связей, в пространстве образуется 216 контактов в объеме $2,74$ мм³, а в одном см³ таких связей образуется 78 838.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтовяжущего вещества, из которых следует, что микроармирование хризотиласбетовыми волокнами приводит к существенному росту предела прочности при сжатии в области положительных температур и высокому значению коэффициента длительной водостойкости. Характерным также является более пологая зависимость предела прочности при сжатии от температуры $K_{та} < K_{те}$. Относительное значение температурно-прочностных характеристик в диапазоне 0...50 °С снижается в 1,8 раза.

Модифицированные асфальтобетонные смеси более технологичны (рис 1, 2), чем асфальтобетонные горячие. Оптимальный интервал температур уплотнения асфальтобетонных смесей с комплексно-

Таблица 1 – Физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтовяжущего вещества

№ п/п	Показатели	Состав асфальтовяжущего вещества в мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б)		
		Битум БНД 40/60 (P ₂₅ = 59,0,1 мм), МП известняковый не активирован (Б = 5 %)	Битум БНД 40/60 (P ₂₅ = 59,0,1 мм) модифицирован комплексной добавкой 2 % мас. термоэластопласта СКМС 30 и 30 % мас. технической серы; минеральный порошок известняковый поверхностно активирован 0,5 % мас СКМС-30 (Б = 5%)	Битум БНД 40/60 (P ₂₅ = 59,0,1 мм) модифицирован комплексной добавкой 2 % мас термоэластопласта СКМС-30 и 30 % технической серы; минеральный порошок известняковый поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтовяжущее вещество микроармировано 1 % мас. хризотил-асбестовым волокном (Б = 5 %)
1	Средняя плотность, кг/м ³	2 400	2 410	2 415
2	Водонасыщение, w, % от объема	2,9	1,2	1,4
3	Предел прочности при сжатии, МПа, при 0 °С 20 °С 50 °С	7,8 3,1 1,2	7,2 3,9 1,7	8,0 4,6 2,2
4	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, K _{вд}	0,85	1,0	1,0
5	Коэффициент теплостойкости, K _т = R ₀ / R ₅₀	6,5	4,2	3,6

модифицированной микроструктурой 53...130 °С, а для горячих асфальтобетонных, приготовленных на нефтяном дорожном битуме БНД 40/60 90...130 °С. Это позволит продлить строительный сезон и увеличить дальность транспортирования асфальтобетонной смеси, увеличить эффективное время уплотнения (рис. 1, таблица 2).

Следовательно, подготовленная для укладки асфальтополимерсеробетонная смесь микроармированная хризотиласбестовым волокном (рис. 1), должна иметь температуру 140...155 °С. Уплотнение микроармированных асфальтополимерсеробетонных смесей необходимо вести в интервале температур 60...130 °С.

Процесс уплотнения микроармированной комплексно-модифицированной смеси менее энергоемок, чем традиционных горячих смесей (рис. 2, таблица 2).

Данные, приведенные в таблице 3 и на рисунке 3, показывают, что угол наклона зависимости R_{изг} = f(t) в интервале температур 0...60 °С для комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонов более пологий (2,3), чем для горячего асфальтобетона (1). Предел прочности при изгибе в области положительных температур для микроармированного асфальтополимерсеробетона характеризуется более высоким значением (3), чем для немикроармированных (1 и 2) и прежде всего для стандартного горячего асфальтобетона (1). Это обеспечит более высокую несущую способность асфальтобетонного покрытия микроармированного хризотиласбестовым волокном (табл. 3, рис. 3).

Методом Маршалла определены устойчивость, условная пластичность и условная жесткость мелкозернистых асфальтобетонов типа Б, отличающихся составом асфальтовяжущего вещества (рисунок 4, таблица 4).

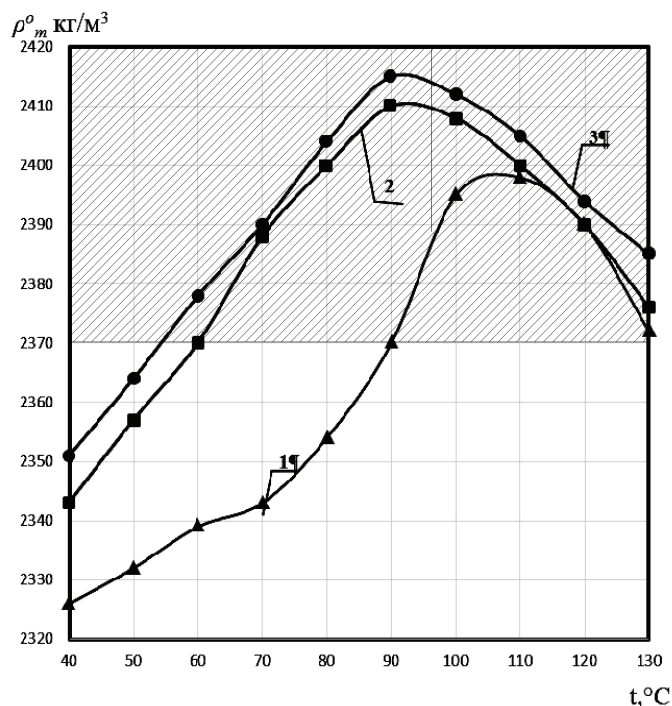


Рисунок 1 – Зависимость средней плотности ρ_m^0 мелкозернистого асфальтобетона (тип Б) от температуры t , отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – органическое вяжущее – битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра при 20°C , минеральный порошок известняковый поверхностно не активирован; 2 – органическое вяжущее – нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра, модифицированный 2 % мас термоэластопласта СКМС-30 и 30 % технической серы, минеральный порошок поверхностно активированный 0,5 % мас. СКМС-30; 3 – органическое вяжущее – битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра, модифицированный 2 % мас. термоэластопласта СКМС-30 и 30 % технической серы, минеральный порошок, поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтополимерсерное асфальтовяжущее структурировано 1 % мас. хризотил-асбестовыми волокнами марки А-6К-30.

$F \cdot 10^4, \text{H}$

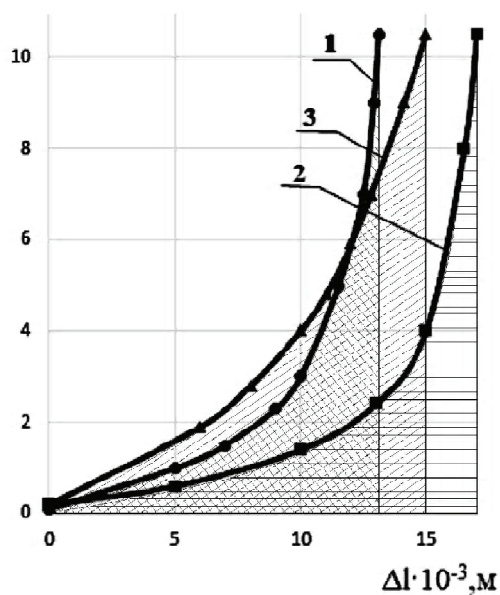


Рисунок 2 – Диаграмма уплотнения мелкозернистых асфальтобетонных смесей с использованием асфальтовяжущих веществ (АВВ): 1 – битум дорожный $P_{25} = 59-0,1$ мм, известняковый минеральный порошок неактивирован, содержание битума 5 % сверх 100 % минеральной части; 2 – битум дорожный ($P_{25} = 59-0,1$ мм) модифицированный 2 % мас. СКМС-30 и 30 % технической серы, известняковый минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5 % мас. СКМС-30; 3 – битум дорожный ($P_{25} = 59-0,1$ мм) модифицирован 2 % мас. СКМС-30 и 30 % технической серы, известняковый минеральный порошок поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30, АВВ структурировано 1 % мас хризотиласбестом марки А-6К-30.

Характерно, что микроармированный хризотиласбестовым волокном асфальтополимерсеробетон (состав 3) характеризуется существенно более высокими значениями устойчивости и жесткости.

Таблица 2 – Свойства асфальтобетонных смесей при уплотнении

№ п/п	Состав асфальтобетонной смеси при уплотнении	Работа, затраченная на уплотнение, А, Дж	Коэффициент уплотнения, $\frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$	Средняя плотность бетона, $\Delta\rho_0^a$, кг/м ³
1	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Б), приготовленная на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм); минеральный порошок известняковый не активирован	647	1,27	509
2	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Б), приготовленная на битумополимерсерном вяжущем (битум $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм с 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный известняковый порошок активирован 0,5 мас. СКМС-30	505	0,81	620
3	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Б), приготовленная на битуме БНД 40/60, $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм с 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный известняковый порошок активирован 0,5 % мас СКМС-30; асфальтовяжущее вещество структурировано 1 % мас. хризотила марки А-6К-30	570	0,95	601

Таблица 3 – Значение предела прочности асфальтобетона при изгибе, $R_{изг}$, МПа

Индекс бетона	Состав асфальтовяжущего в мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б)	Температура, °С			
		0	20	40	60
1	Асфальтовяжущее вещество: органическое вяжущее битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра; минеральный порошок известняковый неактивированный, содержание битума 5 % мас. сверх 100 % минеральной части	7,5	1,5	0,5	0,2
2	Асфальтовяжущее вещество: $P_{25} = 59$ шкалы пенетromетра, модифицированного 2 % СКМС-30 и 30 % технической серы; известняковый минеральный порошок активирован 0,5 % мас. СКМС-30; содержание модифицированного битума 5 % мас сверх 100 % минеральной части	6	3,5	1,6	0,7
3	Органическое вяжущее битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра, модифицированный 2 % термоэластопластом СКМС-30 и 30 % технической серы, минеральный порошок поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30, *хризотиласбест марки А-6К-30	7,02	1,1	1,8	0,9

*асфальтополимерсерное вяжущее вещество структурировано хризотиласбестовыми волокнами 1 % мас. сверх 100 % минерального материала

Подтверждением этого являются экспериментальные данные, полученные определением коэффициентов пластичности и жесткости по методикам, разработанных профессорами Н. Н. Иванова (табл. 5) и И. А. Рыбьева (табл. 6).

Для немодифицированного и модифицированного асфальтобетона получены коэффициенты пластичности по Н. Н. Иванову K_1 и K_2 соответственно

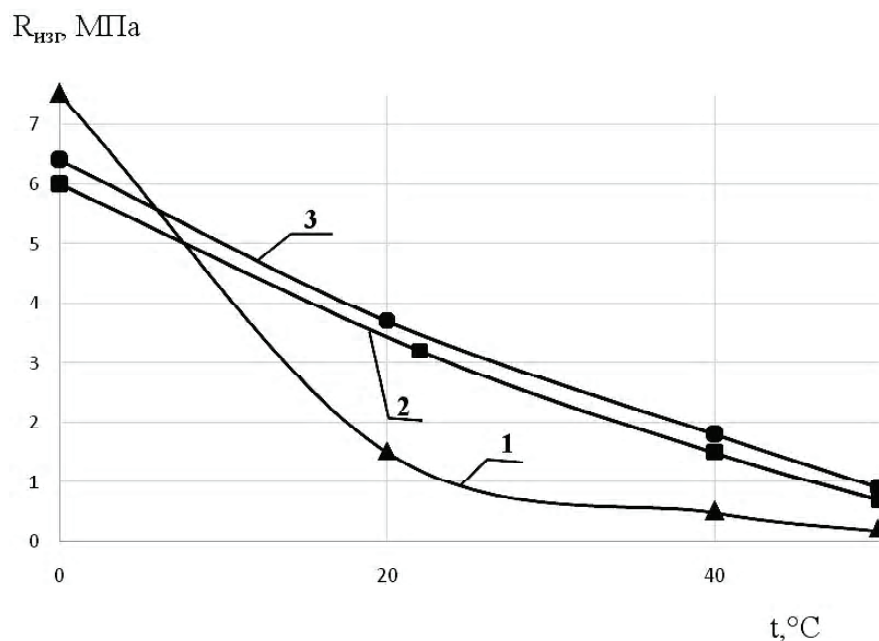


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности при изгибе асфальтобетона $R_{изг}$ от температуры t . Нумерация кривых соответствует индексам таблицы 3.

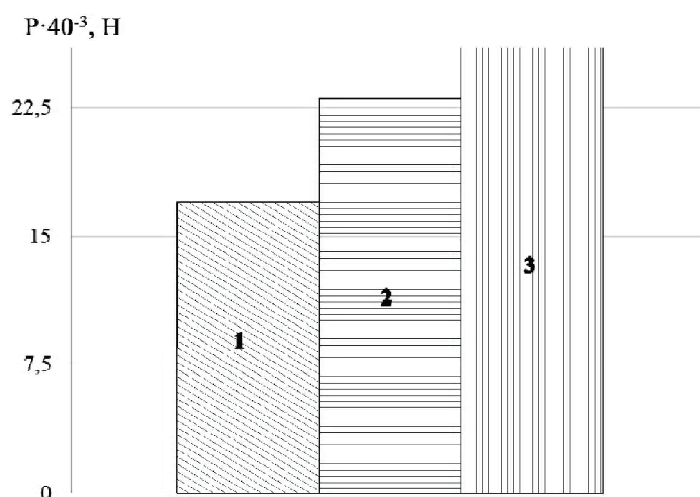


Рисунок 4 – Устойчивость по Маршаллу дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтосвязывающего вещества.

$$K_1 = \frac{\lg\left(\frac{2,3}{1,8}\right)}{\lg\left(\frac{3}{0,06}\right)} = 0,065, \quad K_1 = \frac{\lg\left(\frac{4,6}{4,3}\right)}{\lg\left(\frac{3}{0,06}\right)} = 0,017.$$

По относительному значению коэффициента пластичности по Н. Н. Иванову модифицированный асфальтобетон в 3,8 раза жестче, чем немодифицированный:

$$K_{отн} = \frac{K_1}{K_2} = \frac{0,065}{0,017} = 3,82.$$

Для определения коэффициента подвижности по И. А. Рыбьеву получены данные, приведенные в таблице 6.

Таблица 4 – Значение показателей, характеризующих сдвигустойчивость асфальтобетонов (тип Б) по Маршаллу (температура испытаний 60 °С)

№ п/п	Состав асфальтобетонной смеси	Условная пластичность 1/10 мм	Устойчивость, Р, Н	Условная жесткость, А, Н/мм
1	Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 ($P_{25}=59,0,1$ мм); минеральный порошок известняковый не активирован, содержание битума 5 % мас. сверх 100 % минеральной части	46	15 256	3 317
2	Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б) приготовленный на битумополимерсеробетонном вяжущем (*битум 59-0,1 мм с 2 % мас. бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный порошок известняковый поверхностно-активирован 0,5 % мас. терпо-эластопластом СКМС-30, содержание модифицированного битума 5 % мас. сверх 100 % минеральной части	39	22 981	5 892
3	Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битумополимерсерном вяжущем (битум $P_{25} = 59-0,1$ мм с 2 % мас. бутадиендиметилстирольного каучука СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтовяжущее содержит 1 % масс. хризотиласбеста марки А-6К-30; содержание модифицированного битума 5 % мас. сверх 100 % минеральной части	32	26 830	8 383

Таблица 5 – Расчет коэффициента пластичности по Н. Н. Иванову

Вид асфальтобетона	Скорость деформации хода поршня мм/мин	Среднее значение предела прочности при 20 °С, R_{20} , МПа
Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59$ град. шкалы пенетromетра); минеральный порошок известняковый не активированный	3	3,1
	0,06	2,6
Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битумополимерсерном вяжущем (битум $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетromетра, модифицирован 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтовяжущее структурировано 1 % мас. хризотиласбестом марки А-6К-30.	3	4,6
	0,06	4,3

Коэффициент подвижности для немодифицированного асфальтобетона

$$\alpha_1 = \frac{0,0016}{3,1 \cdot 215} = 0,000024.$$

Коэффициент подвижности для комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона структурированного хризотиласбестом марки А-6К-30

$$\alpha_2 = \frac{0,0017}{4,6 \cdot 184} = 0,000002.$$

Таблица 6 – Определение коэффициента подвижности по И. А. Рыбьеву

Вид асфальтобетона	Среднее значение предела прочности при сжатии при 20 °С, МПа	Время разрушения (от начала деформирования до разрушения образца, сек.)	Средняя относительная деформация (уменьшение высоты образца от начала деформирования до разрушения, мм)
Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 (P ₂₅ =59 град. шкалы пенетromетра); минеральный порошок известняковый не активированный	3,1	215	0,016
Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битумополимерсерном вяжущем (битум P ₂₅ =59 град. шкалы пенетromетра, модифицирован 2 % мас. СКМС-30 и 30% мас. технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтовяжущее структурировано 1 % масс. хризотил-асбестом марки А-6К-30.	4,6	184	0,0017

Соотношение коэффициента подвижности немодифицированного асфальтобетона и комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона структурированного хризотиласбестом марки А-6К-30 составляет

$$\alpha_{\text{отн}} = \frac{0,000024}{0,000002} = 12.$$

Это свидетельствует о том, что при комплексной модификации асфальтовяжущего вещества в 12 раз возрастает его способность сопротивляться напряжениям, которые формируют пластические деформации в сравнении со стандартным мелкозернистым асфальтобетоном типа Б.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально доказано, что эффективным способом повышения долговечности асфальтобетонных покрытий в региональных условиях IV дорожно-климатической зоны является комплексная модификация микроструктуры асфальтобетона комплексной добавкой битума бутадиевметилстирольным термоэластопластом СКМС-30 (2 % мас.), апретирование поверхности известнякового минерального порошка 0,5 % мас. СКМС-30 из углеводородного раствора, микроармирование матрицы асфальтополимерсеробетона хризотиласбестовыми волокнами (1 % мас.).

2. Асфальтополимерсеробетонные смеси, микроармированные хризотиласбестовыми волокнами, отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в более широком диапазоне температур (60...130 °С) по сравнению с традиционными горячими асфальтобетонными смесями. Этому способствуют тиксотропные свойства микроармированного комплексно-модифицированного асфальтовяжущего вещества и более развитые адсорбционно-сольватные слои битумополимерсерного вяжущего на поверхности минеральных материалов. Это позволяет увеличить дальность транспортирования асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных хризотиласбестовыми волокнами и расширить строительный сезон.

3. Асфальтополимерсеробетоны микроармированные хризотиласбестовыми волокнами, характеризуются: повышенной жесткостью в 12 раз по И. А. Рыбьеву; устойчивостью по Маршаллу 26,83 кН против 15,26 кН, пределом прочности при сжатии при 50 °С 2,2 против 1,2 МПа; коэффициентом водостойкости при длительном водонасыщении 1,0 > 0,85.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорожный асфальтобетон / [Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королёв]. – Москва : Транспорт, 1989. – 237 с. – Текст : непосредственный.
2. Прочность и долговечность асфальтобетона / под редакцией Б. И. Ладыгина и И. К. Яцевича. – Минск : Наука и техника, 1972. – 288 с. – Текст : непосредственный.
3. Инновационные технологии в производстве асфальтобетонных смесей : монография / Ю. Э. Васильев, А. В. Илюхин, В. И. Марсов, Е. В. Марсова. – Москва : МАДИ, 2016. – 116 с. – Текст : непосредственный.
4. Дорожный асфальтобетон и полимерсероасфальтобетон / Г. И. Надыкто, В. Д. Галдина. – Омск : СибАДИ, 2018. – 212 с. – Текст : непосредственный.
5. Автомобильные дороги за рубежом : статистический сборник / Министерство транспорта РФ. – Москва : ФГУП «РОСДОРНИИ», 2009. – 134 с. – Текст : непосредственный.
6. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства / [Л. М. Гохман, Е. И. Гурарий, А. Р. Давыдова, К. И. Давыдова]. – Москва : Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации, Информавтодор, 2002. – Выпуск 4. – 112 с. – Текст : непосредственный.
7. Les liants modifiés, les liants avec additives et les bitumes speciaux – AIPCR/PIARC. – Comite technique C8 (08/05B) // ROUTES-ROALS. – 1999. – № 303. – P. 127. – Текст : непосредственный.
8. Смирнов, А. В. Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности нежестких дорожных одежд : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Смирнов Александр Владимирович ; Московский автомобильно-дорожный институт. – Омск, 1989. – 376 с. – Текст : непосредственный.
9. Бабков, В. Ф. Автомобильные дороги : учебник / В. Ф. Бабков ; 4-е изд. пераб. и доп. – Подольск : Изд-во «АТП», 2009. – 280 с. – Текст : непосредственный.
10. Братчун, В. И. О некоторых закономерностях старения бетонных смесей и бетонов на органических вяжущих на примере дегтебетонов / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, В. Л. Беспалов. – Текст : непосредственный // Вісник Харківського автомобільно-дорожного університету. – 2008. – Випуск 40. – С. 59–64.
11. Hagos, E. T. De invloed van Veroudering op de Eigenschappen van het Bindmiddel in Zeez Open Asphaltbeton : Proefschrift tez verkrijging van de grad van doctor aan de Technische Universiteit Delft / Hagos E. T. – Delft : [s. n.], 2008. – 343 p. – Текст : непосредственный.
12. Теоретико-экспериментальные принципы получения дорожных бетонов на органических вяжущих повышенной долговечности с комплексно-модифицированной микроструктурой / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер [и др.]. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2012. – Випуск 2012-1(93) Сучасні будівельні матеріали. – С. 25–40.
13. Дедюхин, А. Ю. Разработка технологии дисперсного армирования асфальтобетонных смесей несортовыми 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 ; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2009. – 143 с. – Текст : непосредственный.
14. Чернов, С. А. Влияние модифицирующих добавок и полимерно-битумных вяжущих на модуль упругости многощебенистых асфальтобетонов / С. А. Чернов, Е. А. Еременко, Ю. В. Хижняк. – Текст : непосредственный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 46–47.
15. Баранов, И. А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона : 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Баранов Игорь Александрович ; Ивановский государственный политехнический университет. – Иваново, 2015. – 176 с. – Текст : непосредственный.
16. ОДМ 218.3.001-2006. Методические рекомендации по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта (РТЭП) : утвержден Распоряжением Росавтодора от 15 августа 2006 г. № 378-р. : взамен «Временных рекомендаций по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта» / разработан ДорТрансНИИ (Научно-исследовательский институт проблем дорожно-транспортного комплекса) Ростовского государственного строительного университета (РГСУ) по заказу Росавтодора ; издание второе, переработанное. – Москва : Федеральное дорожное агентство «РОСАВТОДОР», 2006. – 56 с. (Отраслевой дорожный методический документ). – Текст : непосредственный.
17. О формировании структуры адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего вещества на поверхности минеральных материалов дорожного асфальтобетона / В. И. Братчун, О. А. Пшеничных, Е. А. Ромасюк [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – Выпуск 2022-1(153) Современные строительные материалы. – С. 114-121. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-1\(153\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-1(153).pdf). (дата публикации: 21.02.2022).

Получена 15.01.2023

Принята 27.01.2023

В. І. БРАТЧУН, О. О. ПШЕНИЧНИХ, В. Л. БЕСПАЛОВ, О. І. СЕРДЮК,
Т. В. РОДЗИНА
КОМПЛЕКСНО-МОДИФІКОВАНІ ДОРОЖНІ АСФАЛЬТОПОЛІМЕРБЕ-
ТОНИ, МІКРОАРМОВАНІ ХРИЗОТИЛАЗБЕСТОВИМИ ВОЛОКНАМИ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Для комплексно-модифікованого асфальтополімерсеробетону мікроармованого хризотилазбестовими волокнами марки А-6К-30 встановлені оптимальні температури: укладання 140...155 °С; ущільнення 60...130 °С, що у свою чергу збільшує будівельний сезон та дальність транспортування асфальтобетонної суміші. Модифіковані асфальтополімерсеробетонні суміші

характеризуються нижчою питомою енергією ущільнення $0,95 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ проти $1,27 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ для гарячих асфальтобетонних сумішей. Модифіковані асфальтополімерсеробетони характеризуються вищими експлуатаційними властивостями, ніж гарячі асфальтобетони: стійкість за Маршаллом 26,83 кН проти 15,26 кН, коефіцієнт теплостійкості в діапазоні температур при стиску 3,6 проти 6,5; межа міцності при стиску при 50 °С 2,2 МПа > 1,2 МПа; коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні 1,0 > 0,85. Жорсткість за І. А. Риб'євим в 12 разів зростає, що свідчить про здатність чинити опір напруженням, які призводять до пластичних деформацій.

Ключові слова: дорожній асфальтополімерсеробетон мікроармований хризотилазбестовими волокнами, технологічні властивості, деформаційно-міцнісні характеристики, довговічність.

VALERIY BRATCHUN, OLEG PSHENICHNYKH, VITALIY BESPALOV,
ALEXANDER SERDYUK, TATIANA RODZINA
COMPLEX-MODIFIED ROAD ASPHALT POLYMER SULFUR CONCRETE
MICRO-REINFORCED WITH CHRYSOTILASSBETH FIBER
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. For the complex-modified asphalt polymer sulphur concrete micro-reinforced with chrysotile-asbestos fibers of grade A-6K-30, the optimal temperatures were established: laying 140...155 °C; compaction 60...130 °C, which in turn increases the construction season and the transportation distance of the asphalt mix. Modified asphalt polymer sulphur concrete mixtures are characterized by lower specific compaction

energy $0,95 \frac{\text{J} \cdot \text{m}^3}{\text{kg}}$ vs $1,27 \frac{\text{J} \cdot \text{m}^3}{\text{kg}}$ for hot asphalt mixes. Modified asphalt polymer sulfur concretes are characterized by higher performance properties than hot asphalt concretes: Marshall resistance 26.83 kN versus 15.26 kN, coefficient of heat resistance in the temperatur range during compression 3.6 versus 6.5; compressive strength at 50 °C 2.2 MPa > 1.2 MPa; coefficient of water resistance at long-term water saturation 1.0 > 0.85. Rigidity according to I. A. Rybiev increases 12 times, which indicates the ability to resist stresses that lead to plastic deformations

Keywords: road asphalt polymer sulfur concrete micro-reinforced with chrysotile-asbestos fibers, technological properties, deformation-strength characteristics, durability.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор; завідуючий кафедрою автомобільних дорог і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежестких дорожніх одежд, на основі модифікованих органічних вяжущих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенного сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Пшеничних Олег Александрович – асистент кафедри автомобільних дорог і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, арміровані полімерними волокнами.

Беспалов Віталій Леонідович – доктор технічних наук, доцент; професор кафедри автомобільних дорог і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: синтез органічних вяжущих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, використовуваних при будівництві конструктивних шарів нежестких дорожніх одежд автомобільних дорог підвищеної довговічності.

Сердюк Александр Иванович – доктор химических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексная переработка промышленных отходов с получением нужных для коммунального хозяйства материалов.

Родзина Татьяна Викторовна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

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

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

Беспалов Виталий Леонидович – доктор технических наук, доцент; профессор кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: синтез органических вяжущих для производства композиционных дорожно-будивельных материалов, что используются при будивництві конструктивных слоев нежесткого дорожного одеяла автомобильных дорог повышенной долговечности.

Сердюк Александр Иванович – доктор химических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексная переработка промышленных отходов с получением нужных для коммунального хозяйства материалов.

Родзина Татьяна Викторовна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежесткого дорожного одеяла на основе модифицирования органических вяжущих.

Bratchun Valeriy – 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 durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement, based on modified organic binders and complex modification of the concrete structure; development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

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

Bespalov Vitaliy – D. Sc. (Eng.), Associate Professor; Professor Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: synthesis of organic binders for the production of composite road building materials used in the construction of structural layers of non-rigid road pavements of high-durability highways.

Serdyuk Alexander – D. Sc. (Chemical), Professor; Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex processing of industrial waste to obtain materials necessary for public utilities.

Rodzina Tatiana – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement based on the modification of organic binders.