

Работа выполнена под руководством профессора, д.т.н. Тура В.В.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тур В.В. Игнашева О.Е. Направления развития технологии бетона в третьем тысячелетии // Архитектура и строительство №5, 2002 -17-20 с.
2. Астафьев Я.В. Основные технологические параметры растворной части самоуплотняющихся бетонов на основе напрягающего цемента // Вестник Брестского государственного технического университета. –2004.–№1(25): Строительство и архитектура. – с.149-153.
3. Михайлов В.В., Юдович Э.З., Попов А.М. Водонепроницаемый расширяющийся цемент и его применение в строительстве. – М. Стройиздат, 1951.
4. D'Ans J., Eick H. Untersuchten uber das Abbinden hydraulischen Hochofenschlacken, Zement-Kalk-Gips, № 12, 1954.
5. Технология напрягающего цемента и самонапряженных железобетонных конструкций. Под ред. В.В. Михайлова и С. Л. Литвера. – М.: Стройиздат, 1975. 183 с
6. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные конструкции. – М.: Стройиздат, 1974. - 312 с.
7. Лейрих В. Э., Веприк И. Б., Прохоров В. Х., Способы получения безусадочного вяжущего на основе портландцемента и расширяющейся компоненты. Английский патент №1 083.723
8. СТБ 1335-2002 Цемент напрягающий. Технические условия.

УДК 624.012.45

Радзишевски П.

КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ „PERPETUAL” СО СВЯЗУЮЩЕЙ ПРОСЛОЙКОЙ, В СОСТАВ КОТОРОЙ ВХОДИТ ВЯЖУЩЕЕ, МОДИФИЦИРОВАННОЕ ДОБАВКОЙ ОРГАНО–МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СОЛИ

1. Введение

Исследования, проведенные в США в рамках программы SHRP, показали, что для обеспечения сопротивления возникновению повреждений минерально-асфальтовых смесей для дорожных покрытий значительное влияние оказывает тип используемого вяжущего. Доказано, что это влияние составляет: для появления выбоин - 40%, на возникновение усталостных трещин (сопротивление усталости) – 60% и более чем 90% при возникновении температурных трещин. Существующая на сегодняшний день практика, подтвержденная проведенными в разных странах лабораторными и натурными исследованиями, показала, что добавление в асфальтовое вяжущее соответствующих модифицирующих добавок может различным образом улучшить механические свойства минерально-асфальтовых смесей и значительно увеличить сопротивление усталости слоев конструкции покрытий дорожного полотна.

Очень опасным типом разрушения дорожных покрытий являются постоянные деформации, проявляющиеся в виде выбоин. С целью уменьшения податливости минерально-асфальтовых смесей деформациям, в РП применяют минерально-асфальтовые смеси повышенной жесткости. Во многих случаях проектируют и используют смеси с малым содержанием твердого, немодифицированного асфальта. Такие решения увеличивают опасность преждевременного возникновения в покрытии усталостных и низкотемпературных трещин. Возникновение подобных повреждений особенно вероятно для регионов с экстремальными температурами, например на северо-востоке РП. Для данного региона, в сравнении с остальными, характерны неблагоприятные климатические условия (низкие температуры зимой, много ниже нуля, большие амплитуды температурных колебаний и т.п.).

За последнее десятилетие в РП значительно возросли нагрузки на дорожные покрытия от большегрузных автомобилей, с большой долей 42 – тонных грузовиков. В результате воздействия повышенных механических нагрузок в сочетании с переменными неблагоприятными климатическими факторами значительная часть асфальтового дорожного покрытия покрылась выбоинами, а также разрушению в виде усадочных и температурных трещин.

С целью предотвращения дальнейшего разрушения дорожного покрытия и обеспечения возможности проектирова-

ния конструкций, способных воспринимать повышенные нагрузки, возникла необходимость поиска новых решений в сфере подбора материалов для покрытий, так же, как и применения новых норм проектирования, тесно связанных с проектированием составов минерально-асфальтовых смесей.

Кроме свойств используемых материалов, на долговечность дорожных покрытий оказывают влияние: принятые характеристики слоев, их толщина и расположение в конструкции покрытия. Традиционные решения слоев покрытий – из асфальтобетона, толщина которых возрастает, а жесткость уменьшается пропорционально глубине заложения, что не соответствует новым концепциям поверхностей со значительно более длительным, в сравнении с традиционными решениями, сроком эксплуатации. Исследования французских, британских, голландских ученых и особенно достижения исследователей в США свидетельствуют об огромном потенциале дорожных покрытий. Возведенные согласно новым методам дорожные покрытия доказывают справедливость предположения о том, что существует возможность конструирования долговечных дорожных покрытий, обеспечивающих 50 – летний период эксплуатации несущих слоев. Предложенная концепция конструирования т.н. покрытий „perpetual” характеризуется следующими параметрами:

- различные слои покрытия – податливые, выполнены из соответствующим образом подобранных минерально-асфальтовых смесей (например, SMA),
- тонкий истираемый слой, выполненный из минерально-асфальтовой смеси, стойкой к образованию выбоин, прочный, непроницаемый и жесткий (стойкие к истиранию каменные материалы),
- связующий слой, более толстый в сравнении с обычно используемыми в РП (более 10 см), характеризующийся высокой стойкостью к постоянным деформациям и большим сопротивлением усталости,
- основание – более тонкое в сравнении с используемыми ранее, менее жесткое, с большим сопротивлением усталости. Особого уточнения с точки зрения данной концепции заслуживает связующий слой, оказывающий наибольшее влияние на долговечность конструкции. Он должен обладать повышенной стабильностью (более жесткий слой с большей стойкостью к образованию выбоин) и большой прочностью.

Радзишевски Петр, профессор Политехники Белостоцкой, Республика Польша.

В РП предприняты действия с целью модификации связующих слоев конструкций дорожных покрытий путем добавления в минерально-асфальтовую смесь вяжущего с содержанием органо-металлической соли марганца и кобальта с торговым названием Chemcrete.

Кажется возможным выполнение большинства требований к связующим слоям конструкций по долговечности посредством использования для них возведения минерально-асфальтовых смесей, модифицированных добавками органо-металлической соли.

В статье представлены результаты исследований, целью которых являлась оценка влияния добавок органо-металлической соли Chemcrete на функциональные свойства минерально-асфальтовых смесей для связующих слоев дорожных покрытий. На основании лабораторных исследований и математического анализа результатов показана эффективность использования модификации асфальта связующих слоев внесением органо-металлической соли для обеспечения требуемой долговечности.

2. Органо-металлическая соль Chemcrete

Химическое вещество, представленное на рынке под названием Chemcrete, производится американской корпорацией Chem-Crete. При добавлении в асфальт реагирует с ним, и в результате полимеризации делает его более жестким. С точки зрения химического состава, этот модификатор – органо-металлическая соль марганца и кобальта в растворе углеводородного масла [1]. Воздействие Chemcrete на асфальт происходит в двух фазах. В первой фазе благодаря каталитическому воздействию возникают двукетоны в наиболее легко окисляемых точках асфальта, в то время как во второй фазе происходит реакция марганца с кетонами, в результате чего образуются комплексы, вызывающие усадку асфальта. Реакция асфальта с Chemcrete развивается во времени и ее скорость зависит от температуры, содержания свободных объемов в загустевшей минерально-асфальтовой смеси (доступ кислорода извне) [2, 3].

3. Лабораторные исследования минерально-асфальтовых смесей с вяжущим, модифицированным Chemcrete

Исследование типовых свойств минерально-асфальтовых смесей

С целью оценить свойства минерально-асфальтовых смесей с модифицированным вяжущим выполнены лабораторные исследования образцов из смеси для связующего слоя. Состав минерально-асфальтовой смеси асфальтобетона 0/20 согласно PN-S-96025:2000. Для приготовления минерально-асфальтовой смеси в лабораторных условиях использованы аналогичные материалы, как и для устройства экспериментального участка дороги. Состав смеси: молотый известняк, дробленый песок 0/2, щебень 2/5, щебень 5/10, щебень 8/11, щебень 11/16, щебень 16/25 из гранёного диорита, асфальт дорожный D 35/50.

Кривая гранулометрического состава запроецированной минеральной смеси представлена на рис. 1. Содержание асфальта (с добавкой 2% Chemcrete) составляло 4,5%. Состав исследуемой минерально-асфальтовой смеси соответствовал составу смеси связующего слоя для устройства экспериментального участка дороги №8 Шиплишки–Швейцария.

Результаты проведенных лабораторных исследований технических свойств представлены в таблице 1. Можно отметить, что наибольшая стабильность и максимальные значения модулей жесткости при всех заданных значениях температуры характерны для смеси с асфальтом 35/50 с добавкой Chemcrete. Это свидетельствует о значительном увеличении жесткости минерально-асфальтовой смеси за счет воздействия добавки органо-металлической соли в среде минеральной крошки.

Принимая во внимание условия работы конструкции дорожного покрытия, следует отметить, что наилучшие свойства

демонстрирует минерально-асфальтовая смесь с добавкой Chemcrete, которая при 20 °С обладает максимальной жесткостью в сравнении с рассматриваемыми типами асфальтобетона. При уменьшении температуры изменение модуля жесткости происходит не так резко, как для немодифицированного асфальтобетона (рис. 2). Такие свойства позволяют уменьшить вероятность возникновения низкотемпературных трещин.

Асфальтобетон с модифицированным вяжущим характеризуется повышенным значением модуля жесткости ползучести. Минерально-асфальтовые смеси с модулем жесткости ползучести выше 22 МПа (при 40 °С) считаются смесями с повышенным сопротивлением постоянным деформациям [6]. Сравнивая результаты испытаний модифицированных и немодифицированных смесей, стоит отметить, что, учитывая условия работы связующего слоя дорожного покрытия, наилучшие свойства демонстрирует минерально-асфальтовая смесь с асфальтом 35/50, модифицированным Chemcrete.

Исследование усталостной прочности

С целью сравнения усталостной прочности асфальтобетона с добавкой Chemcrete и без модифицирующих добавок, выполнены испытания на усталость при изгибе по методу „испытания балок на усталость”.

Образцы в форме параллелепипеда с размерами 50x60x400 мм подвергались циклическому четырехточечному изгибу (рис. 3). Нагрузка изменялась по гаверсинусу $[1/2x(1-\cos x)]$ с частотой 10 Гц, при различных амплитудах деформаций: 300, 400, 500 мкм/м.

В лаборатории формованы плиты толщиной 7 см с помощью пневмотрамбовки до получения ровной поверхности, что при соответствующей массе образца и известных размерах формы гарантирует получение требуемого коэффициента уплотнения. Полученные плиты распилены алмазной пилой на образцы в форме параллелепипеда с размерами 50x60x400 мм.

Результаты испытаний балок на изгиб при 10⁰С представлены на рис. 4.

Из диаграммы рис. 4 видно, что больших значениях деформаций для образца асфальтобетона с асфальтом 35/50 характерна большая усталостная прочность, чем для образца с модифицированным вяжущим. При деформациях мене 300 мкм/м усталостная прочность образцов с модифицированным вяжущим Chemcrete выше, чем для образцов стандартной смеси. Это значит, что в дорожных покрытиях (деформации слоев под нагрузкой колес большегрузных автомобилей значительно меньше, чем 300 мкм/м) слои с добавкой Chemcrete будут работать дольше до появления усталостных трещин. Следует также отметить, что при больших деформациях, встречающихся в мостовых конструкциях, не следует использовать минерально-асфальтовые смеси с добавкой Chemcrete.

Исследование образования выбоин

Исследование образования выбоин выполнено на образцах асфальтобетона, модифицированного добавкой органо-металлической соли, уплотненных трамбовкой Маршалла. Процедура исследований соответствовала британским нормам BS 598 Pt1 10:1996 с применением малого выбоиномера Wessex. В результате исследования определена максимальная глубина выбоины и скорость ее прироста. Для оценки сопротивления образованию выбоин принят критерий согласно Спецификации на устройство шоссейных дорог (MCHW1) Clause 948 которого ограничивается максимальная глубина выбоины до 10,5 мм и скорость ее прироста до 7,5 мм/ч при испытании одного образца и, соответственно, 7,0 мм и 5,0 мм/ч для двух и более образцов.

Получены следующие осредненные значения максимальной глубины выбоины и скорости ее прироста:

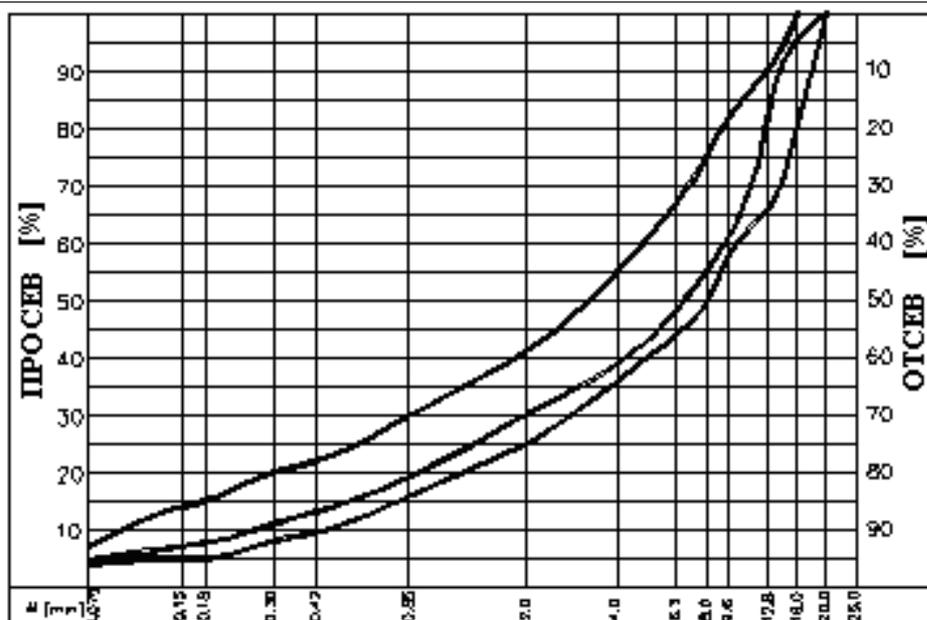


Рис. 1. Кривая гранулометрического состава асфальтобетона 0/20 для связующего слоя.

Таблица 1. Свойства минерально-асфальтовых смесей с вяжущим, модифицированным Chemcrete и базовым вяжущим 35/50

Свойства	Асфальтобетонная смесь 0/20 с асфальтом 35/50	
	35/50	35/50+2%Chemcrete
Стабильность [кН]	13,0	17,5
Деформации [мм]	4,3	4,8
Модуль жесткости ползучести [МПа]	19,6	22,2
Модуль жесткости сжатия [МПа]		
2 °С	15925	16701
10 °С	9645	12167
20 °С	4908	7680

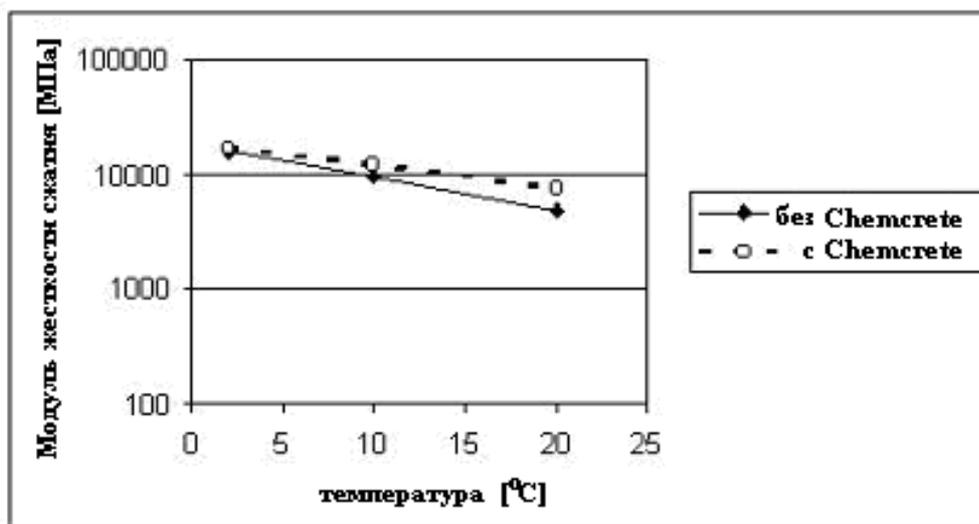


Рис. 2. Изменение модуля жесткости сжатия в зависимости от температуры для асфальтобетона с вяжущим 35/50 и вяжущим 35/50, модифицированным Chemcrete.

- истираемый слой – 2,53 мм и 0,92 мм/ч,
- связующий слой – 1,78 мм и 0,65 мм/ч.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что связующий слой из минерально-асфальтовой смеси, модифицированной добавкой Chemcrete, будет очень устойчивым к образованию выбоин.

4. Анализ усталостной прочности типовой конструкции покрытия и покрытия повышенной прочности

Для анализа выбрана конструкция покрытия, соответствующая по нагрузке от грузопотока KR4 (наиболее часто встречающаяся на основных автомагистралях Подляского Воеводства). Расположение слоев и материалы для них – как и типовые, для применяемых решений конструкций в северо-восточной части РП (рис. 5).

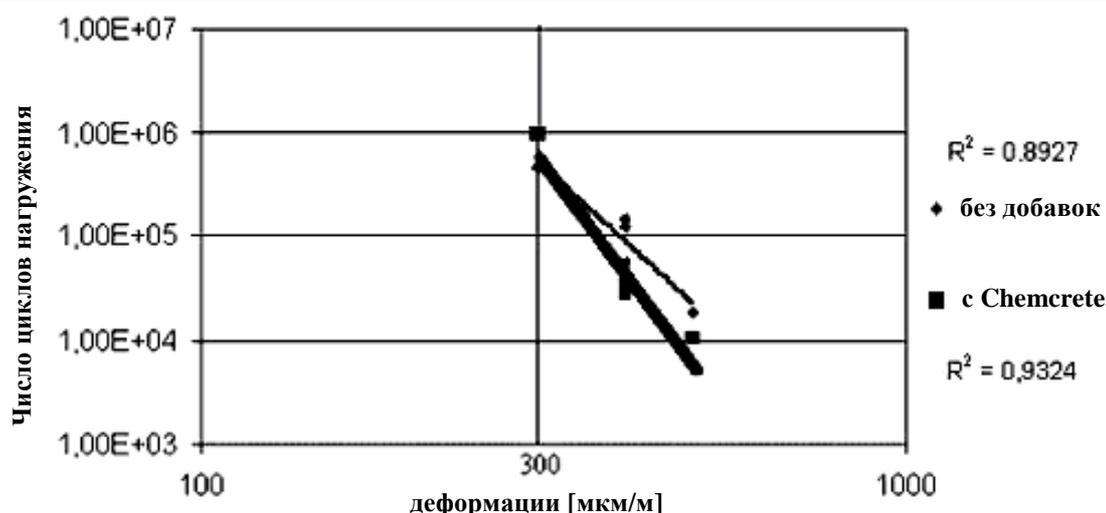


Рис. 4. Диаграмма усталостной прочности.



Рис. 3. Устройство для испытаний на усталостную прочность

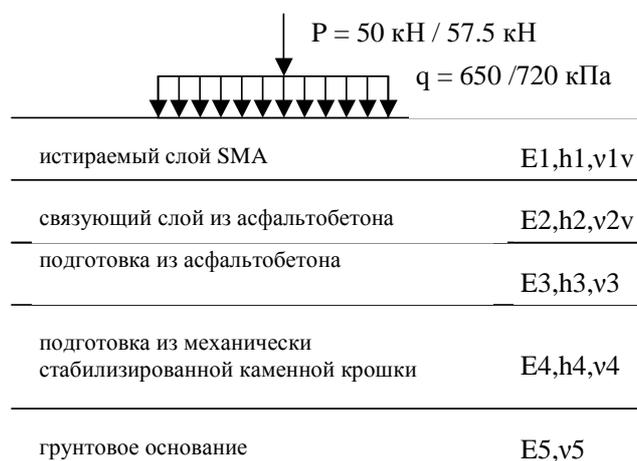


Рис. 5. Расчетная модель конструкции дорожного покрытия.

Толщины конструктивных слоев, значения модулей жесткости (связующий слой без добавки Chemcrete и с модификатором) – согласно таблице 2.

Для расчетов приняты пропорции для обоих типов минерально-асфальтовых смесей согласно Каталогу типовых конструкций податливых и полужестких дорожных покрытий (асфальтобетон частично замкнутой структуры для слоев подготовки: содержание асфальта 10%, содержание свободного объема 8%).



Рис. 6. Конструкция покрытия типа „perpetual”

Расчеты деформаций анализируемой конструкции выполнены с использованием компьютерной программы BISAR 3.0.

Для сравнения выполнен анализ конструкции дорожного покрытия, соответствующей требованиям покрытия „perpetual”, со связующим слоем, содержащим добавку Chemcrete (рис. 6).

Для слоя подосновы принят асфальтобетон с асфальтом Multiphalte 60/70 с модулем жесткости 5164 МПа (рассчитан с помощью компьютерной программы SPDM 3.0 при следующих данных: содержание асфальта 12%, содержание заполнителя 83%, содержание свободного объема 5%, температура 10⁰С). Коэффициенты Пуассона приняты для всех слоев равными 0,35. Расчет деформаций и усталостной прочности выполнен для средних значений температуры: зимы – 2⁰С, весны и осени – 10⁰С, лета – 23⁰С. Приняты два варианта по несущей способности грунтового основания: вариант I – с модулем упругости 100 МПа, вариант II – с модулем упругости 50 МПа. Результаты расчетов усталостной прочности представлены в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что существует возможность конструирования долговечных дорожных покрытий. При одной и той же толщине битумных слоев (23 см – типовая конструкция и 23 см – долговечная конструкция – 4 + 12 + 7 см) можно достигнуть увеличения усталостной прочности в 2,5 раза (увеличение на 177%).

Большое влияние на усталостную прочность конструкции оказывает несущая способность грунтового основания. При слабом основании можно проектировать конструкции покрытия с желаемым уровнем прочности посредством увеличения толщины слоя, модифицированного добавкой Chemcrete (в рассматриваемом примере – вариант II со связующим слоем толщиной 14 см).

Таблица 2. Результаты расчетов усталостной прочности

	толщина слоя	исходные данные		
		пора года	без Chemcrete	с Chemcrete
модуль истираемого слоя E1 [МПа]	h1 = 5 см	лето	2800	
		весна+осень	10300	
		зима	19300	
модуль связующего слоя E2 [МПа]	h2 = 8 см	лето	3000	4918
		весна+осень	10100	12934
		зима	18800	17849
модуль слоя битумной подготовки E3 [МПа]	h3 = 10 см	лето	3000	
		весна+осень	9600	
		зима	18100	
модуль слоя подготовки из каменной крошки E4 [МПа]	h4 = 20 см	400		
модуль грунтового основания E5 [МПа]		100		

Таблица 3. Результаты расчетов усталостной прочности конструкций типа „perpetual”

	толщина слоев	исходные данные		результаты расчетов							
		пора года		конструкция типовая по Каталогу (рис. 6.4)		конструкция „perpetual” толщина связующего слоя с Chemcrete [см]					
						10		12		14	
				I	II	I	II	I	II	I	II
модуль истираемого слоя E1 [МПа]	h1 = 4 см	лето	2800								
		весна+осень	10300								
		зима	19300								
модуль связующего слоя E2 [МПа]	h2 = 10,12,14 см	лето	4918								
		весна+осень	12934								
		зима	17849								
модуль слоя битумной подготовки E3 [МПа]	h3 = 7 см	лето	1630								
		весна+осень	5160								
		зима	10900								
модуль слоя подготовки из каменной крошки E4 [МПа]	h4 = 20 см	400									
модуль грунтового основания E5 [МПа]		Вариант I	100								
		Вариант II	50								
деформации растяжения по низу битумных слоев [мкм/м]		лето	130,8	156	171	137	151	121	134		
		весна + осень	66,0	91	101	79	88	69	77		
		зима	42,8	62	68	54	60	47	52		
деформации сжатия по верху грунтового основания [мкм/м]		лето	365,4	411	564	361	494	320	436		
		весна + осень	214,9	266	362	231	313	201	272		
		зима	155,6	202	273	175	235	153	204		
усталостная прочность битумных слоев Nf1 [млн. циклов нагружения]		3,5		14.3	10.4	22.3	16.1	34	244		
прочность по структурным деформациям поверхности Nf2 [млн. циклов нагружения]		9,9		5.4	1.3	9.7	2.4	17.1	4.3		
процентное увеличение усталостной прочности при внесении добавки Chemcrete в связующий слой		в отношении к усталостной прочности битумных слоев типовой конструкции (меньшая из Nf1 и Nf2)		54	-63	177	-31	389	23		

5. Выводы

На основании выполненных исследований и анализа можно сделать следующие выводы:

- Минерально-асфальтовые смеси с модифицированным вяжущим Chemcrete обладают лучшими техническими показателями по сопротивлению постоянным деформациям в сравнении со стандартными смесями; при этом наблюдается увеличение усталостной прочности.

- Конструкция дорожного покрытия со связующим слоем на модифицированном вяжущем Chemcrete в общем характеризуется улучшенной жесткостью и, следовательно, большей прочностью и длительным сроком эксплуатации.
- Конструкция покрытия с повышенной усталостной прочностью должна состоять из следующих слоев: тонкий истираемый слой с SMA (MNU), жесткий толстый связующий слой из асфальтобетона с модифицированным вяжущим, например добавкой Chemcrete (толщиной более

12 см – а лучше 14 см), относительно тонкая эластичная подготовка из минерально-асфальтовой смеси типа асфальтобетона с не очень твердым вяжущим (толщиной около 7 см).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: „Asfalty drogowe”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001
2. Radziszewski P., Kalbińska M., Piłat J.: „Materiały drogowe i nawierzchnie asfaltowe”, Wyd. Politechnika Białostocka i Politechnika Warszawska, Białystok-Warszawa 1995

3. Radziszewski P.: „Modelowanie trwałości zmęczeniowej modyfikowanych kompozytów mineralno-asfaltowych”. Rozprawa habilitacyjna, Rozprawy Naukowe Nr 45, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok 1997
4. Słotwiński D.: „Nowe koncepcje konstrukcji nawierzchni asfaltowych”. Drogownictwo nr 7-8, Warszawa 2002
5. „The Shell Bitumen Handbook”, Shell Bitumen, 1990
6. Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowych o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie. Informacje i Instrukcje, zeszyt 63, IBDiM, Warszawa 2002

УДК 624.012.45

Плева А., Радзишевски П.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДОБАВКИ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОКРЫШЕК И ВРЕМЕНИ НАГРЕВА НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТО-РЕЗИНОВОГО ВЯЖУЩЕГО

1. Введение

В XXI веке, в период молниеносного развития цивилизации, дорожная инфраструктура является кровеносной системой экономического организма государства. РП, как страна, являющаяся кандидатом в ЕС, обязана придерживаться норм и правил ЕС. В том числе и норм, касающихся хранения и переработки использованных автомобильных покрышек. В ЕС обязательная директива (1999/31/ЕС „Landfill Directive”) от 2003 г. запрещает хранение целых использованных автомобильных покрышек, а от 2006 г. также и размельченных шин [3].

В РП отходы резины в виде целых шин и их элементов представляют собой проблему для экологии и экономики. По оценочным данным, в стране необходимо отыскать возможность использования около 180 тыс. тонн использованных шин ежегодно [1].

Одним из решений, позволяющих найти применение большому количеству использованных автомобильных покрышек, является использование резиновой крошки для модификации вяжущих и минерально-асфальтовых смесей для дорожных покрытий [1,2]. В результате модификации асфальта резиновой крошкой получается асфальто-резиновое вяжущее, которое, согласно норм ASTM D-8, классифицируется как смесь асфальта и не менее 10% резины в общей смеси.

Вязко-упругие свойства асфальто-резинового вяжущего зависят от количества резиновой крошки и времени нагрева при его приготовлении [4, 5]. Увеличение времени нагрева не оправдано экономически. В процессе поиска оптимальных решений должны быть учтены свойства материалов асфальто-резинового вяжущего и стоимость его производства.

Целью данного исследования является изучение влияния содержания добавки резиновой крошки и времени нагрева на вязко-упругие свойства асфальто-резинового вяжущего, с точки зрения его работы в дорожном покрытии и технологических процессов, связанных с производством и уплотнением минерально-асфальто-резиновых смесей.

В статье представлен анализ свойств асфальто-резиновых смесей с объемной долей добавок резины от 15% до 20% и временем нагрева вяжущего от 20 минут до 6 часов.

2. Метод модификации асфальта резиновой крошкой использованных автомобильных покрышек

В лабораторных исследованиях применялись асфальто-резиновые вяжущие, в состав которых входил асфальт с пенетрацией 50/70 и резиновая крошка использованных покрышек с гранулометрическим составом, представленным в таблице 1.

Асфальто-резиновое вяжущее изготовлено со следующим содержанием резиновой крошки: 15%, 17%, 19% и 21%.

Асфальто-резиновое вяжущее изготавливалось в лаборатории по следующей процедуре [6]:

- нагрев асфальта 50/70 до 185°C,
- нагрев резиновой крошки до 60°C,
- внесение резиновой крошки в асфальт при равномерном высокооборотном помешивании (200 об/мин),
- смешивание компонентов в мешалке при температуре 185°C при высокооборотном помешивании в течение 20 мин,
- перемешивание на низких оборотах (100 об/мин) при температуре 185°C.

Таблица 1. Ситовой анализ резиновой крошки

Размер ячейки сита [мм]	Остаток на сите [%]
0,85	18,5
0,42	44
0,30	17,5
0,18	13
0,15	2
0,075	4,5
<0,075	0,5

В процессе модификации для исследований отобраны образцы вяжущего следующих временных периодов: 20 мин, 40 мин, 1 час, 1,5 часа, 2 часа, 2,5 часа, 3 часа, 4 часа, 5 часов, 6 часов от момента внесения резиновой крошки в асфальт.

3. Методика исследований асфальто-резинового вяжущего

Оценка вязко-упругих свойств асфальто-резинового вяжущего проводилась на основании результатов исследований:

- пенетрации, согласно PN-EN 1426:2001, при температуре 5°C, 15°C и 25°C,
- температуры размягчения, согласно PN-EN 1427:2001,
- динамической вязкости при использовании аппарата Брукфильда, согласно норм ASTM D4402; испытания велись при температуре 60°C, 90°C, 110°C и 135°C,
- температуры ломкости по Фраассу, согласно PN-C-04130:1989.

Определено среднее арифметическое по трем равноценным измерениям, которые лежат в диапазоне $\pm 10\%$.