

Открытое акционерное общество
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА»
(ОАО ЦНИИС)

Филиал ОАО ЦНИИС «Научно-исследовательский центр «Мосты»
(Филиал ОАО ЦНИИС «НИЦ «Мосты»)

УДК
№ гос.регистрации
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала ОАО ЦНИИС
НИЦ «Мосты» д-р техн. наук

А.С. Платонов

2004 г.



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМЫ ТОНКОСЛОЙНОГО ПОКРЫТИЯ
НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
ОРТОТРОПНОЙ ПЛИТЫ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ВЗАМЕН
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ С РАЗРАБОТКОЙ РЕКОМЕНДАЦИЙ
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ НА ОПЫТНОМ ОБЪЕКТЕ

ИС-2004-275-04

Заведующий лабораторией
металлических мостов, инж.

А.В. Кручинкин
S. 10. 2004г.

А.В. Кручинкин

Руководитель НИР
канд. техн. наук

К.М. Акимова
Н.Г. Грицаенко

Нормоконтролер

Москва 2004

Список исполнителей

Заведующий лабораторией

А.В. Кручинкин А.В. Кручинкин (общее руководство работой)

Старший научный
сотрудник, канд.техн.наук

К.М. Акимова К.М. Акимова (руководство темой,
выполнение экспериментальных
работ, составление отчета по НИР)

Техник I кат.

И.Ф. Чайкова И.Ф. Чайкова (оформление работы)

Нормоконтролер

Н.Г. Грицаенко

Н.Г. Грицаенко

Соисполнители:

Ведущий научный
сотрудник ГП РосдорНИИ,
канд.техн.наук

Л.А. Горелышева

Л.А. Горелышева (раздел 4.4)

Реферат

Работа содержит 26 с., 1 рис., 12 табл., 3 источника, 2 прил.

ТОНКОСЛОЙНОЕ ПОЛИМЕРНОЕ ПОКРЫТИЕ, МОСТОВОЕ ПОЛОТНО, МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ОРТОТРОПНАЯ ПЛИТА, ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТ, АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ, НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА, ИЗНОС, КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ, УСТАЛОСТНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ.

Объектом исследования является система тонкослойного полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата (ПММА) с целью использования ее для мостового полотна по металлической ортотропной плите. Указанная система полимерного покрытия предложена корпорацией «ТемпСтройСистема» на базе материалов Бельгийской фирмы RPM.

Цель работы – разработка системы долговечного, износостойкого тонкослойного полимерного покрытия толщиной 15...20 мм по ортотропной плите автодорожных, городских, разводных и пешеходных мостов взамен асфальтобетонного покрытия.

По полученным результатам исследований новая система разработана для опытного применения на реальных мостовых сооружениях в качестве рабочего покрытия проезжей части по металлической ортотропной плите.

Отличительные особенности тонкослойного полимерного покрытия на основе ПММА:

- высокие показатели механических физико-химических и эксплуатационных свойств;
- высокая долговечность;
- технологичность выполнения работ по устройству и ремонту покрытия.

Содержание

1 Введение	5
2 Нормативные ссылки	6
3 Состояние вопроса	7
4 Лабораторные исследования системы полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата	9
4.1 Определение прочности материала покрытия на сжатие и растяжение при изгибе.	9
4.2 Определение адгезионной прочности грунтовочного и гидроизоляционного слоев покрытия к поверхности стали	11
4.3 Определение напряжений сдвига в системе металл-гидроизоляция-полимерное покрытие	12
4.4 Определение эксплуатационных характеристик покрытия: износа путем истирания и коэффициента сцепления до и после испытаний на износ; усталостной долговечности при динамическом изгибе	14
4.5 Исследование стойкости покрытия к комплексному воздействию климатических факторов	16
5 Анализ свойств системы полимерного покрытия на основе ПММА по результатам лабораторных исследований	17
6 Заключение	19
Список использованных источников	20
Приложение А Технические требования к тонкослойным полимерным покрытиям мостового полотна по металлической ортотропной плите	21
Приложение Б Протоколы испытаний эксплуатационных свойств покрытия: износа, коэффициента сцепления, усталостной долговечности при динамическом изгибе	22

1 Введение

Настоящая работа выполнена в соответствии с договором ИС-2004-275-04 между заказчиком ООО «ТехноАвангард» и исполнителем – Филиалом ОАО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» «Научно-исследовательский центр “Мосты”» (ОАО ЦНИИС «НИЦ “Мосты”»).

Цели и задачи НИР заключаются в создании систем тонкослойных (15...20 мм), износостойких и трещиностойких полимерных покрытий взамен асфальтобетонных на металлических автодорожных, городских, разводных и пешеходных мостах. Указанные покрытия должны найти применение не только в районах с обычными условиями строительства и эксплуатации мостов, но и в зонах отдаленных, труднодоступных, с экстремальными условиями, где устройство качественных асфальтобетонных покрытий практически невозможно, а мосты эксплуатируются с «временными» покрытиями из сборных железобетонных плит, укладываемых на слой цементопесчаной смеси.

Постоянные нагрузки на пролетные строения и опоры мостов от веса ездового полотна при тонкослойных покрытиях снижаются в 6,5 раз в сравнении с асфальтобетонными и в 14 раз в сравнении с покрытиями из железобетонных плит. Благодаря этому расход металла на пролетные строения снизится на 7...10 %. Ожидаемая долговечность полимерных покрытий 10 лет, что в два с лишним раза больше, чем асфальтобетонных.

Наибольшая эффективность применения тонкослойных полимерных покрытий может быть достигнута на разводных пролетных строениях мостов.

В соответствии с Техническим заданием и Техническими требованиями к тонкослойным полимерным покрытиям мостового полотна по металлической ортотропной плите, разработанными филиалом ОАО ЦНИИС «НИЦ “Мосты”» на основании требований нормативных документов к мостовым конструкциям, заказчик (он же производитель материалов) представил для испытаний образцы тонкослойного полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата (ПММА) и техническую информацию на материалы. Полимерные материалы для покрытия произведены Бельгийской фирмой RPM. Анализ свойств этих материалов позволил принять решение филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ “Мосты”» в пользу проведения испытаний представленных образцов на соответствие Техническим требованиям к тонкослойным полимерным покрытиям мостового полотна по металлической ортотропной плите.

По результатам проведенных исследований установлено, что система полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата удовлетворяет «Техническим

требованиям к тонкослойному полимерному покрытию мостового полотна по металлической ортотропной плите» и рекомендована для опытного применения на реальных мостовых сооружениях.

2 Нормативные ссылки

В настоящей НИР использованы ссылки на следующие стандарты:

СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы. Нормы проектирования

СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы. Правила производства и приемки работ

СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги

СНиП 3.06.03-85 Автомобильные дороги. Правила производства и приемки работ

СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии

СНиП 3.04.03-85 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии

СНиП 12-03-2001; СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве

ГОСТ 10180-78 Бетон тяжелый. Методы определения прочности при сжатии и растяжении

ГОСТ 26589-94 Мастики кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний

ГОСТ 12801-98 Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний

ГОСТ 9128-97 Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия

ГОСТ 9.401-91 Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов

ГОСТ 9.402-80 Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей перед окрашиванием

ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация

ГОСТ 12.4.041-89 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования

ВСН 32-81 Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах

ВСН 27-76 Технические указания по применению битумных шламов для устройства защитных слоев на автомобильных дорогах. Москва «Транспорт», 1977 г., Мин. строит. и экспл. авт. дорог. РСФСР.

3 Состояние вопроса

Разработка системы легкого водонепроницаемого долговечного полимерного покрытия с износостойким верхним слоем для металлических мостов с ортотропной плитой весьма актуальна вследствие пока, что нерешенных проблем получения надежного долговечного трещиностойкого асфальтобетонного покрытия. Асфальтобетонные покрытия на металлических мостах служат, в лучшем случае, до 5 лет, а во многих случаях начинают разрушаться через 2-3 года после начала эксплуатации.

Главной причиной разрушения асфальтобетонного покрытия исследователи считали большую деформативность настильного листа ортотропной плиты от знакопеременных динамических и вибрационных нагрузок.

С целью снижения «мембранныго эффекта» толщину покрывного листа в ряде случаев увеличивали с 12 до 14 мм (а за рубежом – и до 16 мм), толщину асфальтобетонного покрытия – с 70 до 120 мм, при этом значение коэффициента надежности по нагрузке поднимали с 1,5 до 2,0 [1, 2]. Как следствие, получали повышенный расход металла основных несущих конструкций и удорожание мостовых сооружений. При этом надежность и долговечность асфальтобетонных покрытий возрастала незначительно, непропорционально понесенным затратам.

В условиях значительного увеличения объемов строительства металлических автодорожных мостов проблема создания надежного покрытия становится насущной, требующей незамедлительного решения. Одним из путей решения является применение систем легких полимерных покрытий.

За рубежом (Бельгия, Франция, Италия, Канада, Швеция, Финляндия) системы полимерных покрытий на основе полиметилметакрилата (ПММА) применяют довольно широко [3].

Система полимерного покрытия состоит из трех слоев, прочно связанных между собой благодаря химическим связям:

- первый слой – грунтовка (праймер) – антикоррозионное покрытие с высокой адгезией к поверхности металла;
- второй слой – гидроизоляция – высокоэластичное водонепроницаемое бесшовное покрытие;
- третий слой – верхнее покрытие – износостойкое, трещиностойкое, химически- и атмосферостойкое, в том числе к действию ультрафиолетовых лучей; покрытие должно иметь нормативный коэффициент сцепления (сопротивление скольжению), что

обеспечивается внедрением в незатвердевший верхний слой кварцевой или гранитной крошки фракции 2-5 мм.

Устройство покрытия можно производить как при положительной, так и при отрицательной температуре воздуха до -10°C при отсутствии атмосферных осадков.

Технические характеристики каждого из вышеуказанных слоев по данным зарубежных материалов, опубликованных в печати, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели	Значение показателей для каждого из слоев системы покрытия		
	1-ый слой	2-ой слой	3-ий слой
Толщина, мм	0,3	1,5-2	8-10
Предел прочности при разрыве, кгс/см ²	103	110	64
Относительное удлинение, %	62	>300	217
Модуль эластичности, кгс/см ²	19900	56	540
Твердость по Шору		55	

Покрытие ремонтопригодно. В случае износа верхнего слоя при ремонте его нужно зачистить песко- или дробеструйным аппаратом, обезжирить и сверху нанести новый износостойкий слой.

Анализ свойств системы покрытия по опубликованной в зарубежной печати информации позволил принять решение филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ “Мосты”» провести исследование вышеуказанной системы покрытия на соответствие «Техническим требованиям к тонкослойным полимерным покрытиям мостового полотна по металлической ортотропной плите» и, в случае получения положительных результатов, разработать Рекомендации для применения на опытных объектах – реальных мостовых сооружениях.

4 Лабораторные исследования системы полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата

4.1 Определение прочности материала покрытия на сжатие и растяжение при изгибе (ГОСТ 10180-78).

Для испытаний были изготовлены образцы-балочки размером 40x40x160 мм в количестве 6 шт.

Для образцов №№ 1-3 в качестве наполнителя использовали кварцевый песок; для образцов №№ 4-6 – доломитизированный порошок.

Испытания проводили на гидравлическом прессе МУП-20 (свидетельство о поверке № 018161/445 от 09.06.2004 г.).

В первую очередь определяли прочность на растяжение при изгибе, а затем половины балочек использовали для испытаний по определению прочности на сжатие (предусмотрено по ГОСТ 10180-78).

При испытаниях на изгиб ступенчато замеряли прогибы и фиксировали нагрузки. Определяли расчетное сопротивление и предел прочности при изгибе.

$$\text{Расчетное сопротивление } R \text{ кгс/см}^2 = \frac{M}{W},$$

где: M - изгибающий момент, равный $\frac{P \cdot \ell_p}{4}$ кгс·м;

P - нагрузка, кгс;

ℓ_p - расстояние между опорами, м;

W - момент сопротивления, равный $\frac{\varepsilon h^2}{6}$ см³;

ε - ширина образца, см;

h - высота образца, см

$$R = \frac{M}{W} = \frac{6P\ell_p}{4\varepsilon h} = 0,28P$$

Предел прочности при изгибе (изломе)

$$R_w = 0,28P_{\max}$$

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний прочности материала на растяжение при изгибе

№ образцов	Прогибы, мм		Усилие Р, кгс	Расчетное сопротивление R, кгс/см ²	Предел прочности, R _w , кгс/см ²	Средние значения	
	упругий	излом				R, кгс/см ²	R _w , кгс/см ²
1	2	-	400	112	-	93	153
	-	4	570	-	160		
2	2		300	84	-	111	183
	-	4	540	-	151		
3	2	-	300	84	-	111	183
	-	4	530	-	148		
4	2	-	460	129	-	111	183
	-	4	600	-	168		
5	2	-	330	92,4	-	111	183
	-	5	620	-	173,6		
6	2	-	400	112	-	111	183
	-	4	740	-	207		

Примечания:

1. На изломе в растянутой зоне волокнистая структура с неровностями до 5 мм: в сжатой зоне – мелкозернистая структура и ровная поверхность. Волокнистая структура показывает пластический характер разрушения образцов.

2. Предельный прогиб, при котором происходило разрушение f = 4 мм = $\frac{l}{30} \tau$.

Для испытаний материала на сжатие использовали образцы:

№ 1 – с наполнителем из кварцевого песка.

Размер образца 4x4x7 мм, площадь сжатия A = 4x7 = 28 см².

Разрушающая нагрузка, при которой по торцам образца появились вертикальные трещины, P = 17,15 тс.

$$R_c = \frac{P}{A} = \frac{17150}{28} = 612,5 \text{ кгс/см}^2.$$

$$\text{Деформация сжатия } \Delta h = 15 \text{ мм} = \frac{1}{36} h.$$

Характер разрушения – пластический.

№ 2 – с наполнителем из доломитизированного порошка.

Размер образца 4x4x6,5 мм, площадь сжатия A = 26 см².

Разрушающая нагрузка P = 14,67 тс.

$$R_c = \frac{P}{A} = \frac{14670}{26} = 564 \text{ кгс/см}^2.$$

Характер разрушения – пластический, усилие Р зафиксировано при появлении вертикальных трещин по торцам при деформации $\Delta h = 15$ мм.

Сравнительные показатели прочностей на сжатие и растяжение при изгибе представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сопоставление прочности полимерного покрытия с прочностью асфальтобетона и цементобетона

Показатели	Полимерное покрытие	Асфальтобетон при температуре		Цементобетон кл. В30
		+20 °C	0 °C	
Предел прочности при сжатии, МПа (кгс/см ²)	60 (600)	2,2 (22)	13 (130)	40 (400)
При изгибе: - предел прочности (МПа (кгс/см ²)) - расчетное сопротивление (МПа (кгс/см ²))	16 (160) 11 (110)	- -	- -	2,95 (29,5)

4.2 Определение адгезионной прочности грунтовочного и гидроизоляционного слоев покрытия к поверхности стали

Адгезионную прочность (адгезию) нижних слоев покрытия (грунтовочного и гидроизоляционного) к поверхности стали определяли в соответствии с требованиями норм ВСН 32-81 к гидроизоляции при устройстве мостового полотна.

Адгезию на отрыв определяли динамометрическим методом. К поверхности гидроизоляционного слоя приклеивали с помощью kleящей мастики на основе полиметилметакрилата отрывной элемент (металлическую пластинку) площадью 20 см², разрезали гидроизоляцию по периметру пластины и производили отрыв гидроизоляции, фиксируя силу отрыва динамометром. Средняя адгезионная прочность при отрыве должна быть не менее 3 кгс/см².

Адгезию на оттир определяли, делая П-образный надрез гидроизоляционного слоя покрытия до поверхности металла размером 50x100 мм. Свободный конец полосы отделяли с помощью ножа от поверхности металла, закрепляли в зажиме, соединенном с динамометром, и тянули (отдирали) под углом 90-120°. При адгезионном характере отдира усилие, при котором происходит отслоение материала от поверхности металла, должно быть не менее 2 кгс/см при 20±5 °C.

Металлическую поверхность образцов из стали – 3 для испытаний готовили двумя способами:

1) пескоструйная обработка;

2) грунтование отпескоструенной поверхности цинкнаполненной грунтовкой на полиуретановой основе ЦИНОТАН.

При втором способе подготовки поверхности (с грунтовкой ЦИНОТАН) гидроизоляционный слой исследуемого полимерного покрытия наносили как с грунтовкой на основе ПММА, так и без нее.

Для каждого варианта испытаний было изготовлено по 3 образца-близнеца.

В результате испытаний было установлено, что при всех вариантах подготовки поверхности металла не произошло отрыва гидроизоляции при максимальном значении показания динамометра, соответствующего 100 кгс (5 кгс/см²).

Таким образом, адгезия «на отрыв» гидроизоляционного слоя исследуемого полимерного покрытия в несколько раз превышает нормативный показатель при всех примененных способах подготовки поверхности.

Адгезия «на отрыв» при всех способах подготовки поверхности составила 5 кгс/см при нормативном значении 2 кгс/см.

4.3 Определение напряжений сдвига в системе металл- гидроизоляция-полимерное покрытие

Испытания проводили по методике ОАО ЦНИИС. Были изготовлены специальные образцы – металлические пластины из низколегированной стали 15ХСНД, применяемой в мостостроении, размером 100x150 мм, толщиной 12 мм.

На отпескоструенную поверхность образцов наносили трехслойное полимерное покрытие площадью 100x100 мм².

Схема испытаний представлена на рисунке 1.

Элементом, передающим сдвиговые усилия Т, служила вспомогательная металлическая пластина, приклеиваемая к верхнему слою полимерного покрытия kleящей мастикой на основе ПММА.

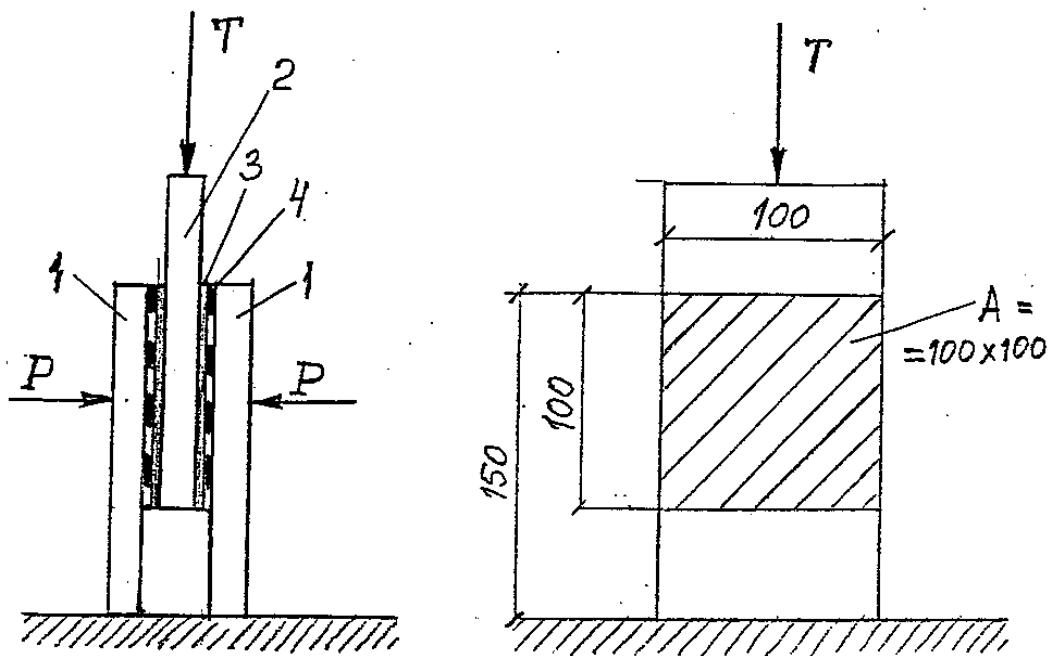
Образцы стягивали болтами, прикладывая усилия Р, имитирующие силу давления колеса на соответствующую рабочую площадь.

Испытания проводили, используя гидравлический пресс МУП-20 и индивидуальную нестандартную оснастку.

В результате испытаний установлено, что сдвиг произошел по среднему гидроизоляционному слою; сила сдвига составила:

$$R_s = \frac{10700 \text{ кгс}}{400 \text{ см}^2} = 26,75 \text{ кгс/см}^2,$$

что в 18 раз превышает нормативный показатель.



1 – испытуемые металлические пластины; 2 – вспомогательная пластина;
 3 – kleящая мастика на основе ПММА; 4 – тонкослойное полимерное покрытие;
 Т – усилие сдвига; Р – сжатие пластин хомутом; А – рабочая площадь

Рисунок 1 – Схема испытания тонкослойного полимерного покрытия на сдвиг по
 отношению к металлической поверхности

4.4 Определение эксплуатационных характеристик покрытия: износа путем истирания и коэффициента сцепления до и после испытаний на износ; усталостной долговечности при динамическом изгибе

Для испытаний было изготовлено 6 образцов в виде призм площадью 40x160 мм, толщиной от 16 до 18 мм из полимерного материала, соответствующего третьему верхнему слою покрытия с втопленной кварцевой крошкой.

Методики испытаний

4.4.1 Испытания на износ и определение коэффициента сцепления проводили по методике ВСН 27-76. Для испытаний использовали образцы №№ 1-4. После определения объемной массы материала, образцы №№ 3 и 4 насыщали водой под вакуум по ГОСТ 12801-98 и испытывали в водонасыщенном состоянии; образцы №№ 1-2 испытывали в состоянии нормальной влажности, соответствующей равновесной влажности воздуха.

При испытаниях на износ образцы помещали в обойму прибора ЛКИ-3, обеспечивая равномерную передачу на них нагрузки из расчета 440 кг/см². По диску прибора распределяли одномерный увлажненный кварцевый песок и производили истирания образцов.

Базовым циклом испытаний принято 560 оборотов, что соответствует примерно 10⁴ проходам колеса на колесном стенде при осевой нагрузке 13 тс.

Определение коэффициента сцепления колеса с мокрым покрытием проводили на маятниковом приборе МП-3 при +20 °С по увлажненной поверхности образцов как в водонасыщенном состоянии, так и в состоянии нормальной влажности. Затем по корреляционному графику определяли значение φ , соответствующее условиям эксплуатации покрытия, стандартизованным прибором ПКРС-2.

4.4.2 Испытания на усталостную долговечность при динамическом изгибе проводили по методике ГП РосдорНИИ на приборе ФР-2 (флексометр). Режим испытания соответствует схеме центрального изгиба балки при постоянной амплитуде с частотой 14,5 гц. Испытания проводили в условиях критического для асфальтобетона циклического прогиба 0,52 мм (что соответствует относительной деформации порядка 0,0037) при температуре –16 °С.

Для испытаний использовали образцы-призмы № 5 и 6 размером соответственно 16x4x1,45 см и 16x4x1,60 см, поэтому для проведения их по высоте к равному поперечному сечению со стандартными асфальтобетонными образцами, имеющими размеры 16x4x2,5 см, в результате испытаний вводился поправочный коэффициент 4,63.

Результаты испытаний

Результаты испытаний приведены в таблицах 4-6 и приложении Б.

Таблица 4 – Физико-механические характеристики образцов

№№ образцов	Относительная плотность, г/см ³	Водонасыщение, % по объему*	Средняя толщина образцов, мм	
			Начальная	Конечная
1	1,85	-	18,33±0,44	17,17
2	1,85	-	18,33±0,44	17,30
3	1,87	0,4	17,00±0,33	15,90
4	1,86	0,5	17,17±0,36	16,01
5	1,88	-	14,50±0,40	-
6	1,86	-	16,00±0,35	-

* Водонасыщение определяли в вакуум-приборе в соответствии с требованиями ГОСТ 12801-98 для горячих асфальтобетонов

Таблица 5 – Эксплуатационные характеристики покрытия

№№ образцов	Коэффициент сцепления, φ		Износ по массе, г/см ²	Усталостная долговечность, N, циклы
	Начальный	Конечный		
1	0,58	0,54	0,06	-
2	0,53	0,47	0,07	-
3	0,52	0,50	0,07	-
4	0,52	0,52	0,08	-
5	-	-	-	3472
6	-	-	-	4514

Таблица 6 – Требования нормативных документов

Коэффициент сцепления, φ, для затрудн. условий движения при скорости 60 км/час по СНиП 2-Д-5-85/ВСН 27-76		Износ водонасыщенных образцов по массе, г/см ² , по ВСН 27-76		Водонасыщение, % по объему по ВСН 27-76 / по ГОСТ 3128-97 для типа Д	Усталостная долговечность при динамическом изгибе, % от значения для стандартного асфальтобетона
начальный	конечный	более 2000 авт/сутки	менее 1000 авт/сутки		
0,50/0,50	0,40/0,45	Не более 0,20	Не более 0,40	Не более 4/1-4	Не менее 95

Примечания:

- Износ по толщине слоя не нормируется.
- Нормативов по водонасыщению по ВСН 27-767 дан для тонких дорожных слоев из смесей типа А, т.е. содержание в составе смеси зерен крупнее 1,25 мм должно быть не менее 40 % по массе.
- Базовое значение усталостной долговечности стандартного асфальтобетона принято для затрудненных условий движения.

4.4.3 Показатель износостойкости полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата почти в 3 раза превышает соответствующий нормативный показатель к дорожным покрытиям из асфальтобетона для затрудненных условий движения (интенсивность более 2000 авт/сутки). Однако следует отметить, что при испытаниях на износ после 56 оборотов диска (0,1 от базового цикла) наблюдали разрушение кварцевой крошки в покрытии.

4.4.4 Усталостная долговечность полимерного покрытия при динамическом изгибе в критических для стандартных асфальтобетонов условиях (относительная деформация прогиба 0,0037 и температура –16 °С) более чем на порядок превышает нормативный показатель для асфальтобетонного покрытия.

4.4.5 По водонасыщению материал может быть отнесен к категории литьих смесей: водонасыщение на порядок ниже по сравнению с плотным асфальтобетоном.

4.4.6 Коэффициент сцепления соответствует требованиям нормативных документов как до, так и после испытаний на истираемость для образцов нормальной влажности и водонасыщенных.

4.5 Исследование стойкости покрытия к комплексному воздействию климатических факторов

Исследования проводили в соответствии со стандартами на ускоренные испытания анткоррозионных и гидроизоляционных материалов по ГОСТ 9.401-91 и ГОСТ 18956-73.

Сущность метода состоит в циклическом воздействии агрессивных и климатических факторов на образцы тонкослойного полимерного покрытия и определении изменения защитных и прочностных свойств покрытия через заданное число циклов с оценкой срока службы.

Для определения защитных анткоррозионных свойств покрытие наносили на отпескоструенную поверхность образцов-пластин из стали –3 размером 70x150 мм.

Для определения прочностных свойств покрытия готовили образцы-балочки размером 40x40x160 мм. Было изготовлено по 3 образца-близнеца каждого варианта.

Образцы с покрытиями перед испытанием выдерживали в течение 7 суток в лабораторных условиях для завершения процессов формирования покрытий.

Ускоренные испытания на стойкость к воздействию климатических (в том числе агрессивных) факторов проводили для условий эксплуатации в открытой атмосфере умеренного и холодного климата по ГОСТ 9.401-91.

Последовательность перемещения, продолжительность выдержки в аппаратах и режим испытаний образцов в одном цикле приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Последовательность перемещения и время выдержки образцов в аппаратах в одном цикле при ускоренных климатических испытаниях по ГОСТ 9.401-91, метод 6

Аппаратура	Режим испытаний		Продолжительность выдержки в одном цикле, час
	температура, °C	относительная влажность, %	
Камера влаги	40±2	97±3	2
Камера сернистого газа (конц.(5±1)мг/м ³)	40±2	97±3	2
Камера холода	-(30±2)	не норм.	6
Аппарат искусственной погоды, режим орошения 3-17, УФ- излучение	60±3	не норм.	5
Камера холода	-(60±3)	не норм.	3
Выдержка на воздухе	15-30	не более 80	6
Всего 1 цикл		24 часа	

После 40 и 60 циклов испытаний на воздействие климатических факторов были проведены испытания по определению предела прочности образцов на сжатие и растяжение при изгибе.

Установлено, что по показателям предела прочности на сжатие, а также предела прочности и расчетного сопротивления на растяжение при изгибе испытания дали те же результаты, что и первоначальные (см. таблицу 2). Характер разрушения пластический.

Металлическая поверхность под покрытием после 60 циклов испытаний оказалась чистой, блестящей без следов коррозии.

На основании проведенных испытаний можно сделать вывод, что долговечность полимерного покрытия по ортотропной плите при эксплуатации в условиях умеренного и холодного климата (северное исполнение) может составить 10 лет и более.

5 Анализ свойств системы полимерного покрытия на основе ПММА по результатам лабораторных исследований

Технические характеристики полимерного покрытия на основе ПММА, полученные в результате лабораторных исследований, и соответствующие значения нормативных показателей для асфальтобетонного покрытия и общих технических требований к тонкослойному покрытию мостового полотна представлены в сводной таблице 8.

Как следует из таблицы, полимерное покрытие на основе полиметилметакрилата имеет высокие механические и физико-химические характеристики.

Таблица 8 – Технические характеристики тонкослойного полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата (ПММА) и соответствующие значения нормативных показателей для асфальтобетонного покрытия и технических требований к тонкослойному полимерному покрытию мостового полотна

№№	Наименование показателей	Методы испытаний	Значения показателей		для полимерного покрытия на основе ПММА
			нормативные для асфальтобетона	общие для полимерного покрытия	
1.	Водонасыщение, % по объему	ГОСТ 12801-98	1-4	≤1	0,45
2.	Предел прочности при сжатии при температуре 20 ± 5 °С, МПа (кгс/см ²)	ГОСТ 10180-78	2,2 (22)	≥12 (120)	60 (600)
3.	Расчетное сопротивление при изгибе при коэффициенте надежности по материалу $\gamma_{tp} = 1,5$, МПа (кгс/см ²)	ГОСТ 10180-78	-	≥10 (100)	11 (110)
4.	Износ (истираемость) покрытия по массе:				
	для интенсивности движения более 2000 авт/сутки, г/см ²	ВСН 27-76	≤0,20	≤0,1	0,07
	для интенсивности движения менее 1000 авт/сутки, г/см ²	ВСН 27-76	≤0,40	≤0,2	0,07
5.	Коэффициент сцепления, ф	ВСН 27-76	0,5-0,45	≥0,45	0,54-0,51
6.	Усталостная долговечность при динамическом изгибе (t = -16 °С) цикла	Методика ГП РосдорНИИ	100-180	≥400	3500-4500
7.	Напряжение сдвига в системе металл-гидроизоляция-полимерное покрытие, МПа (кгс/см ²)	Методика ОАО ЦНИИС	-	≥0,15(1,5)	2,675(26,75)
8.	Адгезия к поверхности металла:				
	- на отрыв, МПа (кгс/см ²)	ВСН 32-81 ГОСТ 26589-94		≥0,3 (3,0)	>0,5 (5,0)*
	- на отрыв, кгс/см			≥0,2	5,0
9.	Химическая стойкость	ГОСТ 9.030	Устойчивость к действию кислых, щелочных, солевых растворов и нефтепродуктов		
10.	Долговечность – стойкость к комплексному воздействию климатических (в т.ч. агрессивных) факторов, циклы	ГОСТ 9.401-91 ГОСТ 18956-73	≥50	60	

* Примечание. Значение показания ограничено шкалой динамометра.

Значение показателя прочности на сжатие в 5 раз превышает значение нормативного для полимерного покрытия и в 27 раз значение нормативного показателя для асфальтобетона.

Усталостная долговечность при динамическом изгибе в критических для стандартных асфальтобетонов условиях (относительная деформация прогиба 0,0037 и температура –16 °С) более, чем на порядок выше нормативных показателей как для асфальтобетона, так и для полимерного покрытия. Такое же соотношение показателей напряжения сдвига в системе металл- гидроизоляция- полимерное покрытие для покрытия на основе ПММА и нормативного.

Это позволяет покрытию на основе ПММА выдерживать большие деформации настильного листа ортотропной плиты от воздействия общих и местных динамических нагрузок, а также усилия сдвига, возникающие при движении автотранспорта и резком его торможении.

Остальные технические показатели или в несколько раз превышают нормативные, или практически соответствуют им.

6 Заключение

6.1 В результате анализа свойств системы полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата по его техническим характеристикам, установленным в результате лабораторных исследований, можно сделать вывод, что исследованная система покрытия удовлетворяет технически требованиям к тонкослойным полимерным покрытиям по ортотропной плите мостового полотна.

6.2 Отличительными особенностями системы полимерного покрытия на основе ПММА являются:

- высокие показатели механических, физико-химических и эксплуатационных свойств;
- высокая долговечность;
- технологичность выполнения работ по устройству системы покрытия;
- технологичность выполнения ремонтных работ.

6.3 Разработанную и испытанную систему тонкослойного полимерного покрытия на основе полиметилметакрилата рекомендуется применить в опытном порядке на реальных объектах – металлических автодорожных мостах с ортотропной плитой проезжей части в различных климатических условиях при любой агрессивной среде.

6.4 На опытных объектах должна быть отработана технология устройства тонкослойных полимерных покрытий и, в случае получения положительных результатов, разработан соответствующий технологический регламент, как основа для последующего создания централизованного нормативного документа.

Список использованных источников

- 1 Кельчевский К.Д., Ликверман А.И., Макаров В.Н., Распоров О.Н., Овчинников И.Г. О проблеме устройства дорожной одежды на мостах с ортотропной плитой. «Транспортное строительство», № 7, 2001.
2. Сахарова И.Д. Конструкция одежды на мостах с ортотропными плитами. «Автомобильные дороги», № 4, 1984.
3. Информационные материалы Бельгийской фирмы RPM, 2000 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ к тонкослойным полимерным покрытиям мостового полотна по металлической ортотропной плите

1. Исходная поверхность – металлическая ортотропная плита с антикоррозионным грунтовочным покрытием.
2. Толщина полимерного покрытия:
 - на автодорожных, городских и разводных мостах 15-20 мм;
 - на пешеходных мостах и тротуарах 10-15 мм;
3. Предел прочности при сжатии при температуре $20\pm5^{\circ}\text{C}$ $\sigma_{\text{в}} \geq 120 \text{ кгс/см}^2$.
4. Расчетное сопротивление при изгибе $R \geq 10 \text{ (100) МПа (кгс/см}^2)$ при коэффициенте надежности по материалу $\gamma_m = 1,5$.
5. Износ (истираемость) покрытия по массе:
 - для интенсивности движения более 2000 авт./сутки – не более 0,1 г/см²;
 - для интенсивности движения менее 1000 авт./сутки – не более 0,2 г/см².
6. Коэффициент сцепления (сопротивления скольжению) $\varphi \geq 0,45$.
7. Усталостная долговечность при динамическом изгибе (по методике ГП РосдорНИИ) – не менее 400 циклов.
8. Сопротивление сдвигу в системе металл – гидроизоляция – полимерное покрытие, не менее 1,5 кгс/см².
9. Химическая стойкость – устойчивость к жидким агрессивным средам (растворам солей, кислот, щелочей, нефтепродуктам).
10. Долговечность – стойкость к комплексному воздействию климатических факторов – не менее 10 лет.

Заведующий лабораторией
металлических мостов НИЦ «Мосты»

А.В. Кручинкин

Старший научный сотрудник, к.т.н.

К.М. Акимова

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Протоколы испытаний эксплуатационных свойств покрытия: износа,
коэффициента сцепления, усталостной долговечности
при динамическом изгибе

Приложение 1

Результаты испытаний на износ и коэффициент сцепления

Табл. 1

Коэффициент сцепления ϕ

№№ образцов	Начальные значения	Значения коэффициента сцепления ϕ при количестве оборотов				
		56	168	280	392	560
1	0,58	0,58	0,57	0,55	0,55	0,54
2	0,53	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47
3	0,52	0,52	0,50	0,50	0,50	0,50
4	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52

Табл. 2

Истирание (износ) образцов по высоте (Н мм)

№№ образцов	Высота образца (Н мм) при количестве оборотов				
	56	168	280	392	560
1	<u>0,16</u> 0,0025	<u>0,46</u> 0,0072	<u>0,76</u> 0,0119	<u>1,03</u> 0,0161	<u>1,16</u> 0,0181
2	<u>0,47</u> 0,0068	<u>0,70</u> 0,0101	<u>0,70</u> 0,0101	<u>0,80</u> 0,0116	<u>1,03</u> 0,0149
3	<u>0,10</u> 0,0016	<u>0,54</u> 0,0084	<u>0,70</u> 0,0109	<u>0,90</u> 0,0141	<u>1,10</u> 0,0172
4	<u>0,16</u> 0,0020	<u>0,46</u> 0,0071	<u>0,76</u> 0,0113	<u>1,03</u> 0,0144	<u>1,16</u> 0,0175

Примечание: Числитель – абсолютное изменение высоты, мм
Знаменатель – в мм/см²

Табл. 3

Истирание (износ) образцов по массе (Р г)

№№ образцов	Истирание образца (Р г)				
	При количестве оборотов:				
56	168	280	392	560	
1	<u>0,17</u> 0,0026	<u>1,69</u> 0,0264	<u>1,74</u> 0,0272	<u>2,81</u> 0,0439	<u>3,75</u> 0,0586
2	<u>0,49</u> 0,0071	<u>1,30</u> 0,0188	<u>2,23</u> 0,0323	<u>3,18</u> 0,0461	<u>4,58</u> 0,0663
3	<u>0,74</u> 0,0116	<u>1,58</u> 0,0247	<u>2,03</u> 0,0317	<u>3,09</u> 0,0483	<u>4,45</u> 0,0695
4	<u>0,86</u> 0,0133	<u>1,79</u> 0,0277	<u>3,02</u> 0,0467	<u>3,96</u> 0,0612	<u>5,51</u> 0,0852

Примечание: Числитель - абсолютное изменение массы образца, г

Знаменатель - в $\text{г}/\text{см}^2$

Испытания проведены:

Ст. научн. сотр.,
канд. техн. наук

Н.С. Полосина-Никитина

Руководитель группы,
инженер

В.И. Корюкин

**Усталостная долговечность полимерного материала
ОАО «ЦНИИСМосты» при динамическом изгибе.**

Испытание проведено с целью сравнительной оценки в лабораторных условиях ресурса усталостной долговечности образцов из полимерного материала ОАО « ЦНИИСМосты » в условиях критического для асфальтобетона циклического прогиба 0,52мм (что соответствует относительной деформации порядка 0,0037) при температуре испытания - 16°C.

Образцы - балочки из полимерного материала « ЦНИИСМосты » имели размеры №5 -16 x 4 x 1,45 см и №6- 16 x 4 x 1,60см, поэтому для приведения их по высоте к равному поперечному сечению с асфальтобетонными образцами, имеющими размеры 16 x 4 x 2,5 см, в результаты испытания вводился поправочный коэффициент (4,63).

Результаты испытания приведены ниже в таблице.

Табл. 1

**Усталостная долговечность (число циклов до разрушения)
образцов-балочек полимерного материала ОАО "ЦНИИСМосты"**

№ образца	Высота образца (см)	Время до разрушения образца (мин.)	Число циклов до разрушения, числитель – значение без поправки на высоту сечения образца, знаменатель – с поправкой	Средний диапазон (число циклов) для стандартных асфальто-бетонов (16,0x 4,0x 2,5 см)
5	1,45	4,0	3472/16075	
6	1,60	5,2	4514/20900	
Сред	1,525	4,6	3993 / 18487	100-180

Вывод: Результаты испытания, проведенного в критических для стандартных асфальтобетонов условиях (относительная деформация прогиба 0,0037 и температура - 16°C) свидетельствуют о том, что показатели усталостной долговечности полимерного материала ОАО "ЦНИИСМосты" в этих условиях превышают показатели стандартных асфальтобетонов в среднем в 40 раз, а при приведении образцов к равной высоте более, чем в 100 раз.

Испытание провел: ст. научн.сотр .

Штромберг А.А.