
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Научная статья

УДК 625.7/.8

EDN: EUOLKT



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРБЕТОНА
ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПЕРЕХОДНЫХ ЗОН
ДЕФОРМАЦИОННЫХ ШВОВ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Сергей Геннадьевич Беспалов¹✉
Владимир Леонидович Мартинсон²

^{1,2}ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия
¹bespalov@rosdornii.ru✉

Аннотация: В статье представлен пример лабораторного подтверждения эффективности применения полимербетона при устройстве переходных зон деформационных швов мостовых сооружений. Материал пришовной зоны обладает более высокими характеристиками, чем асфальтобетонное покрытие, препятствует распространению колебательности к металлическому окаймлению деформационного шва, продлевая срок его службы и, как следствие, увеличивая межремонтные интервалы. Такую защиту деформационных швов рекомендуется применять на всех категориях автомобильных дорог, особенно на магистралях с высокой интенсивностью движения.

Для решения данной задачи может быть использован прочно-упругий состав, разработанный для устройства пришовной зоны деформационного шва. Отличительной особенностью данного состава является исключение ударно-динамического воздействия от колес транспорта с целью защиты металлических окаймлений деформационных швов. Данное техническое решение может применяться при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте мостовых сооружений с железобетонными и металлическими пролетными строениями.

Ключевые слова: мостовые сооружения, срок службы, технико-экономическое обоснование, полимербетон, деформационный шов, пришовная зона, лабораторное сопровождение.

Для цитирования: Беспалов С.Г., Мартинсон В.Л. Исследование полимербетона при устройстве переходных зон деформационных швов мостовых сооружений // Дороги и мосты. 2024. № 51/1. С. 193-214.

ROAD CONSTRUCTION MATERIALS

Original article

RESEARCH OF POLYMER CONCRETE WHEN CONSTRUCTING TRANSITION ZONES OF BRIDGE EXPANSION JOINTS

Sergey G. Bepalov¹✉
Vladimir L. Martinson²

^{1,2}FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia
¹bepalov@rosdornii.ru✉

Abstract: *This article presents an example of laboratory confirmation of the effectiveness of using polymer concrete when constructing transition zones of expansion joints of bridge structures. The material of the seam zone, having higher characteristics than the asphalt concrete pavement, prevents the development of rutting to the metal edging of the expansion joint, prolonging its service life and, as a result, increasing the repair intervals. Such protection of expansion joints is recommended to use on all categories of roads, especially on high volume traffic roads.*

The solution to this problem can be the developed strong-elastic composition for constructing the seam zone of the expansion joint. A distinctive feature of this composition is the elimination of shock-dynamic effect from transport wheels in order to protect the metal edging of expansion joints. This technical solution can be used on bridge structures with reinforced concrete and metal spans during construction, reconstruction and major repairs.

Keywords: *bridge structures, life time, feasibility study, polymer concrete, expansion joint, seam zone, laboratory support.*

For citation: Bepalov S.G., Martinson V.L. Research of polymer concrete when constructing transition zones of bridge expansion joints // Roads and Bridges. 2024; (51/1): 193-214. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время доминирующим материалом для строительства автомобильных дорог с твердым покрытием является асфальтобетон. Наряду с этим все большую популярность набирает цементобетон, особенно при новом строительстве и реконструкции автомобильных дорог. Оба указанных материала обладают как рядом преимуществ, так и недостатков. Рассмотрим основные из них.

Применение асфальтобетона в качестве материала покрытия автомобильной дороги относительно просто в части организации технологического процесса. В нашей стране имеется достаточное количество подрядных организаций, обладающих опытом качественного выполнения работ по устройству покрытий из асфальтобетонов, что с той же уверенностью нельзя утверждать относительно цементобетонов. Кроме того, асфальтобетоны обладают высокой ремонтпригодностью – открытие движения возможно уже через несколько часов после завершения ремонтных работ. Асфальтобетоны обладают хорошими характеристиками шероховатости и ровности, что положительно отражается на комфорте проезда по дороге с таким покрытием [1].

Однако все это может быть реализовано только при неукоснительном соблюдении установленных требований на каждом этапе производства работ: от выбора материалов для строительства и подбора состава асфальтобетона до соблюдения технологии на этапе производства, транспортирования, укладки и уплотнения асфальтобетона. К сожалению, даже если рассматривать только один из этих критериев, а именно выбор материалов для производства асфальтобетонов, то он не всегда соблюдается в пользу качества. Благодаря вяжущему, используемому для асфальтобетонов, по разным оценкам, обеспечивается до 50 % качества готового асфальтобетона. Принимая во внимание обширную территорию Российской Федерации, а также связанных с этим обстоятельством логистических проблем и необходимостью модифицирования большинства вяжущих для достижения требуемых технических характеристик для различных климатических зон, следует отметить, что, к сожалению, не во всех регионах и не всегда применяется битум, обладающий необходимыми свойствами для конкретного региона эксплуатации автомобильной дороги. Таким образом, возможно снижение межремонтных сроков как за счет преждевременного трещинообразования с дальнейшим разрушением в холодный период года, так и пластических деформаций, в первую очередь из-за колееобразования в теплый период [2-12].

Отсутствием такой явной зависимости физико-механических свойств материала от климатических условий эксплуатации цементобетона выгодно отличаются от асфальтобетонов. Цементобетон обладает значительно большей прочностью относительно асфальтобетона, а также не подвержен влиянию повышенных температур, что исключает образование пластических деформаций и колейности в летний период. При этом в настоящее время современные технологии и широкое распространение химических добавок позволяют обеспечить достижение цементобетонами показателей долговечности в части морозостойкости, которые значительно превышают аналогичные показатели для асфальтобетонов. Кроме этого, неоспоримым преимуществом цементобетона является его высокая прочность и общая жесткость дорожных одежд с цементобетонными покрытиями, способными выдерживать нагрузки, значительно превышающие проектные для асфальтобетона. За счет жесткости цементобетона нагрузка распределяется равномерно, тем самым значительно снижается ее воздействие на нижележащие слои дорожной конструкции. Все это позволяет достичь большего срока службы цементобетонного покрытия. В отечественной и зарубежной практике имеются примеры, когда срок службы таких покрытий до капитального ремонта достигал 50 и более лет [13-16].

Безусловно, наряду с преимуществами, некоторые указанные свойства цементобетона имеют и негативные последствия при устройстве покрытий автомобильных дорог из такого материала. Так, жесткость цементобетона обуславливает необходимость устройства деформационных швов, что до некоторой степени усложняет процесс строительства, наряду с повышением требований к компетенции проектировщиков и строителей. Кроме того, жесткость цементобетона может влиять на ровность покрытия и повышение уровня шума при проезде таких участков, что в конечном итоге приводит к снижению общего комфорта при эксплуатации.

Однако самая существенная проблема, касающаяся покрытий из цементобетона, связана с необходимостью капитальности строительства и низкой ремонтпригодностью. Проектирование жестких и нежестких дорожных одежд принципиально отличается друг от друга, в первую очередь в части основания. Для жесткого цементобетонного покрытия требуется жесткое основание, как правило, также на основе неорганического вяжущего. Подавляющее большинство дорожных одежд действующих автомобильных дорог являются нежесткими, а текущие ремонты проводятся только с заменой слоя покрытия. Большинство капитальных ремонтов осуществляется или с незначительной заменой основания, или такой

вид работ даже не предусматривается. Укладка цементобетонного покрытия на нежесткое основание связана со значительными рисками появления силовых трещин на цементобетонном покрытии из-за различий в функционировании нежесткого основания и жесткого покрытия. В связи с этим, устройство цементобетонного покрытия на нежестком основании является технически нецелесообразным и экономически неэффективным. Таким образом, устройство долговечного покрытия из цементобетона зачастую возможно только при новом строительстве или существенной реконструкции дороги с переустройством основания.

Постановка задачи

В связи с описанными выше техническими недостатками асфальтобетонных и цементобетонных покрытий, в профессиональном дорожном сообществе и в мостостроении долгие годы продолжается поиск альтернативных материалов, которые могли бы одновременно обладать преимуществами и при этом были бы лишены недостатков «классических» покрытий автомобильных дорог. Одним из таких альтернативных вариантов покрытий может стать полимербетон.

Для строительной сферы полимербетон материал не новый. Его достаточно широко используют в различных областях, но в дорожном хозяйстве на современном этапе наибольшее распространение полимербетон получил в качестве материала для устройства пришовных зон деформационных швов на искусственных сооружениях (рис. 1).



Рис. 1. Полимербетонное покрытие пришовной зоны деформационного шва путепровода

Следует отметить, что из-за отсутствия нормативно-технической базы на государственном или национальном уровнях происходит разработка производителями работ собственных документов, таких как ТУ или СТО, а ввиду того, что данная область еще недостаточно развита и мало изучена, зачастую нормируются достаточно разрозненные показатели.

Методы и исследования

В лаборатории ФАУ «РОСДОРНИИ» в 2023 г. были проведены испытания нескольких материалов различного производства. На основании полученных данных было проведено сравнение некоторых показателей данных материалов с аналогичными характеристиками типовых асфальтобетонов и цементобетонов, а также их взаимное сравнение.

Приведенные далее коммерческие названия исследуемых материалов представлены в обезличенном виде (полимербетоны Т, М, Р, В). Для большинства исследуемых полимербетонов проектная прочность устанавливается в возрасте, превышающем или на уровне 7 суток. Однако твердение и набор прочности этих материалов происходит достаточно интенсивно, и уже через сутки показатели прочности некоторых составов могут достигать проектных значений, что уже положительно отражается на ремонтпригодности подобных материалов.

В лаборатории испытания по определению прочности проводились по методике ГОСТ 10180-2012 «*Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам*» на образцах в возрасте 7 суток при стандартных для такого испытания условиях. Кроме того, некоторые материалы были испытаны после термостатирования при повышенных и пониженных температурах.

Результаты испытаний при стандартной (20 °С) и нестандартной температурах представлены в **табл. 1, 2** соответственно. Испытания проводились на специально отформованных образцах-кубах с ребром 100 мм на испытательном прессе.

Таблица 1

*Прочность при сжатии и растяжении при изгибе
(температура испытания 20°С)*

<i>Условное обозначение</i>	<i>Средняя плотность образцов, кг/м³</i>	<i>Средняя прочность на сжатие, МПа</i>	<i>Средняя прочность на растяжение при изгибе, МПа</i>
<i>Полимербетон Т</i>	2017	18,0	8,75
<i>Полимербетон М</i>	2301	14,2	17,0
<i>Полимербетон Р</i>	2232	9,9	3,45
<i>Полимербетон В</i>	2031	28,5	12,89

Таблица 2

*Прочность при сжатии и растяжении при изгибе
(нестандартная температура испытания)*

<i>Условное обозначение</i>	<i>Температура образцов при испытании, °С</i>	<i>Средняя плотность образцов, кг/м³</i>	<i>Средняя прочность на сжатие, МПа</i>	<i>Средняя прочность на растяжение при изгибе, МПа</i>
Полимербетон М	60	2353	10,9	8,8
	20	2301	14,2	17,0
	- 60	2292	66,9	41,4
Полимербетон В	50	2045	19,4	9,29
	20	2031	28,5	12,89
	- 50	2016	63,0	24,64

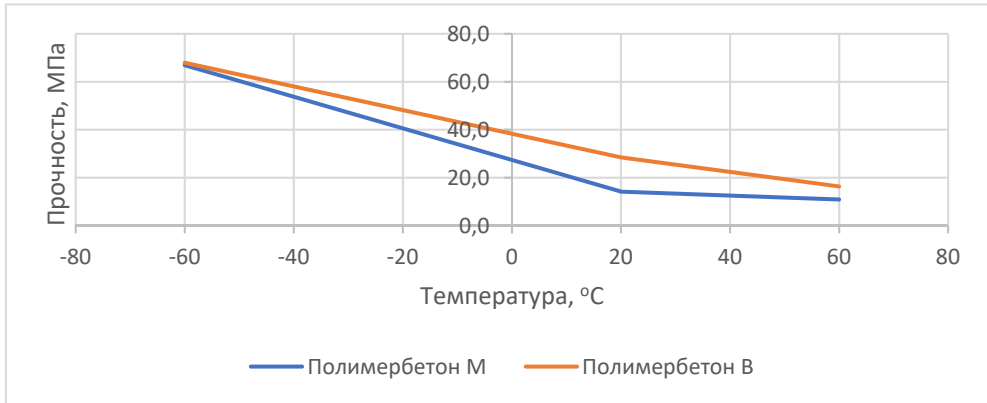


Рис. 2. График зависимости прочности на сжатие от температуры

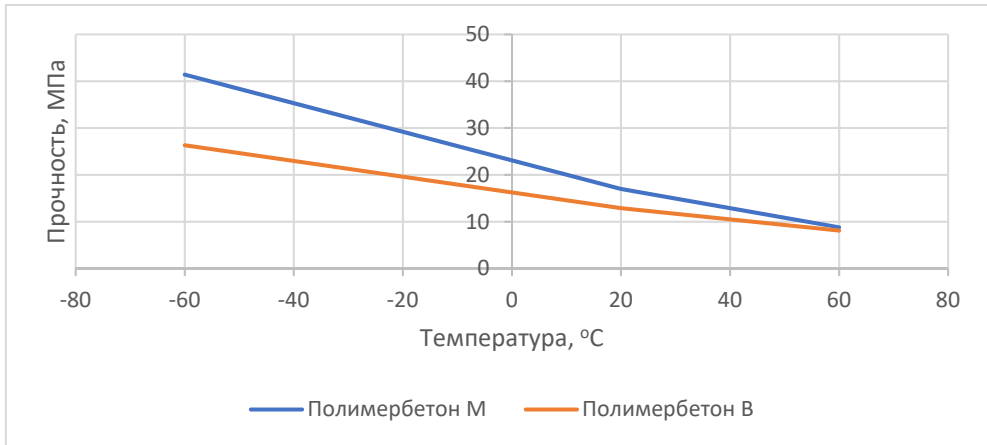


Рис. 3. График зависимости прочности на растяжение при изгибе от температуры

Из табл. 1 видно, что прочность на растяжение при изгибе для трех из четырех полимербетонных покрытий в несколько раз превышает типовые проектные требования для жестких покрытий (около 5 МПа).

Анализ табл. 2 и рис. 2, 3 показывает, что температура испытания влияет на прочностные характеристики полимербетонных покрытий, причём в достаточной степени линейно. Следует обратить особое внимание на изменение прочностных характеристик при положительных температурах. Для полимербетона В при испытаниях при 20 °С и 50 °С прочность на сжатие

снизилась на 47 %, а для полимербетона М – всего на 21 % (с учетом линейной интерполяции до 50 °С).

Для сравнения в соответствии с требованиями устаревшего, но до сих пор действующего ГОСТ 31015-2002 для щебеночно-мастичного асфальтобетона допускается снижение прочности в среднем на 244 % (с 2,23 МПа при 20 °С до 0,65 МПа при 50 °С). Для цементобетона такие требования не установлены, так как влияние указанного температурного диапазона на прочностные характеристики практически ничтожно.

Кроме того, был проведен ряд испытаний по определению некоторых показателей, определяемых, как правило, для асфальтобетонов и цементобетонов. Ниже представлены результаты данных испытаний.

Таблица 3

Результаты испытаний физико-механических показателей полимербетонов

Показатель	Методика испытания	Результаты испытаний			
		Полимербетон Т	Полимербетон М	Полимербетон Р	Полимербетон В
Водонасыщение, %	ГОСТ 12801	0,2	0,2	0,1	0,1
Истираемость (Prall-test), см ³	ГОСТ Р 58406.5	2	3	0	5
Средняя глубина колеи, мм	ГОСТ Р 58406.3	-	-	-	0,1
Коэффициент водостойкости TSR	ГОСТ Р 58401.18	-	-	-	0,96
Водонепроницаемость	ГОСТ 12730.5	W20	-	-	-

Анализ результатов испытаний, приведенных в табл. 3, показывает, что полимербетоны характеризуются достаточно низким показателем водонасыщения, что оказывает положительное влияние на

низкотемпературные показатели долговечности. Для одного из материалов проводилось определение коэффициента водостойкости TSR по аналогии с асфальтобетоном. Результаты подтвердили высокие показатели морозостойкости полимербетонов (0,96 при требовании 0,85). Для более детального изучения низкотемпературных свойств полимербетонов планируется также определение морозостойкости по стандартам для цементобетонов.

Однако влияние знакопеременных и низких температур является далеко не единственным фактором разрушения покрытий автомобильных дорог, возникающим в зимний период. Актуальной проблемой для нашей страны была и остается истираемость покрытия в результате физического воздействия на него шипованных шин автомобилей. Единственной стандартизированной методикой определения данного воздействия на покрытие в России, Европе и США остается испытание на установке Prall-test. Потеря объема всех представленных образцов полимербетонов не превышает 5 см^3 , а для одного из них даже зафиксировано практически полное отсутствие повреждений после испытания (**рис. 4**). В действующих нормативно-технических документах для покрытий из асфальтобетонов и цементобетонов для первого из трех классов установлено требование к истираемости на уровне до 25 см^3 . Для сравнения лучшие из асфальтобетонов могут достигать показателей по истираемости до $15\text{-}20 \text{ см}^3$, цементобетонов – в диапазоне от 20 до 30 см^3 .

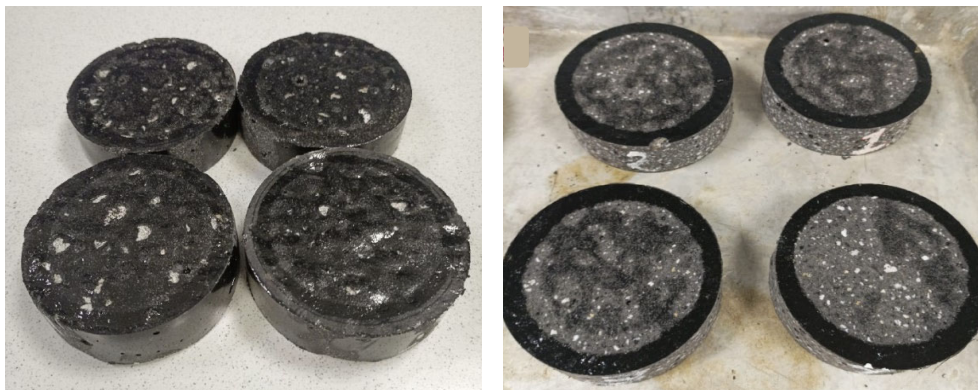


Рис. 4. Образцы полимербетонов после испытания на истираемость

Как указывалось ранее, пластические деформации при повышенных температурах в сочетании с высокими интенсивными нагрузками в

летний период – один из наиболее значимых негативных факторов для асфальтобетонов.

При этом для полимербетона средняя глубина колеи после стандартных 10 000 циклов (20 000 прокатываний нагруженного колеса при температуре среды испытания 60 °С) составляет всего 0,1 мм (в пределах погрешности измерения), т.е. практически отсутствует. Этот факт указывает на высокий потенциал долговечности полимербетонов относительно большинства асфальтобетонов при эксплуатации при повышенных температурах.

Помимо этого, одним из предметов исследования свойств полимербетонов стало изучение адгезионных показателей этих материалов, в первую очередь к асфальтобетону, цементобетону и металлу, ввиду того, что в настоящее время полимербетоны зачастую функционируют в качестве покрытия автомобильной дороги, а именно на участках сопряжения металлических деформационных швов, где, как правило, имеются все перечисленные материалы. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний по определению адгезии полимербетонов

<i>Основание</i>	<i>Результаты испытаний, МПа</i>		
	<i>Полимербетон Т</i>	<i>Полимербетон М</i>	<i>Полимербетон В</i>
Бетонное	3,49	-	3,33
Асфальтобетонное	1,39	-	0,80
Металлическое	Более 4,58	3,04	Более 4,00

Определение усталостной прочности при многократном изгибе проводилось по методике ГОСТ Р 58401.11-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения усталостной прочности при многократном изгибе». Сущность рассматриваемого в данной статье метода заключается в определении жесткости (модуля упругости) и усталостной прочности образца после приложения многократной синусоидальной нагрузки с постоянной деформацией.

При помощи нагрузочного устройства при испытаниях по данному методу на образец прикладывается многократная синусоидальная нагрузка при заданной частоте и температуре, при этом он подвергается четырехточечному изгибу при свободном вращении и горизонтальном поступательном движении во всех точках приложения нагрузки, а затем возвращается в исходное положение (т.е. с нулевым отклонением) в конце каждого цикла приложения нагрузки (рис. 5).

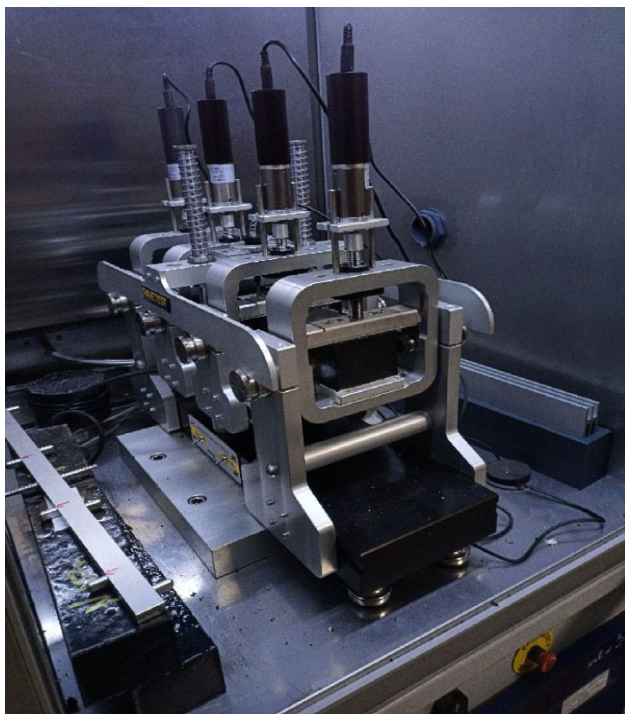


Рис. 5. Оборудование для проведения испытания на усталостную прочность

В результате испытаний получают начальную жесткость (модуль упругости) материала, определенную после 50 циклов приложения нагрузки, а также усталостную прочность, определяемую как цикл нагрузки, при котором жесткость испытуемого образца снижается на 50 % по отношению к начальной жесткости. Результаты испытаний полимербетонов, а также усредненные статистические данные ФАУ «РОСДОРНИИ» аналогичных испытаний других материалов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты испытаний материалов по определению динамического модуля упругости и усталостной прочности

<i>Материал</i>	<i>Начальный модуль упругости, МПа</i>	<i>Количество циклов до падения модуля жесткости в два раза</i>
Полимербетон М	2 710	Более 1 000 000
Полимербетон Р	476	Более 1 000 000
Полимербетон В	4 715	Более 1 000 000
Асфальтобетоны на немодифицированном вяжущем PG 64-22	3 200 – 3 400	11 000 – 16 000
Асфальтобетоны на модифицированном вяжущем PG 76-28	2 800 – 3 100	58 000 – 100 000
Асфальтобетоны на модифицированном вяжущем PG 70-28, PG 70-34	1 500 – 3 000	165 000 – 304 000
Цементобетоны для покрытий а/д	31 000 – 43 000	Более 1 000 000

Обсуждение результатов

Анализ данных из **табл. 5** показывает, что для подавляющего большинства асфальтобетонов в зависимости от качества применяемых заполнителей и вяжущего начальный модуль упругости колеблется в диапазоне от 1500 до 3400 МПа, а усталостная прочность не превышает 300 000 циклов. Поведение цементобетона принципиально отличается от

асфальтобетона в ходе таких испытаний. Его начальный модуль зависит от класса бетона и для типовых цементобетонных покрытий автомобильных дорог ввиду своей жесткости значительно превышает показатели асфальтобетонов и составляет в среднем около 37 ГПа. При этом определение усталостной прочности в данном контексте в целом не представляется целесообразным в силу того, что испытание занимает значительное время, а после проведения 1 000 000 циклов модуль упругости цементобетона практически не изменился.

Результаты испытаний полимербетонов показывают, что начальный модуль этих материалов находится примерно в пределах от 500 до 4500 МПа, что в целом сопоставимо с асфальтобетонами. При этом снижения модуля до 50 % от начального после 1 000 000 циклов также не наблюдалось.

На основании приведенных испытаний на усталостную прочность можно сделать вывод, что полимербетоны обладают одновременно преимуществами жестких и нежестких дорожных одежд. Модуль упругости находится на уровне нежестких материалов, например, асфальтобетона, что свидетельствует о его «гибкости» и возможности укладки в том числе на нежесткие основания. При этом уменьшения усталостной прочности, снижения модуля упругости после интенсивного воздействия от движения транспортных средств, в перспективе как минимум 1 000 000 циклов, не наблюдается. То есть при сопоставимом уровне модуля упругости асфальтобетонов и полимербетонов последние обладают потенциалом долговечности на уровне цементобетонов, фактически превышая асфальтобетон на несколько порядков.

С целью сопоставления максимально возможного количества параметров покрытий автомобильных дорог и сооружений на них было проведено исследование полимербетонов в части определения и сопоставления с другими материалами некоторых физико-механических показателей, определяющих не только качество и долговечность, но и безопасность автомобильных дорог.

Одним из таких параметров является сцепление колеса автомобиля с покрытием автомобильной дороги. Ввиду отсутствия достаточного количества участков дорожного покрытия для проведения натуральных испытаний, устроенных с использованием полимербетонов (участки пришовных зон очень малы для этих целей), испытания по определению коэффициента сцепления проводились на образцах в лабораторных условиях на маятниковом станке CRT-PENDULUM по методике EN 130036-4 «*Road and airfield surface characteristics – test method*». Усредненные результаты испытаний приведены в **табл. 6**.

Таблица 6

*Результаты испытаний материалов
по определению коэффициента сцепления*

<i>Тип материала</i>	<i>Среднее значение коэффициента сцепления (угла отклонения резинового маятника)</i>
Полимербетон М	55
Полимербетон Т	27
Полимербетон В	39
Щебеночно-мастичный асфальтобетон ЦМА-11	52
Цементобетон	35

По приведенным результатам испытаний коэффициента сцепления нельзя сделать однозначный вывод о преимуществах или недостатках полимербетонов по этому параметру. Во многом это объясняется тем фактом, что испытываемые полимербетоны имеют разную химическую и физическую структуру, а также различные типы поверхности: у одних полимербетонов заполнитель несколько выше уровня поверхности связующего полимера, а в других находится внутри, и поверхность остается практически глянцевой. Поэтому одни виды полимербетонов по уровню сцепления могут быть на уровне асфальтобетонов, а другие – не превышать значений для необработанной поверхности цементобетонов.

Следует отметить, что данные, приведенные в **табл. 6**, в целом отражают специфику влияния текстуры геометрии поверхности и способа ее устройства с изменением или без изменения взаимного положения и ориентации верхних выступов и граней элементов макрошероховатости между собой. Наряду с этим требуется решение специализированной задачи технического нормирования выступов макрошероховатости отдельно по показателям разновысотности, разноглубинности и неоднородности.

Таким образом, введение требований к макрошероховатости полимербетонов может стать одним из первых этапов разработки требований к данным материалам.

ВЫВОДЫ

Обобщив приведенные выше результаты исследований полимербетонов, можно сделать следующие выводы:

1. Прочностные характеристики полимербетонов на растяжение при изгибе в несколько раз превышают типовые проектные требования для жестких покрытий.
2. Влияние температуры эксплуатации на прочностные характеристики полимербетона оценивается примерно в 5 раз меньше, чем для асфальтобетона.
3. Водопоглощение полимербетонов предельно низкое, что обеспечивает высокий потенциал долговечности материала за счет снижения негативного воздействия воды на него.
4. Показатели морозостойкости по меньшей мере не ниже аналогичных показателей асфальтобетонов.
5. Истираемость полимербетонов от шипованных шин автомобилей значительно ниже аналогичных показателей асфальтобетонов и цементобетонов.
6. Колеобразование при испытаниях по стандартным методам отсутствует.
7. Адгезия полимербетонов к основным дорожно-строительным материалам находится на высоком уровне.
8. В части упруго-пластичных свойств полимербетоны обладают одновременно преимуществами и жестких, и нежестких дорожных одежд. При сопоставимом уровне модуля упругости асфальтобетонов и полимербетонов последние к тому же обладают потенциалом долговечности на уровне цементобетонов, фактически превышая асфальтобетон на несколько порядков.

Среди немногих отрицательных факторов, определяющих недостаточное распространение полимербетонов по сравнению с классическими покрытиями следует отметить два из них: неоднозначные показатели сцепления полимербетонного покрытия с колесом автомобиля и стоимость таких покрытий. При этом решение первой задачи особых сложностей не вызывает. На современном этапе существует целый ряд методов увеличения коэффициента сцепления, которые активно и достаточно успешно применяются при устройстве цементобетонных покрытий, в том числе, текстурирование поверхности путем нанесения поперечных насечек, устройство покрытия с обнаженным заполнителем (waschbeton). Однако проблема, связанная со снижением стоимости, является достаточно сложной. Поиск ее решения предстоит осуществить технологам в ближайшем будущем с целью обеспечения дальнейшего расширения

применения в дорожном хозяйстве такого качественного и перспективного материала, как полимербетон.

Одной из задач, несомненно, является нормирование свойств полимербетона. Приведенные в данной статье результаты испытаний по ряду стандартных методик, несомненно, могут быть использованы в качестве основы выработки единых требований к полимербетону в области переходных зон деформационных швов мостовых сооружений. Данные требования послужат критериями оценки качества конструкций из полимербетонных при проведении строительного контроля.

© Беспалов С.Г., Мартинсон В.Л., 2024

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Овчинников И.И. Систематизация и сравнительный анализ различных типов гидроизоляции, применяемых на автодорожных мостовых сооружениях / И.И. Овчинников, И.Г. Овчинников, Ш.Н. Валиев, С.В. Жаденова // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – № 5. – С. 56-513. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/56tvn513.pdf>. (дата обращения: 25.06.2023).
2. Овчинников И.Г. Эффективные конструкции дорожных одежд с применением асфальтобетона на мостовых сооружениях / И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников, М.А. Телегин, С.В. Хохлов // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 2. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/76TVN114.pdf>. – EDN SDKDWX. (дата обращения: 25.06.2023).
3. Мостовое полотно автодорожных мостов с применением литого асфальтобетона и современных деформационных швов / И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, А.В. Ефанов [и др.]. – Саратов: Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 2004. – 231 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19634443> (дата обращения: 25.06.2023).
4. Техничко-экономическое обоснование выбора гидроизоляции мостовых сооружений под литой горячей асфальтобетон / А.В. Кочетков, А.Н. Каменских, Ш.Н. Валиев [и др.] // Транспортные сооружения. – 2023. – Т. 10. – № 3. – URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS323.pdf>. – DOI: 10.15862/10SATS323 (дата обращения: 01.02.2024).
5. Борисов Н.А. Гидроизоляция строительных объектов методом холодного бесшовного напыления жидкой резиной / Н.А. Борисов //

- Научное и образовательное пространство: перспективы развития: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 13 августа 2017 г. / Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2017. – С. 220-227. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29927004>. (дата обращения: 25.06.2023).*
6. Дубиняк А.Н. Гидроизоляционные материалы для защиты конструкций транспортных сооружений / А.Н. Дубиняк, И.И. Овчинников. – DOI: <https://doi.org/10.15862/21SATS220> // *Транспортные сооружения*. – 2020. – Т. 7. – № 2. – С. 21-220. – URL: <https://ts.today/21SATS220.html>. (дата обращения: 25.06.2023).
 7. Янковский Л.В. Техническое нормирование макрошероховатости дорожных покрытий автомобильных и лесовозных дорог / Л.В. Янковский, А.В. Кочетков, Н.Е. Кокодеева. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2019. – 321 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41422610>. – EDN: UMCFCN. (дата обращения: 25.06.2023).
 8. Петрович И.Г. Устройство мембранной напыляемой гидроизоляции из композиционных материалов на мостах и объектах капитального строительства / И.Г. Петрович, Ш.Н. Валиев, А.Н. Каменских, А.В. Кочетков. — DOI: <https://doi.org/10.24412/2409-4358-2023-1-13-32> // *Новые технологии в строительстве*. – 2023. – № 1. — С. 13-32. — URL: <https://newtechnologies.elpub.ru/jour/article/view/51?locale=ru>. — EDN: PЛАННА. (дата обращения: 25.06.2023).
 9. Gong Y. Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology / Y. Gong, H. Bi, C. Liang, S. Wang. – DOI: <https://doi.org/10.3390/app8112191> // *Applied Sciences*. – 2018. – Т 8. – № 11. – С. 2191. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/11/2191> (дата обращения: 07.07.2023).
 10. Rautela P.S. Waterproofing of Bridge Decks the Latest Technique and Material / P.S. Rautela // *NBM&CW*. – 2008. – URL: <https://www.nbmcw.com/product-technology/construction-chemicals/waterproofing/waterproofing-repair-chemicals/waterproofing-of-bridge-decks-the-latest-technique-andmaterial.html> (дата обращения: 07.07.2023).
 11. Haga J. Bridge decks: Waterproofing and wearing course / J. Haga. – Norwegian Public Roads Administration, 1997.

12. Kaldas A. Sillatekkide asfaltkatendid [Асфальтовые покрытия для пролетов мостов] / A. Kaldas. – Брюссель: European Asphalt Pavement Association, 2013. – 32 с. – URL: https://www.taristuehitus.ee/files/filemanager/files/EAPA_arvamusraport_sildade_asfaltkatendite.pdf (дата обращения: 07.07.2023).
13. Каменских А.Н. Устройство напыляемой полимерной гидроизоляции мостовых сооружений с учетом теплофизического моделирования / А.Н. Каменских. — DOI: <https://doi.org/10.15862/01SAT S223> // Транспортные сооружения. – 2023. – Т. 10. – № 2. – URL: <https://ts.today/01SATS223.html>. – EDN: PCNIPU (дата обращения: 07.07.2023).
14. Специалисты BASF разработали ПУ-полимербетон для заполнения деформационных дорожных швов. – URL: https://plastinfo.ru/information/news/38851_14/08/2018/ (дата обращения: 07.07.2023).
15. Защита деформационных швов на мостах, путепроводах и эстакадах. Рабберфлекс® ДШ 250. – URL: <https://stroytagazin.ru/catalog/transport-built-products/protection-of-metal-edges-of-expansion-joints-on-bridges-viaducts-and-overpasses/> (дата обращения: 25.06.2023)
16. Holter K.G. Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels / K.G. Holter, R. Foord // SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Region. ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly. May 22-28, 2015. – URL: https://www.researchgate.net/publication/278156866_Testing_of_properties_and_constructability_considerations_of_EVA-based_sprayed_membranes_for_waterproofing_of_tunnels (дата обращения: 07.07.2023).

REFERENCES

1. Ovchinnikov I.I. Sistematizaciya i sravnitel'nyj analiz razlichnyh tipov gidroizolyacii, primenyaemyh na avtodorozhnyh mostovyh sooruzheniyah / I.I. Ovchinnikov, I.G. Ovchinnikov, Sh.N. Valiev, S.V. Zhadenova // Internet-zhurnal «Naukovedenie». – 2013. – № 5. – С. 56-513. — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/56tvn513.pdf>. (data obrashcheniya: 25.06.2023).
2. Ovchinnikov I.G. Effektivnye konstrukcii dorozhnyh odezhd s primeneniem asfal'tobetona na mostovyh sooruzheniyah / I.G. Ovchinnikov, I.I. Ovchinnikov, M.A. Telegin, S.V. Hohlov // Internet-zhurnal «Naukovedenie». – 2014. – № 2. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/76TVN114.pdf>. – EDN SDKDWX.

(data obrashcheniya: 25.06.2023).

3. *Mostovoe polотно avtodorozhnyh mostov s primeneniem litogo asfal'tobetona i sovremennyh deformatsionnyh shvov / I.G. Ovchinnikov, V.N. Makarov, A.V. Efanov [i dr.]. – Saratov: Saratovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni Gagarina Yu.A., 2004. – 231 s. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19634443> (data obrashcheniya: 25.06.2023).*
4. *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie vybora gidroizolyacii mostovyh sooruzhenij pod litoj goryachij asfal'tobeton / A.V. Kochetkov, A.N. Kamenskih, Sh.N. Valiev [i dr.] // Transportnye sooruzheniya. – 2023. – T. 10. – № 3. – URL: <https://t-s.today/PDF/10SATS323.pdf>. – DOI: 10.15862/10SATS323 (data obrashcheniya: 01.02.2024).*
5. *Borisov N.A. Gidroizolyaciya stroitel'nyh ob"ektov metodom holodnogo besshovnogo napyleniya zhidkoj rezinoj / N.A. Borisov // Nauchnoe i obrazovatel'noe prostranstvo: perspektivy razvitiya: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Cheboksary, 13 avgusta 2017 g. / Cheboksary: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Centr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv plyus», 2017. – S. 220-227. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29927004>. (data obrashcheniya: 25.06.2023).*
6. *Dubinyak A.N. Gidroizolyacionnye materialy dlya zashchity konstrukcij transportnyh sooruzhenij / A.N. Dubinyak, I.I. Ovchinnikov. – DOI: <https://doi.org/10.15862/21SATS220> // Transportnye sooruzheniya. – 2020. – T. 7. – № 2. – S. 21-220. – URL: <https://ts.today/21SATS220.html>. (data obrashcheniya: 25.06.2023).*
7. *Yankovskij L.V. Tekhnicheskoe normirovanie makrosherohovatosti dorozhnyh pokrytij avtomobil'nyh i lesovoznyh dorog / L.V. Yankovskij, A.V. Kochetkov, N.E. Kokodeeva. – Perm': Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet, 2019. – 321 s. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41422610>. – EDN: UMCFCH. (data obrashcheniya: 25.06.2023).*
8. *Petrovich I.G. Ustrojstvo membrannoj napylyaemoj gidroizolyacii iz kompozicionnyh materialov na mostah i ob"ektah kapital'nogo stroitel'stva / I.G. Petrovich, Sh.N. Valiev, A.N. Kamenskih, A.V. Kochetkov. – DOI: <https://doi.org/10.24412/2409-4358-2023-1-13-32> // Novye tekhnologii v stroitel'stve. – 2023. – № 1. – S. 13-32. – URL: <https://newtechnologies.elpub.ru/jour/article/view/51?locale=ru>. – EDN: PLAHHA. (data obrashcheniya: 25.06.2023).*
9. *Gong Y. Microstructure Analysis of Modified Asphalt Mixtures under Freeze-Thaw Cycles Based on CT Scanning Technology / Y. Gong, H. Bi,*

-
- C. Liang, S. Wang. – <https://doi.org/10.3390/app8112191> // *Applied Sciences*. – 2018. – Т. 8. – № 11. – С. 2191. – URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/11/2191> (data obrashcheniya: 07.07.2023).
10. Rautela P.S. *Waterproofing of Bridge Decks the Latest Technique and Material* / P.S. Rautela // *NBM&CW*. – 2008. – URL: <https://www.nbmcw.com/product-technology/construction-chemicals/waterproofing/waterproofing-repair-chemicals/waterproofing-of-bridge-decks-the-latest-technique-andmaterial.html> (data obrashcheniya: 07.07.2023).
 11. Haga J. *Brigde decks: Waterproofing and wearing course* / J. Haga. – Norwegian Public Roads Administration, 1997.
 12. Kaldas A. *Sillatekkide asfaltkatendid [Asfal'tovye pokrytiya dlya proletoy mostov]* / A. Kaldas. – Bryussel': European Asphalt Pavement Association, 2013. – 32 s. – URL: https://www.taristuehitus.ee/files/filemanager/files/EAPA_arvamusraport_sildade_asfaltkatendite.pdf (data obrashcheniya: 07.07.2023).
 13. Kamenskih A.N. *Ustrojstvo napylyaemoj polimernoj gidroizolyacii mostovyh sooruzhenij s uchetom teplofizicheskogo modelirovaniya* / A.N. Kamenskih. – DOI: https://doi.org/10.15862/01SAT_S223 // *Transportnye sooruzheniya*. – 2023. – Т. 10. – № 2. – URL: <https://ts.today/01SATS223.html>. – EDN: PCNIPU (data obrashcheniya: 07.07.2023).
 14. *Specialisty BASF razrabotali PU-polimerbeton dlya zapolneniya deformacionnyh dorozhnyh shvov*. – URL: https://plastinfo.ru/information/news/38851_14/08/2018/ (data obrashcheniya: 07.07.2023).
 15. *Zashchita deformacionnyh shvov na mostah, puteprovodah i estakadah. Rabberfleks® DSh 250*. – URL: <https://stroy-magazin.ru/catalog/transport-built-products/protection-of-metal-edges-of-expansion-joints-on-bridges-viaducts-and-overpasses/> (data obrashcheniya: 25.06.2023)
 16. Holter K.G. *Testing of properties and constructability considerations of EVA-based sprayed membranes for waterproofing of tunnels* / K.G. Holter, R. Foord // *SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Region. ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly. May 22-28, 2015*. – URL: https://www.researchgate.net/publication/278156866_Testing_of_properties_and_constructability_considerations_of_EVA-based_sprayed_membranes_for_waterproofing_of_tunnels (data obrashcheniya: 07.07.2023).
-

Информация об авторах

С.Г. Беспалов – начальник управления исследований дорожно-строительных материалов, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

В.Л. Мартинсон – заместитель генерального директора, ФАУ «РОСДОРНИИ», Москва, Россия

Information about the authors

S.G. Bespalov – Head of the Department for Research of Road Construction Materials, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia

V.L. Martinson – Deputy General Director, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russia

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Рецензенты: канд. техн. наук П.А. Сычев, канд. техн. наук В.А. Селиверстов (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию 12.04.2024. Одобрена после рецензирования 16.04.2024. Принята к публикации 24.04.2024.

The article was submitted 12.04.2024. Approved after reviewing 16.04.2024. Accepted for publication 24.04.2024.