

К.Г. Пугин, В.С. Юшков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Рассмотрена возможность строительства автомобильных дорог из цементобетонного покрытия с использованием отходов черной металлургии. Представлены преимущества и недостатки данной конструкции, а также приведены экспериментальные данные.

Ключевые слова: автомобильная дорога, отходы, зола, шлак, минеральные вещества.

Автомобильные дороги имеют важное экономическое, социальное и оборонное значение для страны. Состояние дорожного хозяйства – один из важнейших показателей, характеризующих уровень развития производительных сил общества. Густая сеть автомобильных дорог, соответствующая требованиям транспортных потоков, дает возможность рационально перевозить грузы и пассажиров, вовлекает в хозяйственный оборот ресурсы отдельных районов, создает условия для экономии времени.

Рост грузоподъемности и скоростей движения автомобилей требует непрерывного развития дорожной сети, совершенствования конструкций дорожных одежд. Несоответствие состояния дороги требованиям транспортного потока снижает скорость движения, увеличивает изнашивание автомобилей и затраты на их ремонт, повышает расход топлива, способствует росту количества дорожно-транспортных происшествий.

Современные конструкции автомобильных дорог и технологии их строительства основаны на двух альтернативных, конкурирующих типах дорожного покрытия – асфальтобетоном и цементобетоном. При этом теория и практика убедительно показывают, что в любых климатических условиях, при любой интенсивности и любом составе движения цементобетонные покрытия являются наиболее долговечными. Так, при фактическом сроке службы цементобетонных покрытий в США в среднем 26 лет, асфальтобетонных – 16 лет, в Германии соответственно – 26 лет и 18 лет за рубежом ставится реально выпол-

нимаемая задача обеспечить срок службы цементобетонных покрытий 50 лет и более. Указанные типы покрытий отличаются также по кинетике разрушения: интенсивность разрушения асфальтобетонных покрытий существенно возрастает уже после 5 лет эксплуатации, цементобетонных – после 20 лет.

В России проектируемый срок службы цементобетонных покрытий составляет 20–25 лет, асфальтобетонных – 16–20 лет. Для цементобетонных покрытий фактический срок службы соответствует этим расчетным цифрам или превышает их (примером могут служить действующие автомобильные дороги и аэродромы с цементобетонными покрытиями). В то же время фактический срок службы асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в России составляет, по данным РосдорНИИ, 5–8 лет, по данным Росавтодора – 2 года.

В связи с этим в настоящее время актуальность перехода к массовому строительству цементобетонных покрытий в России не вызывает сомнения. Именно с помощью строительства долговечных цементобетонных покрытий можно решить проблему «недоремонта», когда выделяемые средства расходуются не на новое строительство, а на ремонт недавно построенных дорог с асфальтобетонным покрытием. Совершенно недопустимо, чтобы доля автомобильных дорог с цементобетонным покрытием составляла менее 2 % всей протяженности автомобильных дорог в России.

Высокая долговечность цементобетонных покрытий обусловлена прежде всего особенностью цементобетона как материала. Прочностные и деформативные свойства цементобетона, в отличие от асфальтобетона, практически не зависят от температуры и влажности воздуха. С течением времени, за срок службы, прочность цементобетона увеличивается (в среднем на 10–20 %), несмотря на интенсивное движение транспортных средств и агрессивное воздействие климатических факторов (рис. 1). Соответственно, в современных цементобетонных покрытиях исключено образование колеи от пластических деформаций или износа, тогда как колеиность является одним из наиболее распространенных дефектов современных дорог с асфальтобетонным покрытием в России.

За счет распределения нагрузки от транспортных средств по цементобетонной плите покрытия остаточные деформации и касательные (сдвиговые) напряжения в нижележащем земляном полотне (морозо-

защитном слое) существенно ниже, чем в конструкциях дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием, что повышает долговечность всей конструкции дорожной одежды.

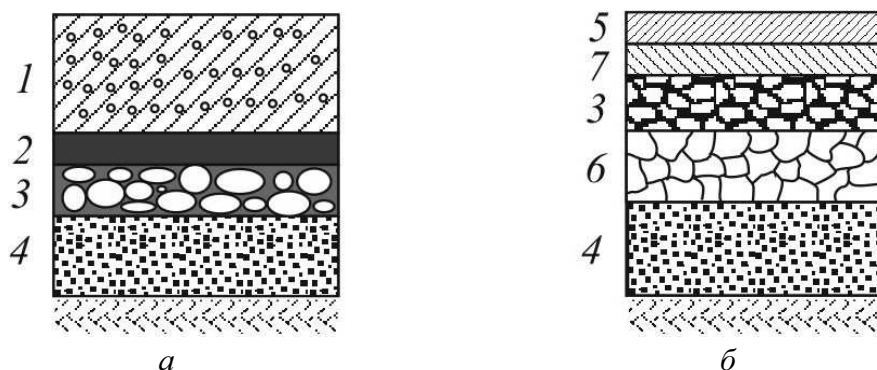


Рис. 1. Типовые конструкции дорожных одежд: *а* – цементобетонное покрытие; *б* – асфальтобетонное покрытие на щебеночном основании; 1 – цементный бетон; 2 – выравнивающий слой из песка, обработанного битумом; 3 – слой щебня, гравия или грунта, обработанного вяжущим; 4 – морозозащитный слой из песка; 5 – мелкозернистый асфальтобетон; 6 – слой щебня; 7 – крупнозернистый асфальтобетон

Фактура поверхности цементобетонного покрытия и искусственная шероховатость, создаваемая на поверхности цементобетонного покрытия в процессе строительства, обеспечивают более высокий и более стабильный во времени коэффициент сцепления с колесом автомобиля и, соответственно, меньший (ориентировочно на 5–10 %) расход топлива (по зарубежным данным) [1].

В России стоимость строительства автомобильной дороги с цементобетонным покрытием, в соответствии с действующими ценами, может быть даже несколько ниже, чем с асфальтобетонным покрытием.

В последние годы наблюдается тенденция создания дорожных бетонов повышенной прочности и долговечности. Это достигается путем модификации структуры бетона химическими добавками: пластифицирующими, воздухововлекающими и газообразующими. В России наилучший эффект достигнут применением комплексной химической добавки на основе суперпластификатора С-3 и воздухововлекающей добавки СНВ. В зарубежной практике широкое применение находит использование тройной комплексной добавки, включающей сочетание воздухововлекающей, газообразующей и пластифицирующей добавок. Направленная модификация структуры дорожного бетона позволяет создавать бетоны высокой прочности и морозостойкости при низком водоцементном отношении.

В России построено и успешно эксплуатируется более 6 тыс. км автомобильных дорог с цементобетонными покрытиями. В США 60 % межштатных дорог с интенсивным движением транспортных средств имеют бетонные покрытия.

При технико-экономическом сравнении цементобетонных и асфальтобетонных покрытий возникает вопрос о деформационных швах. Считается, что цементобетонные покрытия проигрывают асфальтобетонным по причине необходимости нарезать деформационные швы и герметизировать их, что увеличивает стоимость строительства и снижает комфортность движения. Однако, как показывает опыт, в России в асфальтобетонных покрытиях через год или два эксплуатации, обычно после зимнего периода, возникают трещины, которые также приходится прорезать (расшивать), образовывать из них шов с пазом для последующей гидроизоляции мастикой. Фактически нарезка и герметизация швов в асфальтобетонном покрытии является отложенной технологической операцией, швы в асфальтобетонном покрытии также надо устраивать, но не сразу, не в период строительства, как при строительстве цементобетонных покрытий, а некоторое время спустя. Это также следует учитывать при сравнении вариантов конструкций с цементобетонными и асфальтобетонными покрытиями.

В бетонных покрытиях дорог основными расчетными напряжениями являются напряжения от изгиба, так как покрытие работает на изгиб. Поэтому при расчете состава бетона надо установить такое соотношение между его составляющими, которое обеспечивает требуемую прочность бетона на растяжение при изгибе, а также достаточную прочность на сжатие и морозостойкость. Проектную прочность дорожного бетона устанавливают в зависимости от назначения бетона.

Марки бетона по морозостойкости назначают в соответствии с климатическими условиями района строительства. Для обеспечения требуемой морозостойкости бетона и его стойкости против совместного действия хлористых солей, применяемых для борьбы с гололедом, и замораживания бетона при отрицательных температурах водоцементное отношение следует принимать для однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий не более 0,5, для нижнего слоя двухслойных покрытий – не более 0,6, для оснований усовершенствования покрытий – не более 0,75.

Для бетона однослойных и двухслойных покрытий следует принимать портландцемент не ниже М400 с содержанием трехкальциевого алюмината менее 10 %, для оснований бетонных дорог допускается не ниже М300. Желательно использовать дорожные пластифицированные или гидрофобные цементы. Для бетона однослойных и верхнего слоя двухслойных покрытий применяют щебень, щебень из гравия и гравий только после промывки, при этом содержание в них глинистых, илистых и пылевидных частиц, определяемых отмачиванием, не должно превышать 1,5 % по массе.

Щебень необходимо применять из прочных горных пород для однослойного покрытия и верхнего слоя двухслойных покрытий из изверженных пород – прочностью не менее 120 МПа, а из осадочных пород – не менее 80 МПа; для нижнего слоя двухслойных покрытий прочность щебня из изверженных пород должна быть более 80 МПа, а из осадочных – более 60 МПа.

Наибольший размер зерен щебня или гравия должен быть не менее: для верхнего слоя двухслойных покрытий – 20 мм, для однослойных и нижнего слоя двухслойных покрытий – 40 мм, для оснований покрытий – 70 мм.

Для повышения морозостойкости бетона и качества бетонной смеси в нее вводят поверхностно-активные добавки: *пластифицирующие* – сульфитно-спиртовая барда – и *воздухововлекающие* – мылонафт и др. Расход добавок должен обеспечить вовлечение в бетонную смесь требуемого объема воздуха. Рекомендуются следующее содержание вовлеченного воздуха (по объему): при наибольшем размере заполнителя 40...70 мм – $(4,5 \pm 1) \%$, при наименьшем размере заполнителя 10...20 мм – $(5,5 \pm 1) \%$.

Одним из актуальных направлений в развитии дорожной сети России является применение в качестве заполнителей и вяжущих материалов для снижения себестоимости строительства отходов промышленности.

Наиболее экономичны конструкции с использованием доменных и сталеплавильных шлаков крупностью до 40 мм. В России имеется большое количество предприятий черной металлургии, на которых в зависимости от технологии производства металла в больших количествах образуются шлаки различного состава и свойств [2, 3]. При эксплуатации модуль упругости слоев в основании медленно возрастает

вследствие наращивания прочности. Применение шлаков с активизатором (хлористым кальцием) дает возможность вести дорожные работы в зимнее время.

В Пермском национальном исследовательском политехническом университете на автодорожном факультете были проведены исследования по определению возможности использования в качестве заполнителя для дорожных бетонов доменного шлака Чусовского металлургического завода. В связи с тем что дорожные покрытия испытывают повышенную химическую агрессию, используемые цементобетоны необходимо проверять на коррозионную стойкость [4, 5].

Испытания на коррозионную стойкость бетона проводились на основе методики, изложенной в книге С.Н. Алексева, Ф.М. Иванова «Долговечность железобетона в агрессивных средах». Для испытаний были взяты две среды: сульфат натрия с концентрацией 6 000 мг/л и органическая среда фенола с концентрацией 10 г/л. Образцы – кубики 10×10×10 см из бетона на шлаковом и природном щебне – находились одновременно в каждом виде раствора [6].

Через 1 и 2 месяца из каждого раствора бралось по 4 кубика на шлаковом и по 4 кубика на природном щебне и производилось испытание на сопротивление сжатию. Результаты испытаний приведены в таблице.

Результаты испытаний

Показатель	Среда фенола		Среда сульфата натрия	
	Шлаковый щебень	Природный щебень	Шлаковый щебень	Природный щебень
<i>В момент замачивания</i>				
Вес, г	2300	2500	2300	2500
$R_{сж}$, МПа	36	32	36	32
<i>Через 1 месяц</i>				
Вес, г	2450	2550	2400	2500
$R_{сж}$, МПа	37,6	41,6	41,6	50,0
<i>Через 2 месяца</i>				
Вес, г	2460	2600	2350	2650
$R_{сж}$, МПа	46,4	50,5	42,0	53,0

В результате исследования выявлено, что агрессивные среды не разрушают ни тот, ни другой бетон (рис. 2). Напротив, бетон продолжает увеличивать прочность. Несмотря на то, что прочность бетона на природном щебне увеличивается быстрее прочности бето-

на на шлаковом щебне, это не мешает заявить о том, что шлаковый щебень стоек к агрессивным средам, а образцы бетона на нем не теряют своей прочности.



Рис. 2. Образцы из бетона

Исследования бетона на шлаковом щебне Чусовского металлургического комбината доказывают обоснованность применения шлака в дорожном строительстве, а главное – приобретаемую при этом экономическую выгоду, и демонстрируют возможность решения экологической проблемы Пермского края.

Повышенный срок службы дорожных одежд с цементобетонными покрытиями при минимальных затратах на их содержание, высокие транспортно-эксплуатационные качества, ограниченные запасы нефти и низкое качество битума, поставляемого для изготовления асфальтобетона, являются важными обстоятельствами, определяющими перспективу применения цементобетона в дорожном строительстве.

Список литературы

1. Юшков В.С., Пугин К.Г. Использование твердых отходов черной металлургии в материалах для строительства автомобильных дорог // В мире научных открытий. – 2010. – № 5, ч. 4. – С. 53–57.

2. Пугин К.Г., Юшков В.С. Тяжелые металлы в отходах черной металлургии // Молодой ученый. – 2010. – № 16, т. I. – С. 135–140.

3. Пугин К.Г., Юшков В.С. Строительство автомобильных дорог на основе вторичных материалов // Приволжский научный вестник. – 2012. – № 4. – С. 25–30.

4. Пугин К.Г. Экономическое обоснование разработки шлаковых отвалов ОАО «ЧМЗ» // Вестник ПГТУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – Пермь, 2011. – № 2. – С. 21–28.

5. Пугин К.Г., Юшков В.С. Строительство автомобильных дорог с использованием техногенных материалов // Вестник ПГТУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – Пермь, 2011. – № 1. – С. 35–43.

6. Пугин К.Г., Юшков В.С. Отходы черной металлургии для дорожных одежд жесткого типа // Молодой ученый. – 2012. – № 6. – С. 45–49.

Получено 6.03.2013

K.G. Pugin, V.S. Yushkov

USE OF SECONDARY MATERIALS FOR CEMENT CONCRETE COVERING

In clause cement concrete covering of highways is considered on the basis waste products of the industry. Advantages and lacks of the given design are submitted, and also experimental data are given.

Keywords: the highway, waste products, ashes, slag, mineral substances.

***Пугин Константин Георгиевич** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).*

***Юшков Владимир Сергеевич** (Пермь, Россия) – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vova_84_07@mail.ru).*

***Pugin Konstantin Georgievich** – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia).*

***Yushkov Vladimir Sergeevich** – postgraduate student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia, e-mail: vova_84_07@mail.ru).*