

Применение активированной резиновой крошки при реконструкции верхней части путепроводов и дорожного полотна мостовых сооружений

Д.А. Сарычев, Е.С. Мельникова, Т.Ф. Чередниченко

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Интенсивное изнашивание дорожной одежды под воздействием транспортных нагрузок, климатических факторов и конструктивных особенностей мостов увеличило число исследований в этой области. Одним из перспективных направлений повышения эксплуатационной надежности мостовых сооружений является наполнение асфальтобетонных смесей активированной резиновой крошкой, которая обладает высокой устойчивостью к износу и механическим повреждениям. Рассмотрены как традиционные технологии устройства мостового покрытия с использованием полимерно-композитных смесей, так и современные – с использованием асфальтобетона наполненного активированной резиновой крошкой. Рассмотрены преимущества применения переработанной резины, повышающей сцепные свойства, износостойкость и долговечность дорожного покрытия. Проведен сравнительный расчет затрат на реконструкцию дорожного покрытия по сравниваемым технологиям, показавший значительное снижение затрат на материалы и укладку асфальтобетона с наполнителем из активированной резины по сравнению с полимерно-композитными покрытиями.

Ключевые слова: активированная резиновая крошка, асфальтобетон, реконструкция путепроводов, дорожные покрытия, износостойкость, сцепные свойства, экономический анализ, полимерно-композитные покрытия, технологический процесс, переработанные материалы.

Срок службы дорожного покрытия на мостовых сооружениях зачастую составляет всего 3–5 лет, что значительно ниже ожидаемого эксплуатационного периода в 15–20 лет. Основной проблемой является интенсивное изнашивание дорожной одежды под воздействием транспортных нагрузок, климатических факторов и конструктивных особенностей мостов. Разрушение покрытия приводит к необходимости проведения частых ремонтных работ, что увеличивает эксплуатационные расходы и создает значительные неудобства для участников движения.

Существенное влияние на безопасность дорожного движения оказывает снижение сцепных свойств покрытия, что подтверждается данными, представленными в исследовании Желтобрюхова В.Ф. [1], где автор утверждает, что с уменьшением коэффициента сцепления значительно возрастает аварийность.

Таблица № 1

Соотношение коэффициента сцепления и уровня аварийности

Коэффициент сцепления (ϕ)	Количество аварий ($K_{ав}$)
0,2	16,0
0,3	8,0
0,4	3,0
0,5	2,0
0,6	1,5
0,7	1,0
0,8	0,5

Как следует из данных таблицы 1, при снижении коэффициента сцепления с 0,8 до 0,2 – аварийность возрастает в 32 раза, что свидетельствует о необходимости применения эффективных технологий повышения сцепных свойств покрытия.

Основными факторами, влияющими на взаимодействие дорожного покрытия с колесами транспортных средств, являются техническое состояние покрытия, погодные условия, интенсивность движения и конструктивные особенности самого моста.

В исследовании Макарова А.В. [2] приводится анализ ключевых факторов, оказывающих влияние на эксплуатационные характеристики дорожного покрытия, включая механические свойства покрытия и его устойчивость к внешним воздействиям.

Таблица № 2

Основные факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики дорожного покрытия

Группа факторов	Факторы, влияющие на сцепление
Водитель	Реакция, выбор скорости, манера торможения
Автомобиль	Масса, тип шин, подвеска
Дорожные условия	Влажность, температура, состояние покрытия
Геометрия дороги	Уклоны, повороты, ровность

Помимо общих факторов, значительное влияние на состояние дорожного покрытия оказывают технологии его устройства и используемые материалы.

В исследовании Осипова В.О. [3] отмечается, что традиционные методы укладки асфальтобетона не всегда обеспечивают необходимую стойкость к воздействию химических реагентов, особенно в зимний период, когда активно используются противогололедные смеси. Данные смеси ускоряют процессы старения покрытия и способствуют появлению микротрещин, которые впоследствии приводят к значительным дефектам.

В исследовании Рябининой М.М. [4] рассмотрены механизмы разрушения дорожного покрытия, связанные с проникновением влаги и сезонными температурными колебаниями. Автор утверждает, что недостаточная водонепроницаемость покрытия ведет к его быстрому разрушению, особенно в зоне путепроводов, где нагрузки многократно превышают стандартные значения для дорожного покрытия.



Рис.1 – Разрушения покрытия

Одним из перспективных направлений повышения долговечности и эксплуатационной надежности мостовых сооружений является использование инновационных материалов.

В исследовании Котова А.И. [5] приведены примеры успешного применения полимерно-композитных покрытий, которые по сравнению с традиционными асфальтобетонными покрытиями обладают повышенной устойчивостью к износу и механическим повреждениям. Однако их высокая стоимость и сложность монтажа обусловлены рядом факторов, включая использование дорогостоящих компонентов, таких как эпоксидные смолы и кремнийорганические соединения, необходимость строгого соблюдения температурных режимов и тщательной подготовки основания. Кроме того, подготовка к проведению работ занимает больше времени по сравнению со стандартными технологиями из-за необходимости устранения дефектов и дополнительной обработки поверхности, что в совокупности ограничивает массовое распространение данных технологий.

В своей работе Христофорова А.А., Филиппов С.Э., Гоголев И.Н. [6] рассматривают технологию наполнения асфальтобетона активированной резиновой крошкой для создания жестких покрытий карьерных дорог. Данная технология продемонстрировала хорошие результаты в улучшении сцепных свойств и долговечности покрытия. В частности, использование резиновой крошки позволяет повысить сцепление покрытия на 40% в сухих условиях и на 18% при влажном покрытии. Это стало возможным благодаря улучшению микроструктуры покрытия и повышенной эластичности, что также способствовало увеличению износостойкости и долговечности покрытия.

С учетом положительных результатов применения этой технологии в карьерах, можно заявить, что при небольшой доработке она может быть успешно адаптирована для реконструкции покрытия проезжей части на путепроводах. В частности, использование активированной резиновой крошки позволяет улучшить эксплуатационные характеристики покрытия, снизить его водонасыщение, повысить прочность и устойчивость к

механическим повреждениям, что особенно важно для путепроводов с высокой интенсивностью движения и частыми колебаниями температуры. Это решение также будет более экономически эффективным по сравнению с применением полимерно-композитных материалов, которые часто требуют более сложных технологий укладки и значительных затрат.

Для адаптации технологии с использованием активированной резиновой крошки при реконструкции путепроводов потребуется внесение некоторых изменений в технологический процесс.

Во-первых, для путепроводов необходимо будет более тщательно подбирать размер и дисперсность резиновой крошки, что обеспечит наилучшую адгезию между крошкой и асфальтобетонной смесью. Для карьеров обычно используется резиновая крошка с размером частиц 0,5–1 мм. Однако для применения в путепроводах, по результатам исследования [6], предпочтительнее использовать более мелкие фракции с максимальной дисперсностью 0,25 мм. Это объясняется тем, что такие фракции обеспечивают лучшее распределение материала в асфальтобетонной смеси, что способствует увеличению прочности покрытия на сжатие до 25% и улучшению сцепных свойств дорожного полотна. В частности, коэффициент сцепления на сухом покрытии повышается на 40%, а на влажном – на 18% по сравнению с стандартным асфальтобетоном. К аналогичным выводам приходят малазийские и итальянские специалисты, которые в своих исследованиях рассмотрели данную технологию применительно к магистральным автодорогам, придя к выводу, что использование композитных смесей позволяет повысить стойкость покрытия к колееобразованию и растрескиванию [7,8].

Во-вторых, для укладки такого покрытия потребуется использовать стандартное оборудование для асфальтирования. Технология укладки остаётся практически такой же, как и для обычного асфальтобетона. Однако,

для обеспечения полной активации резины и улучшения сцепных свойств покрытия потребуется использовать более высокие температуры при укладке, что дополнительно повысит прочность и долговечность асфальтобетона.

Третье важное изменение касается подготовки основания. Для путепроводов, как правило, нужно более тщательно подготовить основание, устранив все дефекты и трещины в старом покрытии. Это особенно важно в случае использования модификации с резиновой крошкой, так как правильное соединение старого и нового слоя обеспечит высокую прочность и долговечность покрытия. Основание должно быть очищено от загрязнений, и в случае необходимости проведены работы по восстановлению или укреплению нижнего слоя покрытия, особенно на участках с повышенной нагрузкой.

При использовании активированной резиновой крошки важно строго контролировать её содержание в смеси. При превышении 15% содержания резиновой крошки битумное связывание ухудшается - адгезия с минеральными компонентами снижается примерно на 10–15%, а пористость смеси увеличивается на 20–25%, что приводит к снижению модуля упругости до 70% от оптимального значения [7]. Эти изменения вызывают неравномерное распределение нагрузок и локальные концентрации напряжений, ускоряя развитие пластических деформаций и трещин, что негативно сказывается на прочности и долговечности покрытия [8].

Для оценки экономической эффективности различных технологий реконструкции покрытий рассмотрим условно участок площадью 1000 м². Стоимость покрытия с активированной резиновой крошкой составляет 600–900 рублей за м², согласно данным прайс-листа КирОВО-Чепецкого завода асфальтовых смесей. Стоимость полимерно-композитных покрытий

составляет 2000–3000 рублей за м², согласно данным ООО "Мост" [9] и ООО "Росдорстрой" [10].

Таблица № 3

Сравнение затрат на реконструкцию 1000 м² покрытия

Стоимостные данные	Полимерно-композитное покрытие	Покрытие с активированной резиновой крошкой
Стоимость материалов (за 1 м ²)	2500 руб.	800 руб.
Стоимость укладки (за 1 м ²)	1500 руб.	500 руб.
Общая стоимость (1000 м ²)	4,000,000 руб.	1,300,000 руб.

Как видно из расчетов, использование покрытия с активированной резиновой крошкой позволяет существенно сократить затраты на материалы и укладку. Разница в стоимости составляет 2,700,000 рублей, что эквивалентно 63% экономии при реконструкции. В заключение, можно отметить, что технология с активированной резиновой крошкой представляет собой наиболее перспективное и экономически эффективное решение для реконструкции путепроводов. Она позволяет существенно снизить затраты на материалы и укладку, не ухудшая эксплуатационные характеристики покрытия, включая сцепление слоев покрытия между собой и с шинами транспортных средств, а также такие важные показатели, как износостойкость и долговечность. Это делает данную технологию идеально подходящим вариантом для масштабных реконструкций.

Литература

1. Желтобрюхов В.Ф., Ильинкова Ю.Н., Колодницкая Н.В., Осипов В.М. Способ обеспечения экологической и технической безопасности на объектах



- дорожного хозяйства // Инженерный вестник Дона. – 2013. – №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n42013/2008.
2. Макаров А.В., Гулуев Г.Г., Шатлаев С.В. Реконструкция путепровода как требование безопасности // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4161.
 3. Осипов В.О. Содержание и реконструкция мостов. – М.: Транспорт, 1975 – 165 с.
 4. Рябина М.М. Влияние погодных-климатических условий на состояние дорожных покрытий // Научные технологии и оборудование в промышленности и строительстве. 2018. № 53 С. 99-103.
 5. Котов А.И. Повышение износостойкости покрытия автомобильной дороги при наличии влаги в верхнем слое: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. Воронеж, 2019. 19 с.
 6. Христофорова А.А., Филиппов С.Э., Гоголев И.Н. Разработка жестких покрытий карьерных дорог с применением активированной резиновой крошки // Инженерный вестник Дона. – 2011. – №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/599.
 7. Mashaan N. S., Ali A. H., Karim M. R., Abdelaziz M. A Review on Using Crumb Rubber in Reinforcement of Asphalt Pavement. The Scientific World Journal. 2014. 214612. 21 p. URL: doi.org/10.1155/2014/214612
 8. Bressi S., Fiorentini N., Huang J., Losa M. Crumb Rubber Modifier in Road Asphalt Pavements: State of the Art and Statistics. Coatings. 2019. Vol. 9. Iss. 6. 22 p. URL: doi.org/10.3390/coatings9060384
 9. Информация о стоимости и технологии применения полимерно-композитных покрытий: ООО "Мост». URL: new.most.ooo/
 10. Информация о стоимости и технологии применения полимерно-композитных покрытий: Росдорстрой. URL: rosdorstroy.com/
-

References

1. Zheltobryukhov V.F., Ilyinkova Yu.N., Kolodnitskaya N.V., Osipov V.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2008
2. Makarov A.V., Guluyev G.G., Shatlaev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4161
3. Osipov V.O. Soderzhaniye i rekonstruktsiya mostov [Maintenance and reconstruction of bridges]. M.: Transport, 1975. 165 p.
4. Ryabinina M.M. Naukoyemkiye tekhnologii i oborudovaniye v promyshlennosti i stroitel'stve. 2018. No. 53. pp. 99-103.
5. Kotov A.I. Increasing the wear resistance of the road surface in the presence of moisture in the upper layer. Extended abstract of candidate's thesis. Voronezh. 2019. 19 p.
6. Khristoforova A.A., Filippov S.E., Gogolev I.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2011. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/599
7. Mashaan N. S., Ali A. H., Karim M. R., Abdelaziz M. A Review on Using Crumb Rubber in Reinforcement of Asphalt Pavement. The Scientific World Journal. 2014. 214612. 21 p. URL: doi.org/10.1155/2014/214612.
8. Bressi S., Fiorentini N., Huang J., Losa M. Crumb Rubber Modifier in Road Asphalt Pavements: State of the Art and Statistics. Coatings. 2019. Vol. 9, Iss. 6. 22 p. URL: doi.org/10.3390/coatings9060384
9. Informaciya o stoimosti i tekhnologii primeneniya polimerno-kompozitnykh pokrytiy: OOO "Most". [Information about the cost and technology of polymer composite coatings: Most LLC]. URL: new.most.ooo/
10. Informaciya o stoimosti i tekhnologii primeneniya polimerno-kompozitnykh pokrytiy: Rostdorstroy. [Information about the cost and technology of polymer composite coatings: The Road Construction Contractor]. URL: rosdorstroy.com/

Дата поступления: 1.02.2025

Дата публикации: 3.02.2025